



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У  
НОВОМ САДУ

---



Doktorska disertacija

# Uticaj geometrijske reprezentacije prostora na savremenu arhitekturu

Mr Bojan Tepavčević

Novi Sad, 2010



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, <b>РБР:</b>	
Идентификациони број, <b>ИБР:</b>	
Тип документације, <b>ТД:</b>	Монографска документација
Тип записа, <b>ТЗ:</b>	Текстуални штампани материјал
Врста рада, <b>ВР:</b>	Докторска дисертација
Аутор, <b>АУ:</b>	Мр Бојан Тепавчевић
Ментор, <b>МН:</b>	Др Предраг Шиђанин
Наслов рада, <b>НР:</b>	УТИЦАЈ ГЕОМЕТРИЈСКЕ РЕПРЕЗЕНТАЦИЈЕ ПРОСТОРА НА САВРЕМЕНУ АРХИТЕКТУРУ
Језик публикације, <b>ЈП:</b>	Српски
Језик извода, <b>ЈИ:</b>	Српски/Енглески
Земља публиковања, <b>ЗП:</b>	Република Србија
Уже географско подручје, <b>УГП:</b>	АП Војводина, Нови Сад
Година, <b>ГО:</b>	2010
Издавач, <b>ИЗ:</b>	ауторски репринт
Место и адреса, <b>МА:</b>	Факултет техничких наука, 21000 Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, <b>ФО:</b> (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	6/242/335/0/215/1/3
Научна област, <b>НО:</b>	Архитектура и урбанизам
Научна дисциплина, <b>НД:</b>	Теорије и интерпретације геометријског простора у архитектури и
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО:</b>	Геометријска репрезентација, концепт простора у архитектури, медијуми репрезентације, савремена архитектура
<b>УДК</b>	
Чува се, <b>ЧУ:</b>	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, <b>ВН:</b>	---
Извод, <b>ИЗ:</b>	У оквиру дисертације истражен је утицај геометријске репрезентације простора на развој савремене архитектуре. Показано је на који начин су различите идеје о простору и инструментализација путем медијума, техника и алата утицали на нове развоје архитектуре. Резултати истраживања сугеришу репозиционирање улоге репрезентације простора у процесу архитектонског пројектовања. Посебна пажња посвећена је утицају дигиталних медијума и алата репрезентације, где је уочен прелаз од традиционалних геометријских ка новим, алгоритамским, моделима.
Датум прихватања теме, <b>ДП:</b>	
Датум одбране, <b>ДО:</b>	
Чланови комисије, <b>КО:</b>	Председник: Др Радомир Фолић Члан: Др Нађа Куртовић-Фолић Члан: Др Радован Штулић Члан: Др Љиљана Петрушевски Члан, ментор: Др Предраг Шиђанин
	Потпис ментора 



## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b> :	Textually printed document
Contents code, <b>CC</b> :	Ph.D. Thesis
Author, <b>AU</b> :	Bojan Tepavčević, M.Sc.
Mentor, <b>MN</b> :	Predrag Šiđanin, Ph.D.
Title, <b>TI</b> :	Influence of geometric representation of space on contemporary architecture
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian/English
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	AP Vojvodina, Novi Sad
Publication year, <b>PY</b> :	2010.
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Faculty of Technical Sciences, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	6/242/335/0/215/1/3
Scientific field, <b>SF</b> :	Architecture and urbanism
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Theories and interpretation of geometric space in Architecture and Urbanism
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Geometric representation, Concept of space in architecture, medium of representation, contemporary architecture
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	Library of the Faculty of Technical Sciences in Novi Sad
Note, <b>N</b> :	---
Abstract, <b>AB</b> :	<p>Presented research explores the influence of geometric representation of space on modern architecture. Relation between new concepts of space as well as media, techniques and tools of representation and new movements in architecture are shown in this work. Notion of the crucial moments of developments in contemporary architecture suggests repositioning of the role of space representation in the process of architectural design. Special attention was made to the role of digital media and tools of representation that is recognized as a threshold towards new algorithmic models of representation.</p>
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	President: Dr Radomir Folić
	Member: Dr Nađa Kurtović-Folić
	Member: Dr Radovan Štulić
	Member: Dr Ljiljana Petruševski
	Member, Mentor: Dr Predrag Šiđanin
	Mentor's sign

# SADRŽAJ

<b>1. Uvod</b>	<b>1</b>
1.1. Definisane predmeta istraživanja	2
1.2. Pojmovni okvir istraživanja	3
1.3. Ciljevi istraživanja	4
1.4. Primjenjene naučne metode	5
1.5. Kratak pregled dosadašnjih istraživanja teorije i reprezentacije geometrijskih prostora u arhitekturi	6
1.6. Kratak prikaz rada	7
<b>2. Ideje geometrijskog prostora njihov uticaj na savremenu arhitekturu</b>	<b>9</b>
2.1. Definisane vremenskih okvira u istraživanju uticaja koncepcije geometrijskog prostora na savremenu arhitekturu	10
2.2. Istorijski osvrt na poimanje prostora i teorije vizije u arhitekturi od antičkog perioda do XVIII veka	11
2.2.1. Poimanje prostora u kontekstu antičkih teorija vizije i optike u prerenesansnom periodu	12
2.2.2. Poimanje prostora u kontekstu razvitka perspektivnog mišljenja u periodu renesanse i baroka	16
2.2.3. Instrumentalizacija ideje o prostoru i teorija vizije u arhitekturi od antičkog perioda do XVIII veka	21
2.3. Koncept trodimenzionalnog kartezijanskog prostora	33
2.3.1. Razvitak ideje o kartezijanskom prostoru	34
2.3.2. Instrumentalizacija ideje o kartezijanskom prostoru u arhitekturi u periodu strukturalnog racionalizma	38
2.3.3. Instrumentalizacija ideje o kartezijanskom prostoru u arhitekturi od XX veka do danas	49
2.4. Koncept neeuklidskih i višedimenzionalnih prostora	53
2.4.1. Pojam neeuklidskog prostora	54
2.4.2. Pojam višedimenzionalnog euklidskog prostora	55
2.4.3. Pojam višedimenzionalnog prostor-vremena	58
2.4.4. Ideja o neeuklidskim i višedimenzionalnim prostorima u širim kulturnim okvirima	59
2.4.5. Instrumentalizacija ideja o neeuklidskim i višedimenzionalnim prostorima u arhitekturi	65
2.5. Koncept topološkog prostora	77
2.5.1. Ideja o topološkom prostoru u širim kulturnim okvirima	80
2.5.2. Instrumentalizacija ideje o topološkom prostoru u arhitekturi	88
2.6. Kompleksni adaptivni sistemi: teorijski okviri za formulisanje nove ideje o prostoru u arhitekturi	100
2.6.1. Matematički okviri za formulisanje ideje prostora kompleksnih adaptivnih sistema u arhitekturi	103
2.6.2. Geneza ideje prostora kompleksnih adaptivnih sistema u arhitekturi	107
<b>3. Uticaj medijuma, tehnika i alata geometrijske reprezentacije na savremenu arhitekturu</b>	<b>120</b>
3.1. Istorijski osvrt na alate metode i tehnike crtanja pre XVIII veka	121
3.2. Uticaj medijuma i tehnika geometrijske reprezentacije na savremenu arhitekturu predigitalne epohe	136



3.3. Odnos tehnika geometrijske reprezentacije u kontekstu integrisane primene sa maketama	162
3.4. Uticaj digitalnog medijuma i alata geometrijske reprezentacije prostora na savremenu arhitekturu	168
3.4.1. Istorijski osvrt na razvoj digitalnih alata geometrijske reprezentacije prostora do poslednje decenije XX veka	169
3.4.2. Uticaj digitalnog medijuma i alata reprezentacije na arhitekturu od poslednje decenije XX veka	174
3.4.2.1. Operativni pristup modelovanju u arhitekturi	176
3.4.2.2. Parametarski pristup modelovanju u arhitekturi	181
3.4.2.3. Generativni pristup modelovanju u arhitekturi	192
3.4.2.4. Arhitektonski dizajn baziran na analizama performansi	208
3.4.2.5. Generativno-performativni pristup modelovanju u arhitekturi	216
<b>4. Završne napomene i zaključci</b>	219
4.1. Rezultati postignuti u istraživanju	219
4.2. Pregled rezultata istraživanja	221
4.3. Buduća istraživanja	224
<b>5. Bibliografija</b>	225
<b>6. Izvori ilustracija</b>	235

# 1. Uvod

Svaki pristup istraživanju istorije i teorije arhitekture podrazumeva posmatranje brojnih društvenih, kulturnih, tehničko-tehnoloških parametara koji su imali odraza na nova dostignuća u razvoju savremene arhitekture. Od 1932. godine kada je u muzeju savremene umetnosti u Nju Jorku održana velika izložba arhitekture koju je pratila publikacija Henri Rasel Hičkoka (Henry Russell Hitchcock) i Filip Džonsona (Philip Jonson), napisani su brojni tekstovi i knjige kojima su razmatrani fenomeni modernih pokreta u arhitekturi. Sledeće godine Emil Kaufman u knjizi *Von Ledoux bis Le Corbusier* nalazi poreklo "savremene arhitekture", ukazujući da je "vek prosvetiteljstva" bio prethodnica inženjerskoj arhitekturi XIX veka<sup>1</sup>. Tako su u XVIII veku, u radovima Klod Nikole Ledua (Claude Nicolas Ledoux), Etjen Lui Bulea (Étienne-Louis Boullée) i Žan-Žak Lekea (Jean-Jacques Lequeu) pronađeni prvi koreni savremene arhitekture<sup>2</sup>.

Od Emila Kaufmana u prvoj polovini XX veka do Kenet Fremptona (Kenneth Frampton) i Čarlsa Dženksa (Charles Jencks) krajem XX i početkom XXI veka<sup>3</sup>, razvijene su brojne linije istraživanja nastanka i razvoja savremene arhitekture. Za većinu teoretičara i istoričara arhitekture i umetnosti, zajednička linija u istraživanju je bio deterministički odnos arhitekture prema tehnološkim otkrićima, konstruktivnim inovacijama, ekonomsko-funkcionalnim parametrima, ideološkim i političkim motivacijama. Nesumnjivo najveći značaj za razvitak savremene arhitekture i jesu imali pomenuti tehnološki i društveno-kulturni faktori. Istovremeno, Međutim, promene u arhitekturi išle su paralelno sa novim idejama o prostoru, dostignućima u geometriji kao i tehnikama i alatima reprezentacije arhitektonskog i urbanističkog dela.

Dosadašnja teorijska razmatranja savremene arhitekture su bila najčešće fokusirana na arhitektonsku formu, a ne na proces geneze arhitektonskog oblika tokom procesa projektovanja. Epohu moderne arhitekture čiji koreni dosežu u XIX vek obeležila je intenzivna primena crteža, ali je izrada maketa bila takođe prisutna u procesu stvaralaštva. Tokom istorije savremene arhitekture razvijeni su različiti nivoi pristupa arhitektonskom crtežu i maketi reflektujući identitet, lična i ideološka ubeđenja arhitekta ili, sa druge strane različite standarde tehničkog prikazivanja. Značaj procesa razvoja objekta i arhitektonske imaginacije kroz različite medijume reprezentacije je kroz istoriju savremene arhitekture istovremeno naglašavan i osporavan. Dok je za Le Korbizjea (Le Corbusier) crtež bio sredstvo za generisanje forme, memorisanje vizuelnih utisaka, ideja i informacija, Adolf Los (Adolf Loos) je otvoreno sumnjao da arhitektonski crteži mogu uticati na kreativan proces<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> (Kaufmann, 1933)

<sup>2</sup> (Kaufmann, 1952; Lemagny, 2002)

<sup>3</sup> (Frampton, 1980; Jencks, 2002)

<sup>4</sup> Adolf Los je smatrao da arhitekta ne mora da poznaje veštinu crtanja i da se ideja Raumplana ne može transponovati putem crteža. Smatrao je da se dobra arhitektura stvara imaginacijom. Za razliku od Le Korbizjea, Los nije beležio impresije u vidu crteža ili fotografija sa svojih studijskih putovanja. Sačuvane Loosove perspektivne skice enterijera kao i aksonometrijski prikazi, ipak pokazuju da se služio crtežom kao metodom za reprezentaciju ideja u toku procesa projektovanja. (van de See, 1989, str. 27; Risselada, 1989, str. 8) Nasuprot Losovom ubeđenju, uloga crteža u procesu projektovanja je značajna je više aspekata, što je detaljno objašnjeno u trećem poglavlju disertacije.

Istovremeno sa razvojem moderne arhitekture, pojavio se sve veći broj arhitekata koji su svoju reputaciju izgradili uz pomoć crteža, sa malo ili bez realizovanih arhitektonskih dela<sup>5</sup>. Jakov Černihov (Яков Чернихов) promovisao je ideje ruskog konstruktivizma kroz serijal arhitektonskih fantazija, koje nikad nisu bile realizovane. Slično, Danijel Libeskind (Daniel Libeskind) i Zaha Hadid (Zaha Hadid) krajem XX veka postaju slavni po svojim crtežima na arhitektonskim konkursima, a prvi izvedeni i reprezentativni objekti nastajali su tek nekoliko godina kasnije.

U poslednjih nekoliko decenija primenom digitalnih tehnologija postignut je napredak u odnosu na tradicionalan pristup građenju i procesu razvoja arhitektonskog projekta. Istovremeno su razvijene i nove ideje o prostoru koje se oslanjaju na koncepcije prostora u matematici.

U ovoj disertaciji istražen je uticaj različitih medijuma, alata i tehnika geometrijske reprezentacije prostora na proces arhitektonskog stvaralaštva i razvoj savremene arhitekture.

## 1.1. Definisane predmeta istraživanja

Predmet ovog istraživanja je uticaj geometrijske reprezentacije prostora u procesu arhitektonskog istraživanja i projektovanja i njena uloga u nastanku i razvitku savremene arhitekture. Iako pojedini autori svrstavaju početke savremene arhitekture u XIX vek i doba inženjerske arhitekture, ili čak i sam početak XX veka, za pomenutu problematiku proučavan je širi vremenski okvir koji se poklapa sa novim načinom shvatanja reprezentacije prostora. Početkom XVIII veka arhitektonsko mišljenje koje je već bilo usko povezano sa matematičkom reprezentacijom prostora je redefinisano novim razvitkom prirodnih nauka. Stoga je za nastanak savremene arhitekture posmatran period XVIII veka, kada se na evropskom kontinentu javlja nagli naučno-tehnološki razvitak koji je uticao na stvaranje racionalističkog načina mišljenja u arhitekturi.

U radu će biti istraženo na koji način su određene tehnike geometrijske reprezentacije prostora, poput aksonometrije, perspektive ili ortogonalnih projekcija na analognom medijumu i digitalnih modela i algoritama na digitalnom medijumu uticale na razvoj arhitekture od druge polovine XVIII veka do danas. Problem uticaja geometrijske reprezentacije prostora biće posmatran iz dva različita diskursa:

- u odnosu na instrumentalni pristup ideji prostora u arhitekturi
- u odnosu na razvitak tehnika, alata i medijuma reprezentacije prostora

U istraživanju uticaja tehnika, alata i medijuma reprezentacije prostora istovremeno će biti proučavane skice, tehnički crteži, finalne prezentacije i digitalni i kompjutacioni<sup>6</sup> modeli. Ideje prostora će u radu biti analizirani sa dva aspekta: u odnosu na izvornu naučnu disciplinu odakle je ideja prostora preuzeta i u odnosu na egzistencijalizovanu verziju primenjenu u arhitekturi.

---

<sup>5</sup> (Steele, 1994, str. 7-8)

<sup>6</sup> Pojam kompjutacionog modela podrazumeva primenu algoritama za rešavanje određenog zadatka u konačnom broju koraka. Primena kompjutacionih modela u procesu arhitektonskog stvaralaštva podrazumeva niz matematičko-informatičkih modela korišćenih u generativnom pristupu modelovanja.

## 1.2. Pojmovni okvir istraživanja

Polazno istraživanje zasniva se na definisanju elemenata i okvira geometrijske reprezentacije prostora koji su se primenjivali od XVIII veka da danas. Prema Dejvidu Maru (David Marr) pojam reprezentacija u širem smislu značenja odnosi se na „formalni sistem za kreiranje određenih entiteta ili tipova informacija, zajedno sa smernicama o tome kako ih sistem primenjuje“<sup>7</sup>. Sistem reprezentacije posmatran u širem smislu je neophodan osnov za opis i vrednovanje sistema. Tako su na primer, arapski, rimski, binarni ili decimalni zapis, različiti formalni sistemi za reprezentaciju numeričkih veličina. Partiture i notni sistemi su način reprezentacije muzičkih kompozicija, a različiti tipovi alfabeta omogućavaju konstrukciju jezičke sintakse.

U tom smislu, pojam reprezentacije u arhitekturi se može definisati kao *formalni sistem tehnika, konvencija kojim se opisuju vizuelne informacije o obliku nekog tela*. Drugim rečima, reprezentacija u arhitekturi je niz konvencija kojim se vizuelne mentalne slike transformišu u grafičke slike, fizičke ili digitalne ili kompjutacione modele. Prema Vezeliju (Dalibor Vesely), osnovni smisao reprezentacije je uloga posrednika, koja se takođe opisati i kao uloga učesnika, zato što proširuje našu sposobnost da učestvujemo u pojavnj realnosti. Ali se reprezentacija može posmatrati i u drugom smeru, ka njihovom odvajanju od originalnog komunikativnog konteksta<sup>8</sup>.

Arhitektonska reprezentacija se koristi za opisivanje i evaluaciju ideja u procesu projektovanja kroz konkretne prostorne oblike. Pod geometrijskom reprezentacijom podrazumevaju se različite konvencije grafičkog prikaza objekata u određenom modelu prostora.

Koncept prostora u arhitekturi je duboko ukorenjen u teoriju savremene arhitekture i prvi put se pojavljuje među nemačkim teoretičarima XIX veka kao što su Gotfrid Semper (Gottfried Semper), Ričard Luce (Richard Lucae) i August Šmarsov (August Schmarsow). Pomenuti teoretičari razmatrali su kognitivnu komponentu prostora, oslanjajući se na kartezijansku logiku. U tom smislu prostor u arhitekturi se može definisati kao *volumen ograničen arhitektonskim omotačem*.

Sedamdesetih godina XX veka razvijen je fenomenološki pristup proučavanju ideje prostora u arhitekturi. Filozofija Martin Hajdegera (Martin Heidegger) uticala je na teorijski diskurs u arhitekturi koja prostor tretira kao čulan i egzistencijalan<sup>9</sup>, istovremeno sadržući kognitivnu, geometrijsku i sociološku komponentu.

U ovoj disertaciji istražen je jedan aspekt prostora u arhitekturi - njegova geometrijska komponenta. U radu je posmatran apstraktan geometrijski prostor i način na koji su se ideje takvog prostora reflektovale na proces arhitektonskog projektovanja.

---

<sup>7</sup> (Marr, 1982, str. 20)

<sup>8</sup> (Vesely, 2004, str. 19)

<sup>9</sup> Detaljnije o fenomenologiji u arhitekturi i konceptu arhitektonskog i egzistencijalnog prostora videti radove Moris Merlo Pontija (Maurice Merleau-Ponty) i Kristijan Norberg Šulca (Christian Norberg-Schulz).

Istovremeno, razvoj savremene arhitekture biće posmatran u kontekstu razvoja medijuma, tehnika i alata reprezentacije. Pojam medijuma reprezentacije odnosi se na dvodimenzionalnu ravan na koju se projektuje geometrijska slika prostora. Analogni medijumi reprezentacije kao što su pergament i papir su zajedno sa izradom fizičkih modela bili osnovni vidovi arhitektonske reprezentacije sve do kraja XX veka. Pojavom digitalnih tehnologija razvijeni su i drugi medijumi reprezentacije kao što su računarski monitori i projekcijska platna, senzorne kacige (HMD, Head Mounted Display) za VR okruženja, 3D laserske projekcije i deskrame<sup>10</sup>. Svi pomenuti vidovi digitalnih medijuma reprezentacije omogućili su određeni stepen interakcije između trodimenzionalnog digitalnog modela i korisnika. Digitalni medijumi reprezentacije napravili su napredak u odnosu na analogni premostivši jaz od dvodimenzionalnog ka trodimenzionalnom načinu prikazivanja objekata u prostoru.

Problem trodimenzionalnog prikazivanja na analognom medijumu reprezentacije je tradicionalno rešavan primenom različitih tehnika reprezentacije, koje podrazumevaju niz konvencija za prikazivanje informacija o trodimenzionalnom telu na dvodimenzionalnoj ravni. U tom smislu pod tehnikama reprezentacije podrazumevaće se različiti načini paralelnog i centralnog projiciranja na ravan projiciranja. Digitalnim medijumom reprezentacije je osim pomenutih tehnika uveden i parametar vremena kao i niz kompjutacionih modela, čime je omogućen instrumentalni pristup ka drugim idejama geometrijskih prostora u arhitekturi. Prelaz sa analognih na digitalne alate reprezentacije je ujedno identifikovan kao razvoj od geometrijske ka algoritamskoj (semantičko/sintaksoj) reprezentaciji u procesu arhitektonskog stvaralaštva.

### 1.3. Ciljevi istraživanja

Reprezentacija prostora u arhitekturi je zasnovana na kompleksnom međuodnosu imaginacije i različitih konvencija u interpretiranju ideja. Na nivou reprezentacije, tenzija između imaginativne artikulacije i perceptivnog iskaza je osnovni princip, blizak onome što moderna antropologija opisuje *zakonom oslobađanja*<sup>11</sup> (*Entlastung*). *Entlastung* je duboko ukorenjena tendencija čoveka da se kreće izvan neposrednosti date situacije, da se koncentriše na tipično i esencijalno. U svakodnevnom životu ljudi ne opažaju stvari u svojoj celovitosti, umesto toga, tokom našeg razvoja perceptivno polje postaje većim delom simbolično. Tipičan primer *Entlastunga* je sposobnost čoveka da nacrtá plan objekta koji još uvek ne postoji. To je u potpunosti simbolička operacija u kojoj je svaki potez značenjski sugerisan<sup>12</sup>. Sadržaj i značenje crteža zavisi od naše sposobnosti da ga "pročitamo"<sup>13</sup> kao konkretan fizički objekat. U tom

---

<sup>10</sup> Pojam deskrame odnosi se na interaktivnu LCD tablu za prikazivanje arhitektonskih objekata u tri dimenzije. Pomeranjem table po ravni stola na kojoj je projektovana osnova, na monitoru deskrame emituje se slika preseka/izgleda objekta u zavisnosti od mesta gde dodiruje plan i od ugla u odnosu na ravan stola. Deskrama je patent profesora Takehiko Nagakure (Takehiko Nagakura) sa MIT-a.

<sup>11</sup> (Gehlen, 1988, str. 54)

<sup>12</sup> (Vesely, 2004, str. 63)

<sup>13</sup> Pojam "čitanja" arhitekture i geometrijskih oblika je ukorenjena u brojne tekstove o arhitekturi i odnosi se na niz metodoloških postupaka koji podrazumevaju apstrakciju, konkretizaciju, klasifikaciju i analizu vizuelnih informacija.

smislu, problem reprezentacije je usko povezan sa procesom stvaralaštva (poiēsis) i kreativnog podražavanja (mimēsis)<sup>14</sup>.

Osnovna pretpostavka je da postoji međuzavisnost između arhitektonskog značenja i načina mišljenja sa jedne strane i delanja arhitekta sa druge. Međutim, značenje arhitektonskog dela nije samo rezultat autorove volje. Ona zauzima prostor u društvenoj realnosti, zavisna od socijalnog, urbanog, kulturnog konteksta, koja utiče na način kako će se objekat percipirati. Cilj istraživanja u ovoj disertaciji je da se dokaže deterministički odnos između reprezentacije prostora u arhitekturi i kreativnog stvaralaštva. Pri tome će biti razmatrano na koji način su ideje o samom prostoru i način instrumentalizacije kroz različite medijume, tehnike alate uticali na razvoj savremene arhitekture. U tom smislu osnovni zadatak rada biće pronalaženje odgovora na sledeća pitanja:

- na koji način su ideje o prostoru iz matematike i prirodnih nauka transponovane u arhitekturu i kako su se odrazile na arhitektonsku reprezentaciju,
- u kojoj meri su tehnike geometrijske reprezentacije prostora uticale na morfo-genetski proces dizajna u savremenoj arhitekturi i
- kako je razvitak instrumenata i alata za crtanje uticao na tipomorfologiju arhitektonskih oblika u posmatranom periodu.

Rezultat istraživanja obuhvata sistematizaciju tehnika i alata geometrijske reprezentacije kao i uočavanje ključnih momenata u razvoju koji su uticali na tokove savremene arhitekture. Osnovni značaj tako dobijenih rezultata je repozicioniranje uloge reprezentacije prostora u procesu arhitektonskog projektovanja, kao i formiranje osnove za dalja buduća interdisciplinarna istraživanja koje bi obuhvatile kognitivne metode opažanja i primenjenu geometriju u arhitekturi.

#### **1.4. Primenjene naučne metode**

Rad je podeljen na dve tematske celine u kojima se iz diskursa geometrijske reprezentacije posmatra nastanak i razvitak savremene arhitekture. Prvi deo rada se bavi odnosom ideje prostora u matematici, i instrumentalnom pristupu u arhitekturi. U drugom delu je pokazana uloga medijuma, tehnika i alata reprezentacije na arhitektonsko stvaralaštvo.

Shodno problemima istraživanja u prvom delu rada primenjen je istorijski metod, komparativna analiza i metoda klasifikacije. Istorijski metod primenjen je u odnosu na probleme instrumentalnog pristupa ideji prostora u širem vremenskom kontekstu. Komparativnom analizom i metodom klasifikacije biće posmatrani različiti primeri instrumentalnog pristupa ideji prostora u arhitekturi.

U drugom delu rada osim pomenutih naučnih metoda biće korišćene i metode modelovanja i studije slučaja. Metodom modelovanja biće objašnjeni različiti algoritamski modeli koji se koriste kao kompjutacioni alati reprezentacije. Studijom slučaja biće opisani različiti primeri primene tehnika i alata

---

<sup>14</sup> (Vesely, 2004, str. 63)

reprezentacije. Način izbora primera za studiju slučaja biće definisan u odnosu na dva osnovna kriterijuma:

- Inventivnost u odnosu na način upotrebe određenih tipova geometrijske reprezentacije prostora i
- Inovativnost samog metoda i njegov uticaj na nove prostorne koncepcije u arhitekturi.

Metodom indukcije biće otkrivene dalje smernice u razvoju instrumentalnog pristupa idejama prostora, kao i tehnika i alata reprezentacije.

## **1.5. Kratak pregled dosadašnjih istraživanja teorije i reprezentacije geometrijskih prostora u arhitekturi**

Postoji veoma obimna literatura koja se bavi različitim problemima reprezentacije prostora u arhitekturi. Opus literature može biti podeljen na tekstove koji istražuju različite koncepcije prostora u arhitekturi, ulogu crteža i tehnika projiciranja na proces arhitektonskog stvaralaštva, i uticaj digitalnih tehnologija na nove pristupe u generisanju arhitektonske forme. Zbog obima literature, biće napomenuti samo oni autori ili tekstovi koji se smatraju ključnim za razmatranje određenih problema istraživanih u ovoj disertaciji.

Prva teorijska razmatranja uticaja različitih ideja prostora na razvoj savremene arhitekture započeo je Zigfrid Gideon (Sigfried Giedion) 40-tih godina XX veka. U okviru svojih predavanja na ETH u Cirihi i na Harvardu, kao i u knjizi "Prostor, vreme, arhitektura" (1941) Gideon je formirao teorijski diskurs savremene arhitekture povezujući nauku, umetnost i građevinske konstrukcije sa novim koncepcijama prostora u matematici i fizici. Tokom druge polovine XX veka nastalo je nekoliko tekstova u kojima su istraživani uticaji različitih matematičkih koncepcija prostora na savremenu arhitekturu. *Mathland* (2004) Mikele Emera (Michele Emmer) i "Četvrta dimenzija i neeuklidska geometrija u modernoj umetnosti" (1984) Linde Henderson Dalrimpl (Linda Henderson Dalrymple), su ključni za istraživanje koncepcije neeuklidskih i višedimenzionalnih prostora u arhitekturi<sup>15</sup>. Osim pomenutih autora, važne izvore čine originalni tekstovi arhitekata iz modernističkih pokreta de stajl, futurizam i konstruktivizam u čijim manifestima se mogu pronaći proklamovane nove ideje o prostoru. Koncept topologije pojavljuje se prvi put u arhitekturi sredinom XX veka u tekstovima Rejnera Banama (Reyner Banham), ali ideja topološkog prostora intezivno primenjivana krajem XX veka. Filozofske rasprave Žila Deleza (Gilles Deleuze) i Feliksa Guatarija (Félix Guattari) su ključni su razumevanje teorije nabiranja i koncepta topologije u arhitekturi, a tekstovi arhitekata Grega Lina (Greg Lynn), Pitera Ajzenmana (Peter Eisenmann), Stivena Perele (Stephen Perella) predstavljaju važan osnov za istraživanje različitih pristupa konceptu topologije u arhitekturi. Knjiga "Arhitektura i nauka" (2004) Đuzepe di Kristine (Giuseppe di Cristina) je važan izvor tekstova o topološkom diskursu u arhitekturi. Teorijski okviri za novu koncepciju

---

<sup>15</sup> Originalne naslove knjiga i tekstova videti u bibliografiji.

prostora koja se oslanja na teoriju kompleksnih adaptivnih sistema formulisani su u tekstovima Majkl Hensela (Michael Hensel), Ahim Mengesa (Achim Menges) i Kristofer Hajta (Christopher Hight)<sup>16</sup>.

Teorijska istraživanja o razvoju različitih tehnika geometrijske reprezentacije i njihovog uticaj na arhitektonsko stvaralaštvo mogu se proučavati paralelno sa razvojem fenomena fizije i kartezijanske ideje o prostoru. Za razmatranje fenomenološkog aspekta problema arhitektonske reprezentacije značajna je Lindbergova (David C. Lindberg) "Teorija Vizije" (1976), "Arhitektura u doba podeljene reprezentacije" Vezelija (2004) i „Arhitektonska reprezentacija i perspektivna veza“ (2000) Gomez i Peletjea (Alberto Perez Gomez, Louise Pelletier). Značajan doprinos istraživanju uticaja projektivnih tehnika na arhitektonsko stvaralaštvo pokazali su Kim Veltman (Kim Veltman), Robin Evans (Robin Evans), Mario Karpo (Mario Carpo) i Frederik Lamer (Frederique Lamerle) u svojim radovima. Razvoj tehnika crtanja kao i uticaj skica i individualnog pristupa crtanju istraživali su Buker (Peter Jeffrey Booker) u "Istoriji inženjerskog crteža" (1976) i Kendra Šank Smit (Kendra Schank Smith) u "Crtežima arhitekata" (2005).

Postoje brojni tekstovi koji se bave uticajima digitalnih tehnologija i alata kompjutacije na proces arhitektonskog stvaralaštva. Vilijam Mičel (William Mitchell), Piter Zelner (Peter Zellner), Branko Kolarević, Greg Lin (Greg Lynn), Kostas Tercidis (Kostas Terzidis), Ali Rahim (Ali Rahim), Toni Kotnik (Toni Kotnik) su samo neki od autora najznačajnijih publikacija u kojima su razmatrani problemi arhitektonske reprezentacije u digitalnoj epohi.

## 1.6 Kratak prikaz rada

Rad se sastoji iz pet delova koje obuhvataju: uvod, ideje geometrijskog prostora njihov uticaj na savremenu arhitekturu, uticaj medijuma, tehnika i alata geometrijske reprezentacije na savremenu arhitekturu i zaključak.

U uvodnom delu definisan je predmet istraživanja u disertaciji, objašnjen je pojmovni okvir i ciljevi istraživanja i naznačene su osnovne naučne metode koje su primenjene u radu. Na kraju uvodnog poglavlja data je pregled dosadašnjih istraživanja koja su korišćena u samom radu.

U drugom delu rada prikazan je razvoj ideja o prostoru i njen uticaj na savremenu arhitekturu. U prvom delu poglavlja prikazan je istorijski osvrt na ideje prostoru i teorije vizije do XVIII veka. Dalje u poglavlju su objašnjene geometrijske karakteristike pojedinih prostora u matematici i način na koji su one transponovane u šire kulturne okvire, a zatim i u arhitekturu. U tom smislu prikazana je instrumentalizacija ideje kartezijanskog (trodimenzionalnog euklidskog) prostora, višedimenzionalnih, neeuklidskih i topoloških prostora. Na kraju poglavlja naznačen je okvir za nove ideje o prostoru u arhitekturi koje se oslanjaju na teorije kompleksnih adaptivnih sistema.

---

<sup>16</sup> (Hensel, Hight, & Menges, 2009)



U trećem poglavlju je prikazan uticaj medijuma, tehnika i alata geometrijske reprezentacije na savremenu arhitekturu. U prvom delu poglavlja istražuje se odnos medijuma i tehnika reprezentacije kroz širi vremenski period, da bi se pokazala uloga konvencija i tehnika crtanja na nastanak i razvoj savremene arhitekture. Istraživanje uticaja medijuma, tehnika i alata reprezentacije na savremenu arhitekturu je hronološki podeljeno na dva perioda: predigitalnu i digitalnu epohu, da bi se jednostavnije mogao uočiti niz promena u proces arhitektonskog dizajna uslovljen primenom digitalnog medijuma i alata. S obzirom da je primena maketa i dalje intenzivno u upotrebi, istražen je i odnos tehnika geometrijske reprezentacije u kontekstu integrisane primene sa maketama.

U četvrtom, zaključnom delu rada sumirani su rezultati istraživanja koja su opisana u prethodnim poglavljima. Rezultati istraživanja sumirani su u odnosu na sve aspekte istražene u radu i dodatno prikazane pomoću hronoloških dijagrama pregleda razvoja. Osim sumiranih rezultata, u zaključnom delu rada date smernice ka budućim istraživanjima uloge geometrijske reprezentacije prostora na proces arhitektonskog stvaralaštva.

## 2. Ideje geometrijskog prostora njihov uticaj na savremenu arhitekturu

Postoje brojne linije teorijskih istraživanja prostora u arhitekturi. Sredinom XIX veka pod uticajem novih naučnih disciplina eksperimentalne psihologije i razvitka teorija percepcije, nemački teoretičari arhitekture razvijaju prve ideje o prostoru (Raum), kao esenciji arhitektonskog stvaralaštva<sup>17</sup>. *Raum* koncept ostaje duboko ukorenjen u radovima nemačkih teoretičara, a Zigfrid Gideon četrdesetih godina XX veka prvi započinje teorijska razmatranja ideja prostora u arhitekturi a koja se oslanjaju na koncepcije prostora u matematici i fizici.

Danas postoje različiti pristupi konceptu prostora u arhitekturi, koji se najčešće oslanjaju na čulna i egzistencijalna svojstva. Pojam geometrijskog prostora može se definisati kao koncept prostora koji se oslanja na svoje geometrijske karakteristike. Iako je za arhitekta dominantna ideja prostora bila vekovima vezana za trodimenzionalni euklidski prostor, razvoj savremene arhitekture obeležen je i drugim geometrijskim koncepcijama. Trodimenzionalni euklidski prostor identifikovan je kao prostor čulne percepcije i imaginacije zbog čega je vekovima dominirao u procesu mišljenja, a tek se u XIX veku razvijaju i druge matematičke koncepcije prostora.

Doktorska disertacija matematičara Bernard Rimana (Bernhard Riemann) „O hipotezama i osnovi geometrije“ publikovana 1868 godine, stvorila je osnov za globalnu viziju geometrije i varijacije različitih tipova prostora, euklidskih ili neeuklidskih, sa različitim brojem dimenzija većim ili jednakim od tri. Rimanova disertacija otvorila je vrata za izučavanje različitih tipova *metričkih prostora*, u kojima je trodimenzionalni euklidski samo specijalan slučaj. Feliks Klajn (Felix Klein) u čuvenom manifestu *Erlangen program* (1872), definiše geometriju kao nauku o svojstvima figura koje imaju invarijantni karakter u odnosu na određenu grupu transformacija. Okviri geometrije definisani na takav način otvorili su put ka novim nemetrički definisanim prostorima. Topologija koju Anri Poenkare (Henri Poincaré) u svom delu *Analysis Situs* (1895) definiše kao nauku koja se bavi kvalitativnim karakteristikama geometrijskih tela, postavila je temelje ideji topoloških prostora.

U narednim decenijama različite koncepcije prostora u matematici postale su tema u širim kulturnim okvirima van matematike. Intrigantna svojstva koja poseduju geometrijska tela u odnosu na različite koncepcije prostora postale su tema u pojedinim umetničkim krugovima. Umetnički pokreti kubizam, futurizam i konstruktivizam početkom XX veka su neke od svojih osnovnih postulata bazirali na novim koncepcijama prostora neuklidskih i višedimenzionalnih prostora. Koncept topologije se u vizuelnim umetnostima počinje razvijati 30-tih godina XX veka, da bi 50-tih godina bio šire prisutan. U narednom delu poglavlja biće pokazano na koji način su se ideje geometrijskih prostora proširile van okvira matematike i kakav su odraz imale na arhitekturu.

---

<sup>17</sup> (Panin, 2003)

## 2. Definisanje vremenenskih okvira u istraživanju uticaja koncepcije geometrijskog prostora na savremenu arhitekturu

Istraživanje uloge reprezentacije prostora na razvoj savremene arhitekture zahteva poseban pristup periodizaciji koji se oslanja na koncepcije prostora u matematici, filozofiji i širim kulturnim okvirima. Koncept prostora definisan jezikom matematike, geometrije ili filozofije potiče iz perioda antičke grčke, zbog čega je osim perioda savremene arhitekture u radu prikazan istorijski osvrt na poimanje prostora u širem vremenskom okviru.

Koreni nastanka savremene arhitekture podudaraju se sa periodom razvoja instrumentalnog pristupa kartezijanskom načinu mišljenja o prostoru u arhitekturi. Iako otkriće koordinatnog sistema datira iz prve polovine XVII veka, moderan kartezijanski način posmatranja geometrijskih problema u prostoru je prihvaćen tek početkom XVIII veka. Istovremeno, ključni momenti u razvoju i sistematizaciji tehnika crtanja, i perspektivna relativizacija položaja posmatranja dogodili su se početkom XVIII veka, što je imalo direktnog odraza na reprezentaciju prostora u arhitekturi. Stoga je XVIII vek identifikovan kao prekretnica u razvoju ideje o prostoru u arhitekturi.

U disertaciji je prikazan istorijski osvrt na poimanje prostora u arhitekturi do XVIII veka, kao i uticaj različitih koncepcija geometrijskog prostora na savremenu arhitekturu od XVIII veka do danas. Širi vremenski okvir od antike do XVIII veka, podeljen je u dve velike vremenske epohe:

- Epoha antičkih teorija vizija i optike (III vek p.n.e. do XV veka n.e.)
- Epoha razvoja perspektivnog mišljenja (XV- XVIII veka)

Periodizacija šireg vremenskog okvira utvrđena je u odnosu na razvoj teorija vizije i njene veze sa kosmologijom, koje su imale najvećeg uticaja na poimanje i reprezentaciju prostora u arhitekturi do XVIII veka. Prva epoha, od III veka p.n.e. do XV veka obeležena je prvim saznanjima i postulatima geometrije, kao i saznanja iz antičke naučne discipline *optike*<sup>18</sup> čiji je uticaj ostao dominantan tokom srednjeg veka. Period renesanse i baroka obeležen je otkrićem linearne perspektive, glavne karakteristika nove istorijske ere u oblasti vizuelne reprezentacije prostora. Otkriće perspektive uticalo je i na nova teološka i kosmološka predubedenja koja su oblikovala stavove prema reprezentaciji prostora u arhitekturi. Periodizacija i hronološki pregled ključnih događaja u razvoju teorija vizije i poimanja prostora u arhitekturi do XVIII veka dat je u prilogu 1. (strana 221).

Razvoj koncepcija geometrijskog prostora u savremenoj arhitekturi su simultano uticala na razvoj različitih pristupa arhitektonskoj praksi, istraživanjima i teorijskom diskursu. Stoga je razvoj svake koncepcije prostora u arhitekturi posmatran nezavisno. U prilogu 2. (strana 222) dat je komparativni hronološki prikaz razvoja različitih koncepcija prostora u matematici, širim prostornim okvirima i arhitekturi.

---

<sup>18</sup> Pojam optika se u antičkoj grčkoj odnosio naučnu disciplinu koja se bavila fenomenom vizuelne percepcije i svetlosti. Antička optika imala je snažnog odraza na evropske naučne i kulturne okvire sve do perioda renesanse.

## 2.2. Istorijski osvrt na poimanje prostora i teorije vizije u arhitekturi od antičkog perioda do XVIII veka

Evolucija ideje prostora definisane jezikom matematike i geometrije može se proučavati u vremenskom rasponu većem od dva milenijuma. Najraniji istorijski izvori po kojim se mogu proučavati prve ideje o prostoru jesu filozofski i matematički tekstove iz antičkog perioda. Već u antičkoj grčkoj pojavila su se dve različite koncepcije prostora. Prva je tretirala prostor kao „sadržaoča“ svih stvari i takvom idejom su se uglavnom bavili filozofi. Za prve antičke filozofe prostor i materija bile su ponekad nerazdvojive stvari i sve do Leukipa (Leucippus) i prvih atomista, negirana je ideja postojanja *praznog*<sup>19</sup>. Drugi koncept prostora se odnosio na geometrijske karakteristike tela: dimenzije, rastojanje i orijentaciju<sup>20</sup>. U staroj grčkoj geometrija kao naučna disciplina bila je visoko razvijena. Oblast kojom se antička geometrija bavila nije obuhvatala samo planimetriju već i pojedine prostorne probleme kao što su konstruisanje i izračunavanje površina i zapremina trodimenzionalnih geometrijskih tela. Antička saznanja o geometriji koje je prvi sistematizovao i objavio grčki matematičar Euklid (Euclid) u knjizi „Elementi“, bile su osnovni temelj ove naučne discipline više od dva milenijuma. Iako su principi „Euklidove“ geometrije ostali suštinski nepromenjeni sve do početka XIX veka, postojalo je različito viđenje ideje prostora u kontekstu veze zakona euklidske geometrije i čovekove percepcije i reprezentacije takvog prostora. Važno je uočiti da je način mišljenja i instrumentalizacija ideja o trodimenzionalnom „euklidskom“ prostoru danas drugačiji u odnosu na prethodne epohe isključivo zbog načina na koji se posmatraju problemi percepcije i fenomen vizije. Perspektivno viđenje sveta kao i način reprezentacije prostora je sve do XVIII veka posmatrano u svetlu „nesavršenosti“ načina ljudskog viđenja, kosmoloških i teoloških dogmi. Tek u XVIII veku euklidski prostor se počinje posmatrati kartezijanskom logikom, kada geometrijski prostor postaje homogen u tri pravca, metrički definisan, i beskonačan u pozitivnom i negativnom smeru<sup>21</sup>.

Istorijski osvrt na ideju euklidskog prostora biće posmatran u odnosu na fenomen vizije i način na koji je percipiranje i reprezentacija prostora uticalu na njegovu instrumentalizaciju. Ključni momenat u razvitku ideje prostora koji je vodio savremenom načinu gledanja i percipiranja arhitekture i strukture prirodnog sveta uopšte, je period renesanse i otkriće linearne perspektive. Tada je odgonetnuta geometrijska veza između fenomena vizije i reprezentacije prostora. Novi način reprezentacije koji se pojavio u epohi renesanse uticao je na oblikovanje evropske kulture vekovima kasnije. S toga će razvitak ideje prostora u kontekstu fenomena vizije biti razmatran u odnosu na period pre i posle nastanka linearne perspektive.

---

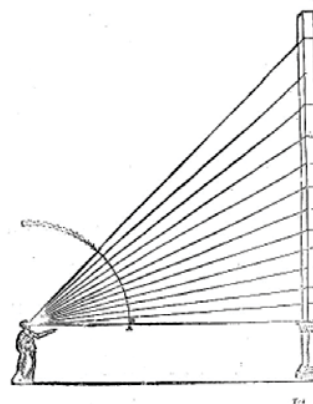
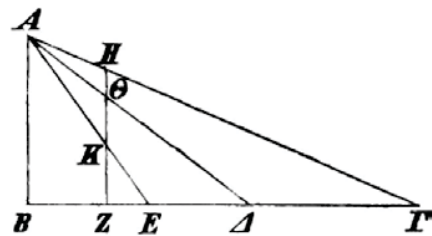
<sup>19</sup> Leukip i filozofi atomisti uvode pojam Kenon (Kenón, κενόν) koji se odnosi na prazan prostor između atoma. (Shimomisse, 1996)

<sup>20</sup> Starogrčki pojmovi *Chōros*, *Chora* i *Chōrion* bliski su geometrijskom diskursu definisanja koncepcije prostora.

<sup>21</sup> Važno je primetiti da u Euklidovim *Elementima* nije bilo mesta za današnju predstavu prostora. Euklid se koristi pojmom *chōrion*, koji se odnosi na oblast ograničenu omotačem neke geometrijske figure. (Vesely, 2004, str. 113)

### 2.2.1. Poimanje prostora u kontekstu antičkih teorija vizije i optike u prerenesansnom periodu

Fenomen vizije i problemi optike bili su predmet razmatranja već u periodu antičke grčke. Grčki filozofi i matematičari su bili svesni različitih optičkih fenomena: pojave da udaljeni predmeti deluju manji nego što jesu, konvergenciji paralelnih linija ka horizontu i problema prelamanja svetlosti u vodi. Najznačajniji izvor antičkih saznanja o problemima percepcije prostora je Euklidova knjiga *Optika* iz III veku p.n.e. Pojam optika (ὀπτική) potiče od istoimene grčke reči i odnosio se na naučnu disciplinu koja se bavila fenomenom vizuelne percepcije i svetlosti. U postulatima *Optike* Euklid preuzima Platonove (Plato) stavove o pravolinijskim kretanjima zrakova svetlosti koje omogućavaju sagledavanje sveta<sup>22</sup>. Antičke teorije vizije bile su podeljene u odnosu na pretpostavku da li posmatrač aktivno ili pasivno prihvata ili šalje svetlosnu materiju i zrake<sup>23</sup>. Za Euklida oko je bilo aktivni učesnik u fenomenu vizije, pre nego pasivni receptor slike, kao što su već predpostavljali grčki filozofi atomisti Epikur (Epicurus) i Demokrit (Democritus). Neke od antičkih teorija objašnjavale su fenomen vizije, prisustvom određenog transparentnog „medijuma“ između posmatrača i objekta koji omogućava vizuelni doživljaj<sup>24</sup>. Mnogo značajniji aspekt Euklidove teorije vizije je uočavanje veze između vizuelne pojavnosti nekog objekta i pozicije posmatrača. U svojim *postulatima* iz *Optike*, Euklid definiše geometrijsku vezu između udaljenosti i opažajne veličine objekta definišući je pomoću ugla. Naročito je značajan četvrti postulat optike (slika 1) prema kome „predmeti viđeni većim uglom posmatranja izgledaju veće, sa



slika 1

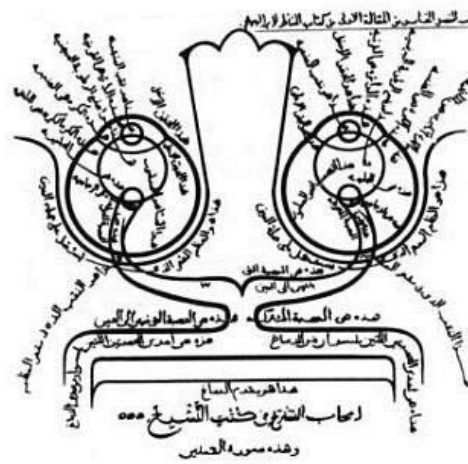
Interpretacija Euklidovih postulata optike iz rasprave o arhitekturi Sebastijana Serlija. Na slici je opisan četvrti Euklidov postulat optike o zavisnosti veličine predmeta u odnosu na ugao koji zahvata posmatranjem.

<sup>22</sup> Platonove ideje o fenomenu vizije prikazane u filozofskoj raspravi *Timaeus* bile su deo kosmololoških teorija zasnovanih na principima geometrije. Platonov *Timaeus* bio je osnov za kosmolološke pretpostavke od Vitruvija pa do kraja Renesanse. (Gomez & Pelletier, 2000, str. 13).

<sup>23</sup> Ideja da se sagledavanje postiže pomoću zraka svetlosti koje emituju oči, poznata je kao *ekstramisiona teorija*. Takva ideja potekla je od opažanja pojave da ljudima i životinjama oči "svetle" u mraku, odakle se mislilo da su one emiteri svetlosti. *Ekstramisiona* teorija je tek više od jednog milenijuma kasnije u potpunosti zamenjena *intramisionom teorijom* prema kojoj su oči receptori slike.

<sup>24</sup> Aristotelov kritičar Aleksandar iz Afrodizije je kretanje svetlosti opravdavao postojanjem pneume, mešavine dva elementa vatre i vazduha. (Gomez & Pelletier, 2000, str. 14)

manjim uglom deluju manje, a objekti koji zahvataju isti ugao posmatranja izgledaju isto”<sup>25</sup>. Odatle je sledilo da se udaljenost i veličina predmeta koji se perspektivno sagledavaju može meriti pomoću ugla koji zauzima u vidnom polju. Euklidovi postulati iz pomenutog dela bili su prvi pisani izvori koji su objašnjavali fenomen *perspective naturalis*<sup>26</sup>, u značajnoj meri utičući na razvitak teorije vizije tokom više od jednog i po milenijuma kao i na nastanak linearne perspektive. Rimljani prihvataju antičke ideje o optici, a spisi rimskog arhitekta Marka Polija Vitruvija (Marcus Pollio Vitruvius) su važan izvor saznanja o instrumentalizaciji takvih ideja na arhitekturu o čemu će kasnije biti detaljnije rečeno. Nakon pada zapadnog rimskog carstva, centri nauke sele se na istok u arapsko i vizantijsko carstvo. U obe civilizacije svetlost je imala važnu ulogu u kontekstu fenomena vizije i strukturiranju prostora. Pod antičkim teorijama vizije i hrišćanskim teološkim doktrinama reprezentacija prostora i simbolizam svetlosti u vizantijskom carstvu razvija se u zasebnom pravcu. Arapski naučnici prevode grčke knjige odakle direktno dolaze u dodir sa antičkim saznanjima. Oni su imali različite stavove o optici zalažući se za ekstrosionu teoriju inspirisane Platonom i Euklidom ili intromisionu teoriju koje vode poreklo od epikurejske filozofije i Demokritovog atomizma. Pod aristotelovim uticajem, za intromisionu teoriju se zalagao Al-Hazen (Ibn al-Haytham, ili lat. Alhacen) autor značajnog dela “Knjiga o optici”, (originalan naziv: *Kitab al-Manazir*; u srednjem veku poznata pod latinskim prevodom *De Aspectibus* ili *Opticae Thesaurus*) koje je imalo veliki uticaj na razvitak fizičke optike i razvitak teorija vizije (slika 2). Za Al-Hazenov rad na polju optike smatra se da je prvi u kome je primenjen naučni metod istraživanja i imalo je velikog



The eye, from Al-Hazen's *Opticae Thesaurus*—AD 1038.

slika 2

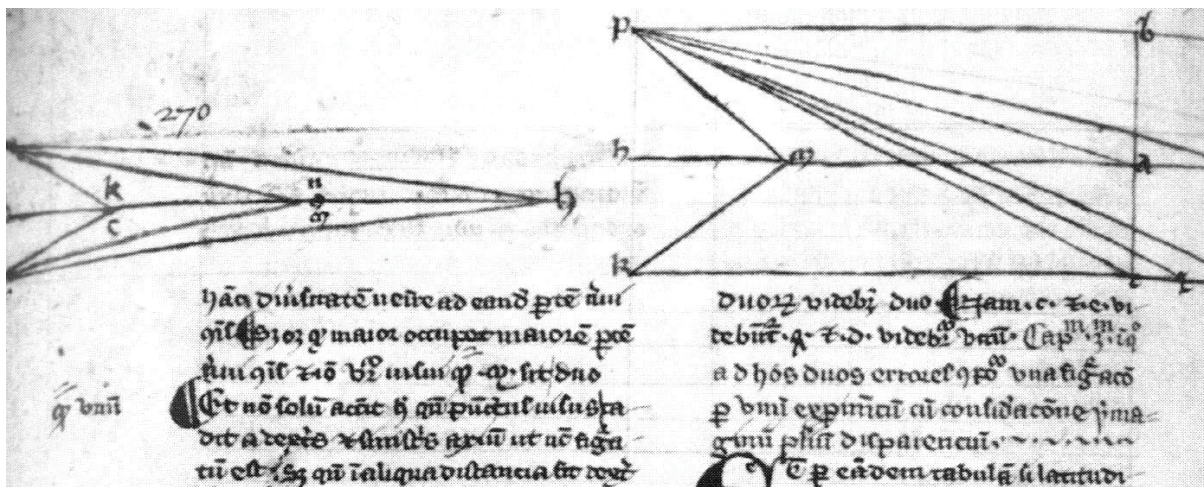
Ilustracija iz “Knjige o optici” Al-Hazena 1038. godine, kojom objašnjava fenomen vizije. Pomenuta knjiga imala je velik uticaj na razvitak fizičke optike i teorija vizije. U pomenutoj knjizi Al-Hazen je opovrgao Euklidovu ekstrosionu teoriju, po kojoj je oči emituju, a ne primaju zrake svetlosti.

<sup>25</sup> Neke od Euklidovih postulata iz *Optike* mogu se videti na veb stranici *Antička matematika*, Henri Mendel, California State University, URL: <http://www.calstatela.edu/faculty/hmendel/Ancient%20Mathematics/Euclid/Optics/Optics.html> (11. avgust 2008)

<sup>26</sup> Termin *perspectiva* pojavio se u srednjem veku kao prevod za grčku naučnu disciplinu optiku. *Perspectiva* u srednjevekovnom kontekstu nije imala veze ni sa tehnikama crtanja ili slikanja već teorijama vizije, fenomenom svetlosti i zakonima refleksije i refrakcije. Pojmovi *Perspectiva naturalis* i *Perspectiva artificialis* nastali su kasnije da bi se napravila razlika između percepcije slike dobijene ljudskim okom (*Perspectiva naturalis*) i „veštačkim“ naporom da se takva slika projektuje u dvodimenzionalni prostor (*Perspectiva artificialis*).



uticaja na srednjevekovnu evropsku kulturu uopšte. Al-Hazenova “Knjiga o optici” objavljena je na arapskom početkom XI veka i prevedena je na latinski dva veka kasnije. Filozofi, teolozi i naučnici XIII veka upoznali su se sa saznanjima o optici preko Al-Hazenove knjige. U srednjevekovnoj evropi u XIII veku engleski filozofi i teolozi Robert Grosetest (Robert Grosseteste) i Rodžer Bekon (Roger Bacon) bili su pod snažnim Al-Hazenovim uticajem al nikada nisu prihvatili intromisionu teoriju. Bekon je tako spojio čin “posmatranja” i čin “biti posmatran” (slika 3). Džon Pekam (John Pecham), Vitelo (Erazmus Ciolek Witelo) i Grosetest (Robert Grosseteste), najznačajniji srednjevekovni pisci o *Perspectivi naturalis*, slagali su se Bekonom i delili su isto teološko interesovanje o svetlosti<sup>27</sup>. Treba naglasiti da je *perspectivom naturalis* objašnjavao fenomen ljudske vizije, ali ne u kontekstu reprezentacije prostora, već u razumevanju načina Božijeg prisustva.



Sveštenik i filozof, Toma Akvinski (Thomas Aquinas) vezivao je pojam *perspectiva naturalis* sa harmonijom u muzici, nikada sa crtežima ili bilo kojim drugim grafičkim metodom<sup>28</sup>. Srednjevekovna kosmologija pretežno bazirana na neoplatonističkoj filozofiji je krajem XII veka dala ogroman značaj fenomenu svetlosti, u kojem je kroz

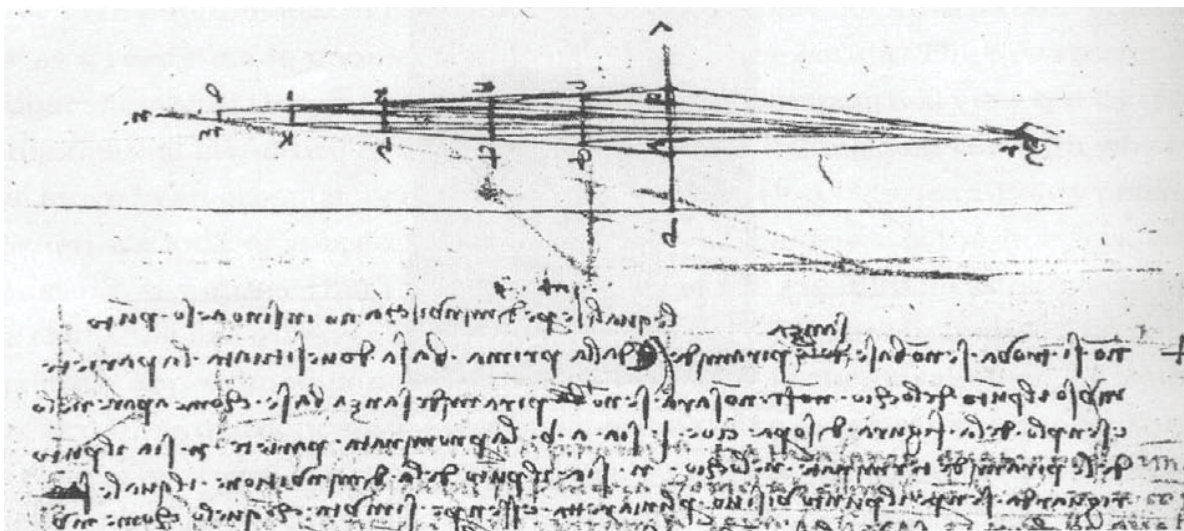
slika 3

Srednjevekovna razmatranja o fenomenu vizije i svetlosti. Ilustracija iz *De multiplicatione specierum* (oko 1262) Rodžer Bekona.

<sup>27</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 14)

<sup>28</sup> Ibid. str. 16

jezik geometrijske optike pokušavala da razume taj prirodni fenomen i da je reflektuje na teološka razmatranja. U raspravama perpspektivista iz XIII veka, diskutovano je ne samo o fizičkim osobinama svetla, već i teološkim i metafizičkim, koristeći se skoro isključivo geometrijskim jezikom optike<sup>29</sup>. Rodžer Bekon dostiže vrhunac sinteze materijalnog u duhovnog u srednjovekovnoj filozofiji svetlosti. Prema Veseliju, Bekonova interpretacija svetlosti, konzistentno izražena jezikom geometrijske optike, uspostavila je tradiciju koja je imala presudan uticaj u formiranju renesansne perspektive<sup>30</sup>.



Dug i anonimni proces koji se postepeno artikulisao u novi vid reprezentacije prostora, obično se pripisuje kao inventivnost male grupe umetnika i intelektualaca iz Firence početka XV veka (slika 4). Njihov doprinos, otkriće precizne perspektivne konstrukcije smatra se kao otkriće i događaj bez presedana, ali je tome prethodilo znanje optike pojedinih humanista sa kraja XIII veka<sup>31</sup>. Proces *perspektivizacije* započinje u XII veku, sa

slika 4  
Fenomen vizuelne kupe i perspektivne reprezentacije prema Leonardo Da Vinčiju (1492)

<sup>29</sup> (Vesely, 2004, str. 116)

<sup>30</sup> Perspektivni i optički radovi imali su snažan uticaj na Džona Pekama i Vitela, uglavnom preko papinog dvora u Viterbu, koji je bio centar optičkih studija u XIII veku. Vitelo dolazi u Viterbo oko 1270. godine i piše raspravu o perspektivi, a Pekam nekoliko godina kasnije takođe stiže u Viterbo i piše čuveno delo *Perspectiva communis* koje je bila raširena među piscima XIV veka. Naučnik i filozof Bjađo da Parma (Biagio da Parma) pod uticajem Pekamovog dela piše *Quaestiones perspectivae* oko 1390. godine, koje matematičar i astronom Polo Toskanelli (Paolo Toscanelli) donosi u Firencu 1424. godine. Kasnije rasprave Albertija (Leon Battista Alberti) o optici već su bile sadržane u Pekamovom delu. (Vesely, 2004, str. 128,411; Lindberg, 1976, str. 116-132).

<sup>31</sup> (Vesely, 2004, str. 110)

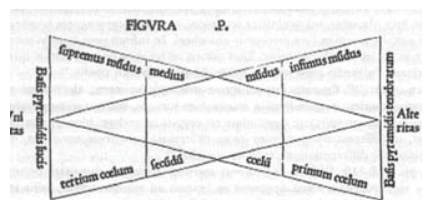


promenama u prirodi saznanja i razvitkom nauka. Proces je velikim delom bio uslovljen pojavom prevoda tekstova antičkih i arapskih filozofa i naučnika tokom XIII veka koje se odnosi na povratak Aristotelizma i nastanak nove filozofije svetla i optike<sup>32</sup>. Vidljiva manifestacija procesa *perspektivizacije* može se uočiti u novom osećaju za prostor koji se manifestovao u slikarstvu arhitekturi i urbanizmu najavljujući novu epohu u načinu reprezentacije i doživljaja prostora.

## 2.2.2. Poimanje prostora u kontekstu razvitka perspektivnog mišljenja u periodu renesanse i baroka

Otkriće linearne perspektive smatra se jednom od najznačajnijih događaja renesansne epohe. Nastanak „veštačke perspektive“ (*perspectiva artificialis* ili *costruzione legittima*) smatra se kao glavna karakteristika nove istorijske ere u oblasti vizuelne reprezentacije prostora, koji nema istorijskog presedana. Iako je perspektivni način prikazivanja prostora otkriven početkom XV veka, bilo je potrebno skoro tri veka da se ovaj metod reprezentacije u potpunosti oslobodi simboličkih konotacija teoloških doktrina.

Najznačajniji izvori perspektivnog mišljenja bili su novi pronalasci u srednjovekovnoj filozofiji optike i svetla poznatiji kao *perspectiva naturalis*. Koncept perspektive u ranoj renesansi zadržao je vezu sa klasičnom optikom, posebno u gnoseološkoj i teološkoj konotaciji vizije i simbolizma svetlosti. Nemački kardinal, astronom i mislilac iz perioda rane renesanse, Nikola Kuzanski<sup>33</sup> (Nicholas Cusanus) u svojoj raspravi *De Visione Dei* (1453) primenjuje geometrijski koncept Euklidovog vizuelnog konusa u teološku diskusiju (slika 5). Nikola Kuzanski piše kako je Božiji pogled beskonačan i



FIGVRA .P.  
Nicholas of Cusa, *De coniecturis*, the pyramids of light and shadow, finitude and infinity, unity and difference.

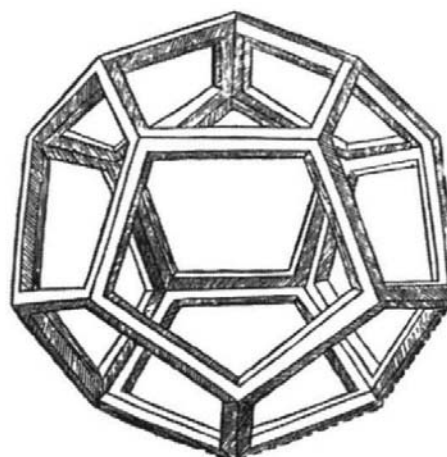
slika 5

Crtež Nikole Kuzanskog iz *De Coniecturis* (oko 1443). Dijagram prikazuje obrnute piramide svetlosti i senke, božanskog i zemaljskog. Renesansne teološke doktrine direktno su se oslanjale na saznanja optike i fenomena vizije.

<sup>32</sup> Prvi značajan rad iz oblasti optike u Zapadnom svetu pripadaju Robertu Grossetestu (1175-1253) i prvi centar optičkih istraživanja bila je palata Pape u Viterbu

<sup>33</sup> Nikola Kuzanski smatra se jednim od najvećih naučnika svog perioda, sa čijim radom su bili upoznati Nikola Kopernik, Johan Kepler, Galileo Galilej, Đordano Bruno. Tvrdio je da nepostoji savršen krug u kosmosu, anticipirajući nastanak Keplerovih teorija o kretanju planeta eliptičnim orbitama. Takođe je imao uticaja na Đordana Bruna, poričući stav da zemaljska kugla ima centralni položaj u univerzumu. Prema: Tamara Albertini, "Mathematics and Astronomy," u *Introducing Nicholas of Cusa*, ured. Bellitto, Izbicki, Christianson, Paulist Press, 2004. Mahwah NJ, SAD. str. 373-406.

sveobuhvatan dok je ljudska vizija vezana za telo, njegovu nesavršenost i poziciju posmatranja. Koncept Kuzanskog objašnjava i njegova geometrijska definicija Boga u *De Docta Ignorantia* (1440) kao „krug čiji je centar sveprisutan“, asociirajući ga implicitno sa geometrijskom beskonačnošću<sup>34</sup>. Filozofija Kuzanskog često je opisivana kao perspektivna čiju logiku su prihvatili umetnici i mislioci XV veka. Nikola Kuzanski je i sam bio prijatelj sa firentinskim matematičarom Toskanelijom (Paolo Toscanelli) i arhitektom Albertijem (Leon Battista Alberti) sa kojima je razmenjivao sopstvene ideje o perspektivi<sup>35</sup>.



slika 6

U konstituisanju “geometrijske strukture univerzuma” veliku ulogu imali su pravilni poliedri, takođe poznata kao Platonova geometrijska tela<sup>36</sup>. Ona su se često pojavljivala u raspravama o perspektivi (slika 6) ili arhitekturi tokom XV i XVI veka<sup>37</sup>. Pod uticajem Platonove kosmologije, poliedarska tela su isključivo posmatrana u simboličkoj konotaciji, gde ona predstavljaju esencijalnu strukturu prirode, božanskog i

Simbolička konotacija poliedarskih tela u konstituisanju “geometrijske strukture univerzuma”. Levo: slika Đakopo de Barbarija (Jacopo De Barbari): *Portret Luke Pačolija* (1495). Luka Pačoli, (Luca Pacioli), učitelj matematike Leonarda Da Vinčija, autor je rasprave “De divina proportione”. U pomenutoj raspravi o perspektivi, akcentat je dat poliedarskim telima.

Desno: crtež pravilnog poliedra, (dodekaedra) iz pomenute rasprave. Ilustraciju za Pačolijevu raspravu je uradio Leonardo da Vinči.

<sup>34</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 19)

<sup>35</sup> (Vesely, 2004, str. 156)

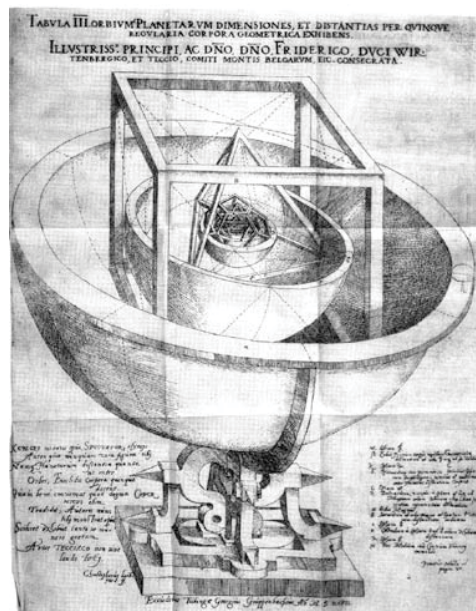
<sup>36</sup> Platon u svojoj kosmološkoj raspravi *Timaeus* koja je bila zasnovana na principima geometrije razmatra osnovne elemente od kojih je sačinjen svet: voda, vatra, zemlja vazduh. Te elemente Platon dalje vezuje za poliedarska tela: ikosaedar, piramida, kocka, oktaedar. Dodekaedar, peti element bio je vezivan za strukturu kosmosa ili raja, zbog različitih simboličkih konotacija koje se kriju u ovom poliedru. Dodekaedar ima isti broj strana koliko i zodijskih znakova, a sačinjen je od pravilnih petouglova. Antičkim grcima je takodje bilo poznato svojstvo pravilnog petougla da odnos dijagonala i stranica grade zlatni presek.

<sup>37</sup> Pjero dela Frančeska, autor jednih od najznačajnijih rasprava o perspektivi, takođe je napisao nekoliko radova iz matematike posvećenim pravilnim poliedrima.

univerzuma. Uloga poliedarskih tela u raspravama o perspektivi i njihov privilegovan status pokazuje da cilj perspektive nije samo kreiranje iluzije vidljivog sveta, već i oslikavanje njegove generičke strukture<sup>38</sup>.

Tokom XV i XVI veka perspektiva je imala primarno ontološki zadatak: pomiriti različitost prirodnog fenomena i univerzalnog poretka, ljudskog sa božanskim, zemaljskog sa nebeskim. Kako se tada verovalo, Platonova tela, zajedno sa perspektivnom reprezentacijom imala su ključnu ulogu u konstituisanju jezika realnosti<sup>39</sup>. Krajem XVI veka Johan Kepler (Johannes Kepler) piše astronomsku knjigu *Mysterium Cosmographicum* (slika 7) u kojoj je pokušao da harmonične odnose i proporcije Platonovih geometrijskih tela poveže sa distancama i odnosima koje vladaju u sunčevom sistemu<sup>40</sup>. „Geometrizacija kosmičkog prostora“ koja usko povezuje geometriju i teologiju, važan je korak u formiranju apsolutnog kartezijskog prostora. Za naučnike filozofe i umetnike XVII veka, veza između fizike i teologije uspostavljena je geometrijom.

Tokom XVII veka dogodila su se dva značajna matematička otkrića koja su uticala na nastanak moderne ideje trodimenzionalnog geometrijskog prostora. Prvo otkriće jeste definisanje kartezijskog koordinatnog metričkog sistema čime je omogućena sinteza geometrije i algebre u analitičku geometriju, odnosno upotreba modela trodimenzionalnog euklidskog prostora za opisivanje geometrijskih figura ili algebarskih jednačina. Drugo otkriće jeste nastanak projektivne geometrije kojom je pokazana veza između perspektivnog prostora i euklidske geometrije. Oba otkrića reflektovala su se na razvitak moderne ideje trodimenzionalnog geometrijskog prostora tek u XVIII veku.



slika 7

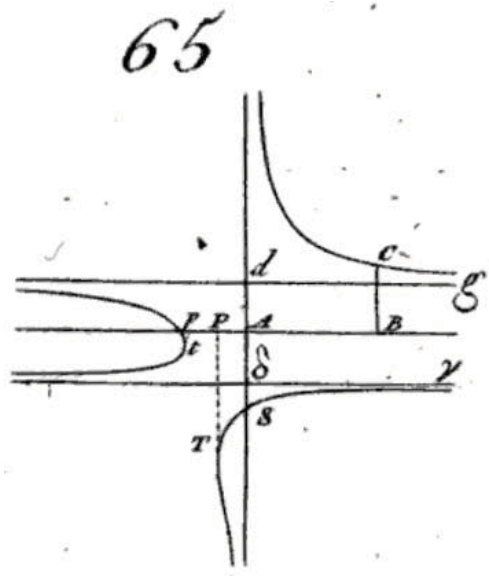
Crtež iz Keplerovog *Mysterium Cosmographicum*-a (1596). Planetarni model strukturiran odnosom između proporcija međusobno upisanih Platonovih geometrijskih tela.

<sup>38</sup> (Vesely, 2004, str. 156)

<sup>39</sup> Analogiju između geometrije i jezika mogu se naći u nekoliko rasprava. Najeksplicitniji primeri su rasprave V. Jamnicera (Wentzel Jamnitzer) *Perspectiva corporum regularium* i H. Lenkera (Hans Lencker) *Perspectiva literaria*. (Vesely, 2004, str. 156)

<sup>40</sup> U Keplerovo vreme bilo je poznato šest planeta, te je između njih postojalo pet različitih distanci. Kepler postavlja Platonova tela koncentrično i vezuje proporcijiska rastojanja koja vladaju među njima sa rastojanjima između planeta.

Iako zasluga za nastanak koordinatnog sistema definisanog pomoću međusobno upravni osi pripada Rene Dekartu (René Descartes), njegov savremenik Pjer Ferma (Pierre de Fermat) je bio prvi matematičar koji je na taj način definisao geometrijske i analitičke probleme. Ferma se koristio takvom idejom u svom radu iz 1636. godine, koji je posthumno objavljen tek 1675. godine. Zasluga za otkriće koordinatnog sistema pripala je Rene Dekartu koji je godinu dana nakon Fermaovog otkrića, nezavisno došao do iste ideje i objavio je u časopisu *La Géométrie*<sup>41</sup>. Predstavljanje geometrijskih problema pomoću koordinatnog sistema izazvalo je revoluciju u matematici zajedno sa osnivanjem nove naučne oblasti - analitičke geometrije. Ideja o upotrebi koordinata u rešavanju geometrijskih problema anticipirana je već u radovima grčkih matematičara, naročito Apolonija (Apollonius) ali bez negativnih vrednosti koje su tada bile smatrane apsurdnim<sup>42</sup>. Interesantno je primetiti da ni sam Rene Dekart nije koristio negativne vrednosti u okviru koordinatnog sistema<sup>43</sup>. Dekartov metrički koordinatni sistem je veoma brzo prihvaćen u naučnim krugovima, ali je moderan kartezijski način posmatranja geometrijskih problema u prostoru prihvaćen tek početkom XVIII veka. Grafici funkcija polinomnih jednačina Isak Njutna (Isaac Newton) u delu *Enumeratio linearum tertii ordinis*<sup>44</sup>, su jedni od prvih primera upotrebe Dekartovog koordinatnog sistema, na način kakav su i danas u upotrebi (slika 8). Neki od Njutnovih grafika u pomenutom delu su opisivali funkcije sa negativnim predznakom rešenja, ose su obeležene velikim slovima X i Y, a definisana je i nula u njihovom preseku<sup>45</sup>.



slika 8

Ilustracija iz knjige *Enumeratio linearum tertii ordinis*, Isaka Njutna, u kojoj se pojavljuju jedni od prvih primera upotrebe Dekartovog koordinatnog sistema na način sličan današnjem.

<sup>41</sup> *A short history of the Cartesian coordinates*. (n.d.), preuzeto februara 28, 2008, sa 4DLab - Critical Thinking: [http://4dlab.info/article\\_short\\_history\\_of\\_the\\_cartesian\\_coordinates.htm](http://4dlab.info/article_short_history_of_the_cartesian_coordinates.htm)

<sup>42</sup> Iako su negativni brojevi bili u upotrebi u drevnoj Kini u I veku p.n.e., evropski matematičari su se opirali takvom konceptu sve do XVII veka, iako su ga mestimično upotrebljavali pojedini matematičari (Fibonači za finansijske kalkulacije dugovanja). Za grčke i rimske matematičare je i koncept nule u numeričkom smislu predstavljao zagonetku.

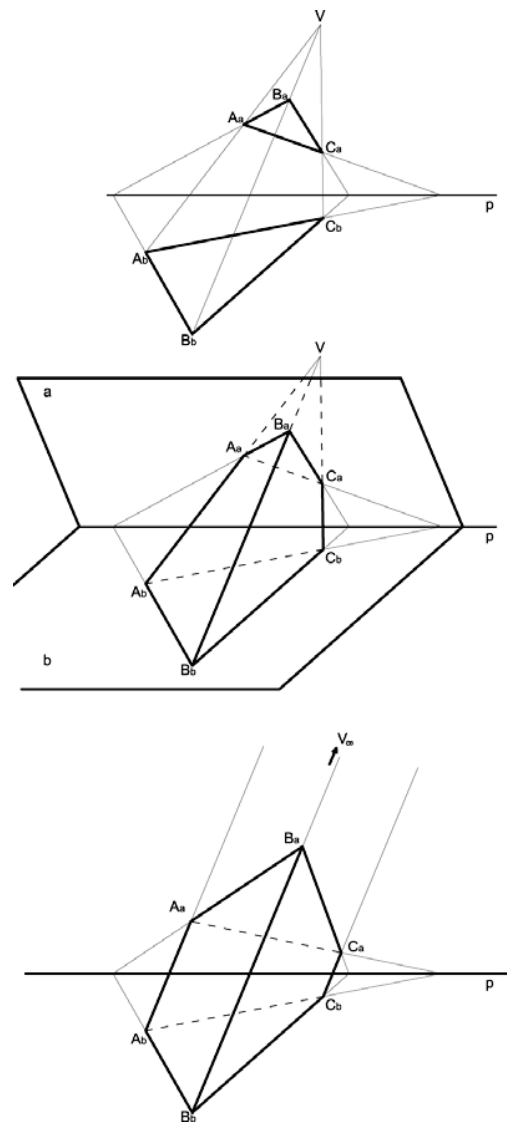
<sup>43</sup> (A short history of the Cartesian coordinates) (28. februar 2008)

<sup>44</sup> Preveden naziv dela je: "Enumeracija krivih trećeg stepena". Njutn ga je napisao 1676. godine ali je prvi put publikovan tek 1704. godine.

<sup>45</sup> (A short history of the Cartesian coordinates) (28. februar 2008)

Kartezijanski način mišljenja postao je uobičajen u XVII veku, u kome su mogli biti opisani problemi iz prirode kao što je npr. trajektorija kretanja tela. Euklidski prostor biva u potpunosti prihvaćen kao struktura prirodnog sveta tek pojavom kartezijanskog načina mišljenja. Kartezijansko mišljenje nije objašnjavalo strukturu sveta samo jezikom matematike, već i filozofije. Rene Dekart se smatra ocem moderne filozofije, a jedna od njegovih najvažnijih doktrina bio je dualizam realnog i imaginativnog (*res cogitans i res extensa*), koja je kasnije imala ključnu ulogu u razvitku reprezentacije prostora u arhitekturi i ostalim inženjerskim disciplinama.

Skoro u isto vreme kada Dekart publikuje svoja matematička otkrića i filozofske rasprave, francuski matematičar i arhitekta Žirar Dezarg (Gérard Desargues) publikuje svoje radove kojima je uspeo da objedini principe euklidske geometrije i perspektivne reprezentacije (slika 9). U periodu od 1636-1640. godine napisao je nekoliko radova kojima je postavio osnove, nove projektivne geometrije. Dezargov rad "Univerzalni metod" (*Manière universelle*, 1636), je prvi ponudio perspektivnu teoriju u kojoj je postuliran apstraktni posmatrač, čiji položaj geometrijskom u prostoru može biti projiciran u beskonačnost. Kod takvog posmatrača paralelne linije ne konvergiraju u tačku nedogleda već ostaju paralelne, što je stvorilo temelje za teorijski razvitak aksonometrijske projekcije. Dezarg je predložio geometrijski metod u kojem trougao koji se vidi u perspektivi u tri dimenzije, se može dovesti u ravan papira, rotiranjem ravni u kojoj se nalazi. Ovaj princip obaranja ravni da bi se objekti videli u pravoj veličini postaće jedan od osnovnih principa nacrtne geometrije, a za ovakvu geometrijsku transformaciju, pretpostavio je da se paralelne prave seku u beskonačnosti. Veliko otkriće u geometriji nije privuklo naročitu pažnju, a pojedine grupe konzervativnih matematičara i naučnika je čak kritikovalo Dezargov rad. Projektivna veza između koničnih preseka koju Dezarg objavljuje 1639. godine ostala je u senci Dekartovog otkrića analitičke geometrije. Štampan u samo 50 primeraka pomenuti



slika 9

Gore: Dezargova teorema o perspektivno kolinearnoj vezi trouglova u ravni. Ako prave koje spajaju korespondentna temena trouglova  $AaBaCa$  i  $AbBbCb$  prolaze kroz istu tačku  $V$ , tada se korespondentne stranice ovih trouglova seku u tri tačke koje leže na istoj pravoj.

Sredina: prostorni dokaz perspektivno kolinearne veze trouglova kao ravni preseka trostrane piramide. Dole: Kada se centar kolineacije udalji u beskonačnost, centralno projiciranje prelazi u paralelno

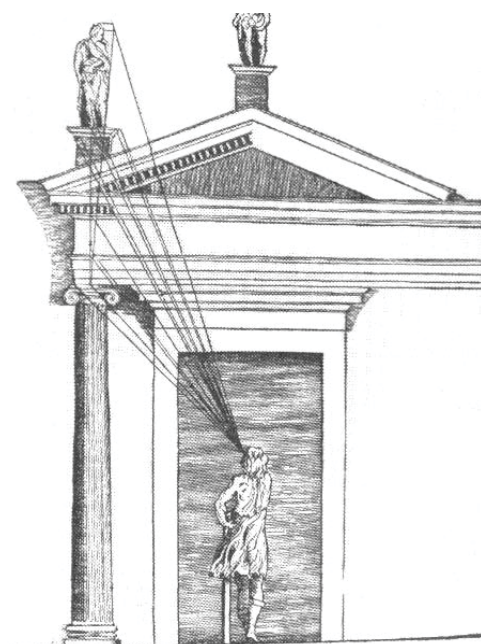


Dezargov rad je ostao nezapažen i skoro zaboravljen sve do početka XIX veka<sup>46</sup>.

Pomenuta otkrića u matematici u prvoj polovini XVII veka, najavila su početak modernog viđenja ideje trodimenzionalnog euklidskog prostora. Desakralizovanje fenomena perspektive i kartezijansko viđenje strukture sveta, reflektovalo se na razvitak i sistematizaciju reprezentacije prostora i nove tendencije u arhitekturi i umetnosti.

### 2.2.3. Instrumentalizacija ideje o prostora i teorija vizije u arhitekturi od antičkog perioda do XVIII veka

Ključ za razumevanje odnosa između ideje prostora, teorije vizije i razvitka arhitekture do XVIII veka zasnovan je na antagonizmu između perspektivnog (percepiranog) i imaginativnog (euklidskog) prostora. Suprotnosti su bile utemeljene na činjenici da je perspektivno viđenje prostora nudilo drugačiju sliku od one objektivne, definisane jezikom geometrije. Perspektivna skraćivanja smatrana su „nedostatkom“ čula vida<sup>47</sup>. Grčki filozofi i matematičari su prvi koji su raspravljali o fenomenu vizije, i problemima optike, ali prva celovita rasprava o tome na koji način perspektivni način viđenja sveta utiče na arhitektonsko stvaralaštvo, potiče iz rimskog perioda. U jedinom sačuvanom traktatu o arhitekturi antičkog perioda, "Deset knjiga o arhitekturi" Marko Polio Vitruvije (Marcus Pollio Vitruvius) raspravlja o primeni metoda optičkih korekcija prilikom projektovanja zgrada i stilskih redova<sup>48</sup>. Cilj takvih „korekcija“ bio je da se nadomeste nedostaci nastali „nesavršenošću“ vida (slika 10). Vitruvijev stav o fenomenu vizije preuzet je iz grčke tradicije, istovremeno kombinujući ekstromisionu teoriju



slika 10

Ilustracija primene optičke korekcije u prvoj francuskoj ediciji Vitruvijevih "Deset knjiga o arhitekturi" (1547). *Koliko nas oko vara, toliko treba teoretski nadoknaditi* (Vitruvije, 2006, str. 70). Ideja o važnosti i upotrebi optičkih korekcija potiče verovatno od vremena prvih izdanja Euklidove optike i bila je važna tema u raspravama o arhitekturi sve do XVIII veka.

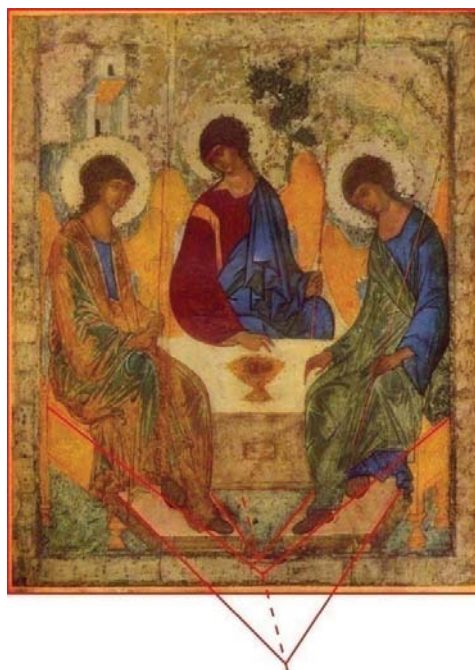
<sup>46</sup> Originalan naziv rada je: *Brouillon Projet d'une atteinte aux événements des Rencontres du cone avec un plan* (1639). Rad je štampan za grupu naučnika okupljenih oko Mersenovog kruga. Prema Tatonu, Lajbnić je 1675. pokušao da pronađe ovaj Dezargov rad, ali bezuspešno. (Taton, 1951, str. 87).

<sup>47</sup> O nedostacima čula vida, i načinu kako se ona manifestuju Vitruvije piše opisuje na više mesta u svom traktatu. Videti: (Vitruvije, 2006, str. 69,70,76,124,125)

<sup>48</sup> Vitruvije opisuje u nekoliko navrata načine na kojima se upotrebljava optička korekcija prilikom projektovanja zgrada, kao što je upotreba entazisa na stubovima, uvećanje ornamenata i skulptura koje su znatno više od očne tačke, zbog perspektivnog skraćivanja itd.

i Demokritovu ideju o uticaju „gustine vazduha“ na prostiranje pogleda<sup>49</sup>. Rukopisne kopije knjige Vitruvija imala je donekle uticaja na arhitekturu srednjeg veka<sup>50</sup>, a postaje naročito značajna u periodu renesanse i baroka, kada se umetnost okreće antičkim idealima. Optičke korekcije primenjene na arhitekturu, o kojima Vitruvije piše u pomenutom delu, postale su važna tema teorijskih rasprava o arhitekturi naročito u periodu baroka, o čemu će nešto više kasnije biti rečeno.

Tokom srednjeg veka teorije vizije bile su pod uticajem hrišćanske kosmologije što je rezultovalo drugačiji pristup instrumentalizaciji ideja u arhitekturi. Fenomen svetlosti postaje podjednako važna karika u hrišćanskim teološkim doktrinama kao i u geometrijskoj optici. Svetlost postaje gradivni elemenat sakralnih prostora. Zlatna boja na vizantijskim ikonama, kao i vitraži na oknima crkava koji propuštaju bojene snopove svetlosti imaju istu ulogu u sakralnoj arhitekturi srednjeg veka: sintezu materijalnog i duhovnog. Slično, fenomen perspektivnog viđenja prostora posmatrano je sa teološkog stanovišta. Čovečije perspektivno viđenje sveta postaje simbol ljudske nesavršenosti. Nasuprot čoveku, božije viđenje sagledava čitav univerzum istovremeno. Takvo stanovište o činu posmatranja, ljudskog naspram božijeg, reflektovalo se novim načinom reprezentacije prostora, inverznom perspektivom (slika 11), koja je korištena na crtežima, freskama i mozaicima hrišćanske Evrope, a naročito na području Vizantijskog carstva. Božansko viđenje simulirano upotrebom inverzne perspektive karakteriše konvergencija paralelnih zraka ka samom posmatraču. Drugim rečima, nedogled posmatranja nije pozicioniran u beskonačnosti već u samom posmatraču. Zamenjene pozicije bazisa i vrha Euklidovog vizuelnog konusa posmatranja kod inverzne perspektive, sugeriše na



slika 11

Ikona "Svete trojice" Andrej Rubljova (oko 1410). Rubljov se koristi inverznom perspektivom, a nedogledi su upereni ka samom posmatraču.

<sup>49</sup> Za Vitruvija, perspektivna deformacija slike nastaje tako što se „čestice vazduha rasipaju iz očiju“ (Vitruvije, 2006, str. 125) ali pogled „teško preseca gustoću vazduha“ (Vitruvije, 2006, str. 76), zbog čega se slika krivi.

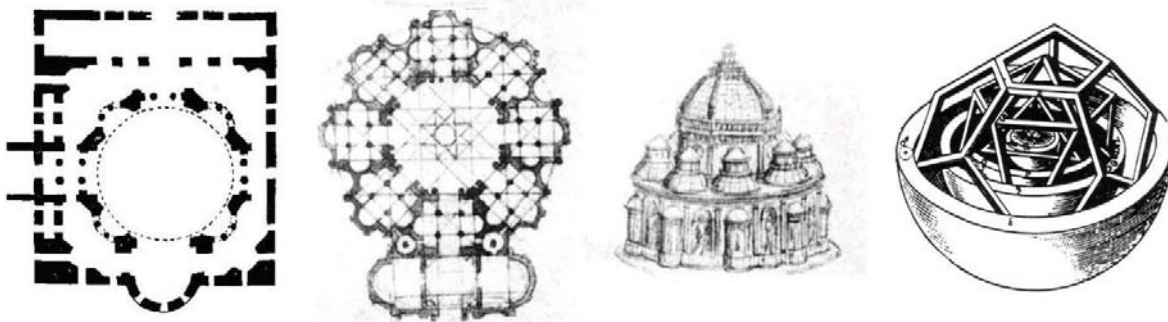
<sup>50</sup> Do danas je sačuvano preko 50. rukopisnih kopija Vitruvijevine knjige iz perioda srednjeg veka. Vitruvijeva ideja o arhitekturi koja oslikava univerzalni matematički poredak vidljivog univerzuma, reflektovala se na srednjevekovnu sakralnu arhitekturu. (Bredin, 2002, p. 32)

“božanski način viđenja”, čija je očna tačka “sveprisutna u prostoru” i nije vezana za tlo.

Značaj umetnosti i nauke Vizantije je bio veliki u pogledu transmisije antičkih ideja na islamski svet i renesansnu Evropu. Takav uticaj se može pratiti i u odnosu na instrumentalizaciju ideja o prostoru, percepciji i svetlosti. Refleksija ideja o prostoru i fenomenu vizije u vizantijskoj umetnosti se može posmatrati u dva pravca. Prvi pravac ogleda se u već pomenutom fenomenu inverzne perspektive koji je bio naročito zastupljen u Vizantiji i zemljama koje su bile pod njenim kulturnim uticajem. Drugi pravac se može posmatrati u odnosu na ulogu geometrije u simboličkoj reprezentaciji sakralnih prostora. Sakralnu arhitekturu Vizantije karakteriše centralni tip građevina čija je prostorna kompozicija u svojoj strukturi sadrži kombinacije opisanih ili upisanih primarnih geometrijskih tela. Uloga geometrije u sakralnoj arhitekturi Vizantije bio je direktno pod uticajem pitagorejske i platonističke filozofije. Kupole, konhe, upisani krstovi u kubične forme sakralne arhitekture hrišćanskog istoka, imale su istu onu ulogu u simboličkoj interpretaciji geometrije univerzuma (slika 12), kakvu su imala platonova poliedarska tela nekoliko vekova kasnije u renesansnim raspravama o perspektivi i/ili arhitekturi<sup>51</sup>. U tom kontekstu može se zaključiti da centralni planovi crkvi, hramova, vila i gradova imaju isto ontološko značenje i u vizantijskoj i u renesansnoj arhitekturi .

slika 12

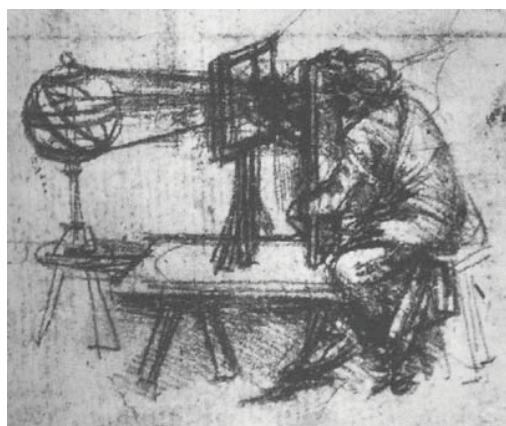
Simbolička reprezentacija sakralnih građevina. Sa leva na desno: osnova crkve Sergija i Vakh, Istanbul VI vek; arhitektonska studija crkve centralnog plana: Leonardo da Vinči 1488; Detalj Keplerovog crteža iz *Mysterium Cosmographicum*-a (1596) u kojoj upisani pravilni poliedri kao geometrijska struktura kosmosa.



<sup>51</sup> Slabljenje i pad vizantijskog carstva prouzrokovao je migraciju velikog broja naučnika i umetnika na područje današnje Italije što je uticalo na obnavljanje interesa za antičkim saznanjima, kulturom i umetnosti. Mnogi su sa sobom doneli brojne grčke tekstove koji su zatim ponovo štampani. Najpoznatije mecene vizantijskih naučnika emigranata bili su papa Nikola V (Nicolas V) i Kosimo Mediči (Cosimo de Medici)



Najveći doprinos renesanse u kontekstu fenomena vizije i optike jeste otkriće linearne perspektive (slika 13). Ovaj pronalazak reflektovao se na čitavu kulturnu istoriju Evrope, razvitak umetnosti i arhitekture. Filippo Brunelleski (Filippo Brunelleschi) se smatra prvim čovekom koji je sistematски konstruisao linearnu perspektivu (1420). Njegovo otkriće rekonstruisao je Hubert Demiš (Hubert Demisch), pažljivim čitanjem Manetijeve (Manetti) biografije Brunelleskija. Na malom pravougaonom drvenom panelu Brunelleski je naslikao baptiseriju u Firenci, viđene sa praga Duoma. Zatim je izbušio panel u tački nedogleda i zamolio posmatrača da ocene tačnost, gledajući kroz otvor od zadnje strane panela, prema ogledalu koje je posmatrač držao u ruci. Uloga ogledala je bila veoma značajna za rane perspektiviste i potekla je direktno iz srednjevekovnih naučnih saznanja o optici<sup>52</sup>. Komentarišući Brunelleskijev eksperiment 40. godina kasnije, Antonio Filarete (Antonio Filarete) u svojoj raspravi o arhitekturi naglašava značaj ogledala u percepiranju i konstruisanju slika na dvodimenzionalnoj površi. U svom traktatu o arhitekturi (1465) Filarete piše da ako neko želi da nešto nacrti na najlakši način, treba da koristi ogledalo ispred scene koje želi da prikaže<sup>53</sup>. Prvi koji je pitanje perspektive postavio kao matematički problem bio je Leon Batista Alberti u delu *De Pictura* (1435), ali ni Brunelleski niti Alberti, nisu uključivali *perspectiva artificialis* u proces arhitektonskog stvaralaštva. Sam Brunelleski se koristio uglavnom modelima kao metodom arhitektonske reprezentacije, što je i bila uobičajena praksa u renesansi. Upotreba perspektive u procesu stvaranja arhitektonskih ideja javlja se tek u drugoj



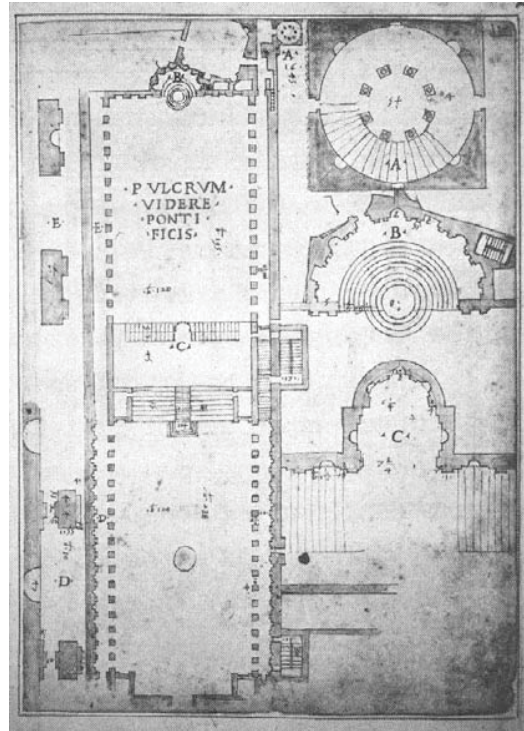
slika 13

Skica Leonarda da Vinčija (1510) prikazuje umetnika koji se koristi transparentnom površi kao pomoćno sredstvo za izradu perspektivne slike astrolaba. Povod za izbor teme perspektivne slike nije slučajan: jer je astrolab bio istovremeno simbolička reprezentacija geometrijske harmonije kosmosa.

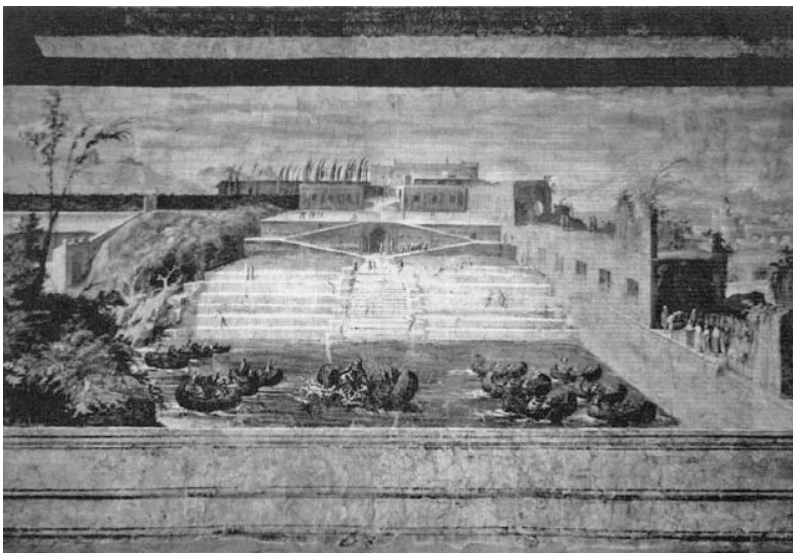
<sup>52</sup> Reflektovanje perspektivne slike pomoću ogledala (lat. *speculum*), bio je podjednako važan fenomen i u hrišćanskoj teologiji i u nauci o optici kasnog srednjeg veka. Teološke rasprave poput *Speculum salvationis humanis* (ogledalo ljudskog spasenja) publikovane su i umnožavane u mnogim gradovima širom hrišćanske Evrope. Sa druge strane, za srednjevekovne optičke teorije, ljudsko oko nije bilo ništa drugo do ogledalo koje prima i reflektuje sliku istovremeno. Takva ideja je najverovatnije dospela u naučne krugove Evrope prevodima arapskih naučnika, pre svega Avicene (Avicenna), koji je zastupao takav stav početkom XI veka. (Lindberg, 1976, str. 49)

<sup>53</sup> Antonio Filarete, Traktat o arhitekturi oko 1464, citat preuzet iz (Vesely, 2004, str. 416)

polovini XV veka. Filareti je u svom traktatu o arhitekturi (1465) pre svih sugerisao upotrebu perspektive u proces stvaranja arhitektonske ideje<sup>54</sup>. Perspektivne studije usmerile su pažnju na ispitivanja problema kontrolisanih tačaka posmatranja. Ideja kontrolisanih posmatračkih tačaka uticale su značajno na arhitektonsko mišljenje. Bramanteov (Donato Bramante) projekat *Cortile del Belvedere* u Vatikanu (1506) jedan je od prvih koji koristi upotrebu perspektive i predefinisanih tačaka posmatranja u procesu arhitektonskog stvaralaštva. Ovaj projekat predstavlja prekretnicu u razvitku perspektive. Osnovna ideja bila je da se vatikanska palata poveže sa vilom udaljenom 300. metara. Prostor koji ih povezuje je cortile-atrijum (slika 15). Čitav prostor projektovan je na takav način da se posmatra iz najvažnije fokalne tačke, *pulcrum videre pontificis*, što je naznačeno i na Bramanteovom planu (slika 14). Nova dominantna uloga perspektive pojavljuje se u Bramanteovoj manipulaciji vizuelnog sagledavanja da stvori sceničnu iluziju neodređene dubine prostora. Zemljište u gornjem delu dvorišta je strmo nagnuto ka kraju zida. Zatim je postavljeno postolje korintskih pilastera na liniju nagiba, postepeno smanjujući visinu pilastera. U isto vreme vrh entablature je blago nagnut na gore ka samom kraju<sup>55</sup>.



slika 14  
Bramanteov plan za projekat *Cortile del Belvedere* u Vatikanu.



slika 15  
Slika Perin dal Vage (Perin dal Vaga) prva polovina XVI veka. Na slici "Vodne borbe u Cortile del Belvedere" u Vatikanu vidi se naglašen perspektivni pravac.

<sup>54</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 28)

<sup>55</sup> (Vesely, 2004, str. 167-173)



Upotreba efekata perspektive u renesansi ogleda se i u novom pristupu istraživanja odnosa spoljnog i unutrašnjeg prostora. Renesansne arhitektae poput Buontalentija (Buontalenti), Mantenja (Mantegna), Perucija (Peruzzi) ili Veronezea (Veronese) kombinovali su slikarski i fizički prostor upotrebom perspektive. Fiktivni prostor spoljašnjeg pejzaža i realni unutrašnji prostor enterijera vezuju principom perspektivnog okvira. Mantenja slika perspektivni okulus na tavanici povezujući realni enterijer sa imaginarnom slikom neba naslikanoj na tavanici. Peruci posmatra problem konkretnije, povezujući perspektivom unutrašnju dvoranu u vili Farnesina kraj Rima sa fiktivnim spoljašnjim vizurama urbanog pejzaža (slika 16). Ovi primeri pokazuju suštinsku razliku između antičke i nove, perspektivne koncepcije prostora. Za razliku od rimskih antičkih arhitekata umetnika koji su stvarali zatvorene unutrašnje prostore, umetnici renesanse stvaraju nove implikacije perspektive kombinujući unutrašnji prostor sa eksterijerom pejzaža<sup>56</sup>. Ovaj uticaj se dalje širio do Holandije i Francuske pre svega u novim prostornim koncepcijama pejzažnih vrtova tokom perioda baroka.

slika 16

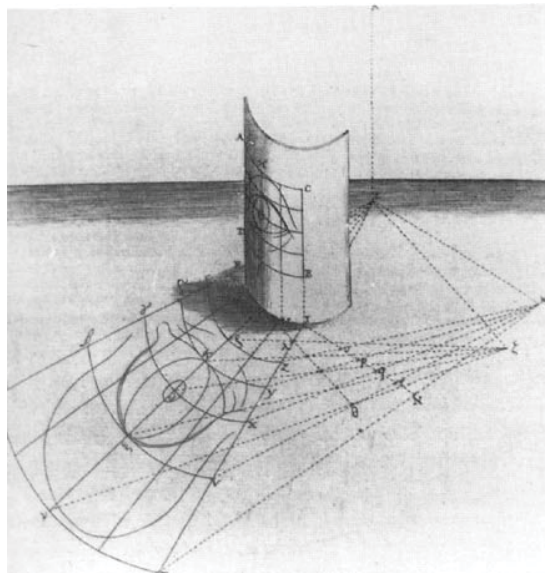
Kombinovanje narativnog (slikarskog) i fizičkog prostora upotrebom perspektive. Baltazar Peruci, perspektivna dvorana vile Farnezina (1506-1510).



<sup>56</sup> (Veltman, 2004, str. 210)

Jedinstveni način primene fenomena perspektivnog viđenja primenjuje Mikelandelo projektujući Kapitolinski trg (1536-1546). Mikelandelova genijalnost u projektovanju ovog trga ogleda se u konstruisanju dve fasade trga koje divergiraju posmatrajući ka Senatorovoj palati, stvarajući na taj način utisak da je palata bliža nego što jeste. Sa druge strane posmatrajući trg od palate ka stepeništu, trg se čini da je dublji jer je perspektivni efekat konvergencije stranica trga pojačan usled trapezne dispozicije u osnovi. U odnosu na način primene perspektive<sup>57</sup>, Mikelandelo je bio čitav vek ispred svojih savremenika, smatrajući da je kretanje ili pokret najvažniji za doživljaj forme.

Barokni način viđenja prostora i fenomena vizije razvio se pod okriljem novih astronomskih otkrića tokom XVI i XVII veka. Kopernikovo (Nicolaus Copernicus) revolucionarno delo *De revolutionibus orbium coelestium* (1543) u kojem je Sunce umesto Zemlje postavljeno kao centar vasione, uticalo je na stvaranje novog geometrijskog poretka univerzuma. Ekscentriciranje pozicije zemlje u univerzumu reflektovalo se na novi način mišljenja o fenomenu vizije i prostora koje je i dalje bilo pod velikim uticajem naučne kosmologije i teoloških doktrina (slika 17). Jedan od najvećih astronoma, Johan Kepler, verovao je da se savršena harmonija kosmosa može sagledati samo iz idealne pozicije - iz pozicije sunca<sup>58</sup>. Novo razumevanje kosmičkog poretka opravdava ljudska težnja za kreiranjem distorziranih perspektiva koje se



slika 17

uspostavljaju postavljanjem posmatrača na posebno mesto. Ekscentriciranje "idealne pozicije posmatrača" različito je interpretirano u arhitekturi i slikarstvu. I u arhitektonskom i narativnom (slikarskom) prostoru favorizovana je karakteristična tačka, idealna pozicija posmatrača, odakle se kompozicija sagledavala nedeformisano. Pojava anamorfne perspektive u

Ekscentrično postavljena idealna pozicija posmatrača i anamorfna slika: ilustracija "Božije oko" iz matematičke rasprave *Apiaria universae philosophiae* (1642-1645) Mario Betinija (Mario Bettini).

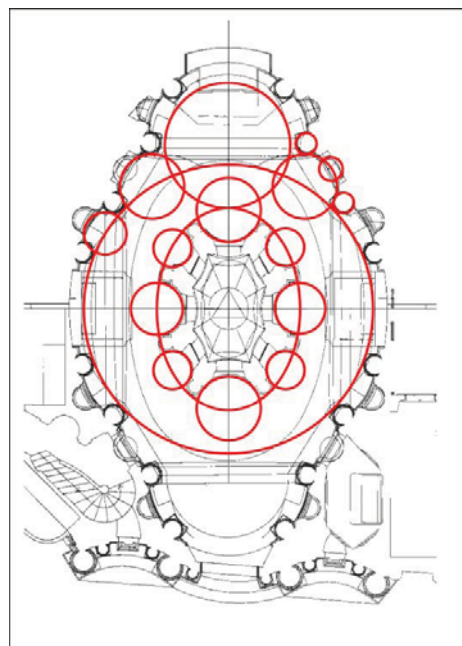
<sup>57</sup> Mikelandelov pristup je bio jedinstven: za razliku od svojih savremenika, retko je izražavao dubinu kroz geometrijsku perspektivu i odbijao „pravljenje“ arhitekture kroz ortogonalne geometrijske projekcije. (Gomez & Pelletier, 2000, str. 41)

<sup>58</sup> Ibid. str. 158

slikarskim dekoracijama sakralnih objekata bila je nova karakteristika narativnog prostora<sup>59</sup>, a upotreba novih geometrijskih oblika, nova odlika prostora u arhitekturi.

Novi odnos prema arhitektonskom prostoru koji je karakterističan za barokni period uticao je i na inovacije u geometrijskoj strukturi. Čitav niz novih geometrijskih oblika karakteriše arhitekturu baroka. Elipse, parabole, ovali, epicikloide postali su gramatički jezik geometrije baroka (slika 18). Novi geometrijski jezik karakterističan za barok nastao je pod uticajem novih matematičkih i astronomskih otkrića sa jedne strane<sup>60</sup> i novom načinu posmatranja fenomena perspektive sa druge strane. Početkom XVII veka matematička i astronomska saznanja Keplera, Dekarta, Dezarga uticali su na nova saznanja o koničnim preseccima i njihovoj primeni. Kretanje nebeskih tela po putanjama koje se opisuju koničnim preseccima, dale su krivama novi kosmički božanski značaj.

Poreklo elipsoidnih oblika u arhitekturi baroka krije se i u novim tumačenjima reprezentacije prostora XVII veka, od kojih je od naročito značaja teorija Juan Karamuel i Lobkovic<sup>61</sup> (Juan Caramuel y Lobkowitz). U svojoj raspravi *Architectura civil recta y obliqua* (1678), Karamuel piše o prirodi i božanskom poreklu arhitekture i smatrao je da percepiranje konvergencije paralelnih linija uzrokovano nedostatkom moći viđenja<sup>62</sup>. Taj defekt se, po Karamuelu, ispravlja pomoću *architecture oblique*, tako da vizuelna percepcija ne remeti doživljaj paralelnih linija. Karamuel je verovao da je Bog, prvi tvorac i arhitekta, prvi koristio neortogonalne linije u stvaranju



slika 18

Plan crkve San Karlo Ale Kvatro Fontane (1634-37) (San Carlo alle Quattro Fontane) Frančesko Borominija (Francesco Borromini). Prema Dž. Herseju, osnova crkve rezultat je "grupe tragova epicikličnih orbita". (Hersey, 2000, str. 194)

<sup>59</sup> Iako je anamorfna perspektiva bila poznata i slikarima renesanse, pravi procvat doživljava upotrebom *quadratura* tehnike fresko slikarstva XVII veka, kakve su se često javljale u jezuitskim crkvama. Pomenuta tehnika nastala je iz potrebe za simboličkim ekscentriciranjem tačke posmatrača, odakle se kompozicija vidi nedeformisano. Prvi poznati primer upotrebe tehnike anamorfoze je Davinčijeva slika „Leonardovo oko“ (1485). Tokom XVI veka pojavile su se rasprave koje su se bavile tematikom anamorfne perspektive, ali je tek sa Žan Fransoa Niseronom (Jean-François Nicéron) (1638 *Perspective curieuse*) anamorfoza postala u potpunosti metod koji se može objasniti geometrijskim pravilima. Detaljnije u tekstu: *Anamorphism* na adresi: <http://www.reviewpainting.com/Anamorphism.htm> (27 mart 2008) i (Gomez & Pelletier, 2000, str. 59)

<sup>60</sup> Geometrijskim figurama, poput elipse, parabole, epicikle, su barokni astronomi definisali kretanja pojedinih nebeskih tela. Istovremeno, one su postale deo geometrijskog jezika arhitekture baroka.

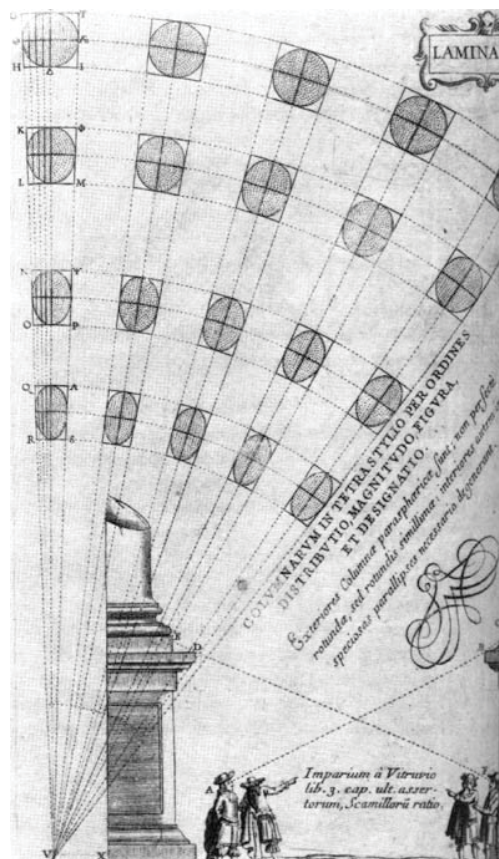
<sup>61</sup> Jedan od najznačajnijih teologa, mislilaca i XVII veka koji su se bavili pitanjima arhitekture i reprezentacije prostora, Juan Karamuel i Lobkovic (1606-1682) bio je veliki erudita, poznavao je preko dvadeset jezika i dopisivao se sa naučnicima Mersenovog kruga.

<sup>62</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 152)



sveta, te stoga i arhitekta-graditelji trebaju da se drže tog pravila na takav način da se struktura sveta doživljava u savršenom poretku posmatrajući je iz određene zadate tačke. Najznačajniji primer u kojem se Karamuel koristi principom *architecture oblique* je predlog rešenja za kolonadu stubova na trgu Svetog Petra u Rimu. U pomenutoj raspravi *Architectura civil recta y obliqua*, Karamuel kritikuje Berninijev projekat trga, i predlažući drugačije rešenje<sup>63</sup>. Karamuel započinje debatu predlažući takođe oblik elipse, ali predlaže takvo rešenje tako da se iz centra elipse zbog optičkog skraćenja trg kao i stubovi kolonade dožive kao da su savršeno kružnog oblika<sup>64</sup> (slika 19). I Bernini i Karamuel zalagali su se za neophodnost optičke korekcije u procesu projektovanja trga, ali je Bernini pridavao veći značaj direktnom vizuelnom doživljaju makete, dok je Karamuel smatrao značajnijim konceptualni geometrijski poredak kroz crtež<sup>65</sup>. Princip optičkih skraćenja Karamuel predlaže i u procesu projektovanja zgrada. U svom delu *Architectura civil recta y obliqua* Karamuel kritikuje Vitruvija i Paladija predlažući optička skraćenja na vertikalne objekte i elemente na takav način da se oni pri vrhu šire, tako da se vertikalne onda čine paralelnim.

Iako je Žirar Desarg u svojim teorijskim radovima u prvoj polovini XVII veka otvorio put povezivanju principa euklidske geometrije i teorije vizije, za arhitekta baroka takva ideja još uvek nije bila prihvatljiva iako su se uveliko koristili fenomenom perspektive i optičkih skraćenja. U svojoj filozofskoj raspravi *Placita Philosophica* (1665) Guarino Guarini (Guarino Guarini) poricao je identifikovanje geometrije sa optikom, smatrajući ih ontološki različitim. Guarini nije mogao jednostavno prihvatiti pojam tačke nedogleda, tačke u kojoj se u beskonačnosti seku dve paralelne prave, i da ortogonalni prikaz potiče od posmatračeve tačke, pozicionirane u beskonačnosti, „*Ortografia* ne dolazi iz



slika 19

Karamuelov predlog rešenja za kolonadu stubova na trgu Svetog Petra u Rimu. Sa središta trga, kolonada stubova trebala je biti sagledana kao savršeni krug.

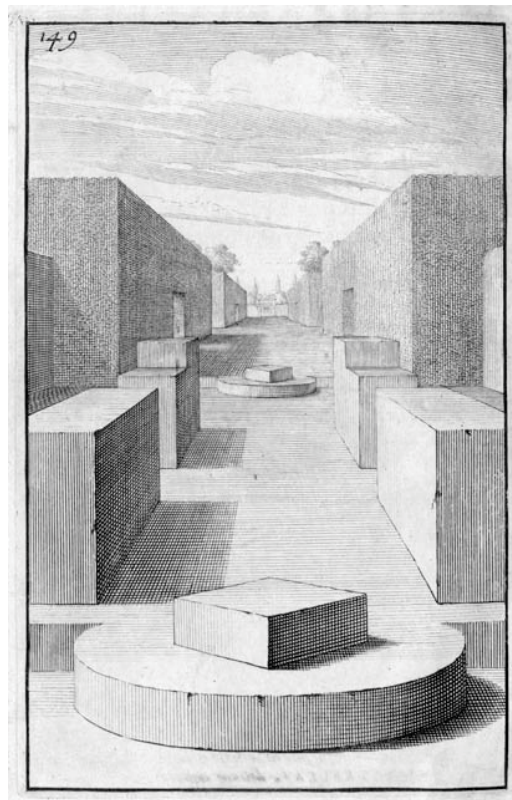
<sup>63</sup> Na poziv pape Aleksandra VII Karamuel dolazi u Rim 1655. godine, da se brine o estetskim pitanjima najmoćnijeg katoličkog grada. Njegov dolazak se vremenski poklopio sa Berninijevom izgradnjom kolonade na trgu Svetog Petra.

<sup>64</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 156-157)

<sup>65</sup> Prema Džorž Baueru (George C. Bauer), Bernini je navodno napravio sedam maketa kolonada trga Svetog Petra u prirodnoj veličini dok se nije odlučio za ovalni oblik trga. (Bauer, 1979, str. 141-150)

posmatračeve tačke u beskonačnosti (...) ideja je frustrirajuća i apsurdna“<sup>66</sup>. Raspravljajući kako se predmeti percipiraju, Guarini zaključuje da su slike poput refleksija u mermeru, u kojima čulni svet gubi neprovidnost. Prema Gomezu i Peletjeu, čulni svet za Guarinija nikad nije postao asimiliran u optički<sup>67</sup>.

Koncepcije u projektovanju vrtova i gradova u periodu baroka razvile su se iz renesansnih koncepcija u kojima su geometrija perspektivno viđenje imale ulogu simboličke interpretacije univerzuma. Najraniji primer barokne koncepcije projektovanja grada primenjen je u Rimu u periodu od 1585-1590. Vizija Rima Pape Sikst V, (Sixtus V) bila je bazirana na probijanju širokih pravolinijskih pravaca koje povezuju važne sakralne repere i fokalne tačke. Pravci prostiranja pravaca imali su zvezdastu formaciju (*Roma in forma sideris*), u čijem centru se nalaze najvažniji urbani repери. Zvezdasta struktura imala je istu ulogu u simboličkoj interpretaciji centra hrišćanstva kakvu su imale centralni planovi renesansnih gradova ili hramova. Sa druge strane pravolinijski pravac bio je direktna demonstracija efekta centralne perspektive. Te tendencije su se prenele i na projektovanje vrtova. U svojoj čuvenoj raspravi *La perspective pratique*<sup>68</sup>, Žan Debroj (Jean Dubreuil) eksplicitno poredi tačku nedogleda u arhitektonskoj konstrukciji perspektive sa drvoredom. Njegov savremenik Abraham Boze (Abraham Bosse) (1648) nastavlja dalje *geometrizaciju* prirodnih formi, transformišući prirodu u avenije pravilnih topijarnih formi (slika 20). Francuski barokni vrtovi bili su svojevrsni primeri istraživanja optičkih efekata centralne perspektive. Najznačajniji od njih, vrt u Versaju (1664-1758) predstavlja enciklopediju perspektivnih eksperimenata koji su se dogodili od pojave u prethodna dva veka. On sadrži poglede čiji je limit beskrajni horizont, i kao i one koji su presečene da bi stvorile



slika 20

Abraham Boze, Geometrijski vrt, iz knjige o perspektivi: *Maniere universelle de M. Desargues pour pratiquer la Perspective*, 1647. (Descargues, 1976)

<sup>66</sup> Guarino Guarini, *Euclides Adauctus et Methodicus*, Torino 1671 citirano u master tezi *Guarino Guarini's Sinsone Chapel: Between Reliquary and Cenotaph*, Debanné, Janine (1995), McGill University

<sup>67</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 174)

<sup>68</sup> Pun naziv rada: *La perspective pratique, nécessaire a tous peintres, graveurs, architectes, brodeurs, sculpteurs, orferres, tapisseurs et autres qui se meslent de dessigner*, Jean Dubreuil, Paris: Chez Jean Du Puis, 1643-1649. 3 vol.

određene prostorne efekte, terase i nagibe koji manipulišu sa doživljajem udaljenosti.

Dve značajne knjige izdate na prelazu iz XVII u XVIII vek, najavile su moderan način mišljenja o ideji trodimenzionalnog kartezijaskog prostora i njene refleksije na nastanak savremene arhitekture. Prva knjiga je prevod Klod Peroa (Claude Perrault) Vitruvijevog dela na francuski (1673), a druga je *Perspectiva pictorum et architectorum* (1693), Andree Pocoa (Andrea Pozzo). Kako Gomez i Peletje primećuju<sup>69</sup>, Peroov prevod Vitruvija je dvostruko značajan u kontekstu nastanak i razvoja kartezijanskog mišljenja i reprezentacije prostora. Pre svega, Pero nudi prevod Vitruvijevog *ideae*<sup>70</sup>, onakav kakav je očigledan i savremenoj arhitektonskoj praksi, redukujući značenje na arhitektonski koncept. Ovakav prevod otkriva težnju da se tradicionalna antička teorija razume u modernom epistemološkom smislu i na taj način više otkriva polemičko razmuvenje arhitekture XVII veka i njenog odnosa prema perspektivi. Mnogo značajnije bilo je to što je Pero bio prvi teoretičar arhitekture zapadne civilizacije koji je osporio značaj optičke korekcije, čija je uloga do tada bila u prilagođavanju realnih dimenzija na taj način da one u čulnom iskustvu budu doživljene kao savršeni geometrijski i matematički poredak u kontekstu aktuelnih kosmoloških teorija. Pero je preuzeo Kartezijanski ugao gledanja na svet, da *jeste* (realne matematičke dimenzije objekta) ono što mi *vidimo* (fenomenološka perspektivna pojavnost). Drugim rečima, verovao je da vizuelna percepcija nije ograničena našom vizijom, jer ljudski um automatski prihvata kartezijansku logiku homogenog univerzalnog prostora.

Knjiga o perspektivi u arhitekturi Andre Pocoa je u drugačijem kontekstu od Peroovog prevoda uticala na razvitak i stvaranje modernog kartezijanskog mišljenja. U Pocovoj knjizi opisan je perspektivni metod crtanja i

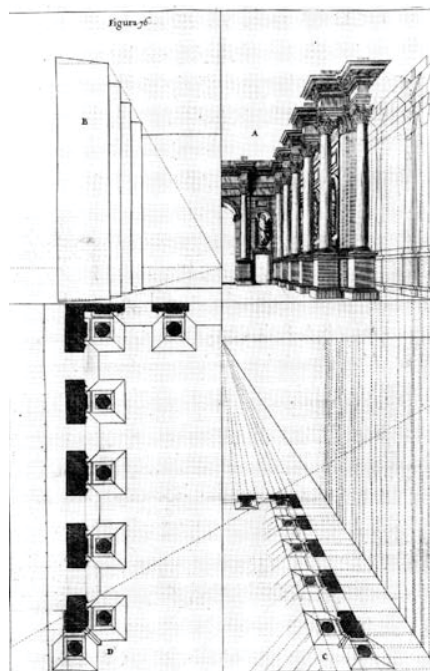
---

<sup>69</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 103-104)

<sup>70</sup> Grčki termin *ideae* se odnosi na aristotelovsku predstavu „slika-reprezentacija“ kao *phantasia*. U aristotelovskoj filozofiji nije bilo moguće misliti bez slike-predstave. Misliti je značilo i crtati, ali stvaranje slike bilo je isključivo u cilju reprodukcije same imaginacije. (Gomez & Pelletier, 2000, str. 97)



iskazana homologija između različitih projekcija objekata u trodimenzionalnom prostoru. Drugim rečima, kroz brojne primere crtanja arhitektonskih objekata u perspektivi prikazana je geometrijska veza između ortogonalnih projekcija i perspektive (slika 21). Knjiga je bila bogato ilustrovana sa 118 ilustracija. Svi primeri ilustrovani u knjizi započinjali su sa planom i izgledom arhitektonske scene, da bi dalje usledili koraci kako se iz takvih crteža dobija perspektivna slika. Poslednje poglavlje knjige Pozzo posvećuje tehnici *quadratura*, koja se generiše iz ortogonalnih projekcija na svodove ili druge zakrivljene površi. Iako je *Perspectiva pictorum et architectorum* prva sistematska i istinski praktična rasprava o perspektivi, Pozzo koristi ove perspektivne tehnike u cilju pravljenja simboličkih kompozicija vezane za jezuitske teološke doktrine u koje je i sam verovao, nikada ne prihvatajući premise homogenog prostora<sup>71</sup>. Doprinos Pocove knjige ogleda se u njenom uticaju na razvoj arhitektonske reprezentacije kroz perspektivni crtež. Tek sa Andrea Pocom je geometrizovani prostor mogao biti objašnjen u arhitektonskom smislu i redukovan na jednostavan metod reprezentacije. Pocova pomenuta rasprava postala je jedna od najuticajnijih te vrste. Tokom XVIII veka napravljeno je više od 25. izdanja ove knjige i prevedeno na brojne jezike uključujući nemački, engleski i kineski. Tokom XVIII veka geometrija gubi simboličke i teološke atribute koje je imala tokom perioda renesanse i baroka, a perspektiva prestaje da bude preferirana kulturna forma u filozofskoj interpretaciji prirodnog poretka. Umesto toga ona postaje jednostavno model interpretacije realnog, empirijska potvrda ljudska vizije koja reprezentuje spoljašnji svet.



slika 21

Crtež iz knjige Andrea Pocoa *Perspectiva pictorum et architectorum* (1693). Pocov metod crtanja baziran je na korespondenciji između plana, izgleda i perspektive.

<sup>71</sup> U predgovoru svoje knjige, Andrea Poca definiše tačku u koju konvergiraju sve paralelne linije, „kao istinsku tačku, slave božije“.

### **2.3. Koncept trodimenzionalnog kartezijanskog prostora**

Iako otkriće Dekartovog koordinatnog sistema datira iz prve polovine XVII veka, savremen način posmatranja ideje trodimenzionalnog kartezijanskog prostora razvio se tokom XVIII veka. Takva ideja nastala je pod uticajima razvitka modernog epistemološkog mišljenja i matematike. Definisani jezikom matematike, dekartovski ili kartezijanski prostor je trodimenzionalni euklidski prostor opisan dekartovim koordinatnim sistemom. Oba pomenuta prostora, euklidski i kartezijanski imaju identične geometrijske karakteristike definisane Euklidovim aksiomima geometrije. Dok se pojam euklidskog prostora pominje samo u kontekstu geometrije, ideja kartezijanskog prostora se može posmatrati sa fenomenološkog aspekta. U tom smislu za razliku od euklidskog, kartezijanski prostor je istovremeno prostor čulne percepcije i imaginacije. Ideja nastanka kartezijanskog prostora vezuje se za stvaranje kartezijanskog načina mišljenja. Kartezijanska filozofija bila je ključna za razvitak reprezentacije prostora, ona je podrazumevala dualizam realnog i imaginativnog. Kartezijanski prostor koncipiran je kao imaginativni geometrijski prostor, homogen i beskonačan, u kome je moguće opisati fenomene i događaje realnog sveta.

Upravo fenomenološki aspekt razlikuje kartezijanski prostor modernog doba od euklidskog prostora prethodnih epoha u kojima je perspektivno viđenje smatrano ontološki različitim. Relativizacija položaja tačke posmatrača i izjednačavanje geometrijskog prostora sa prostorom percepcije bili su ključni momenti u razvoju moderne ideje trodimenzionalnog kartezijanskog prostora.

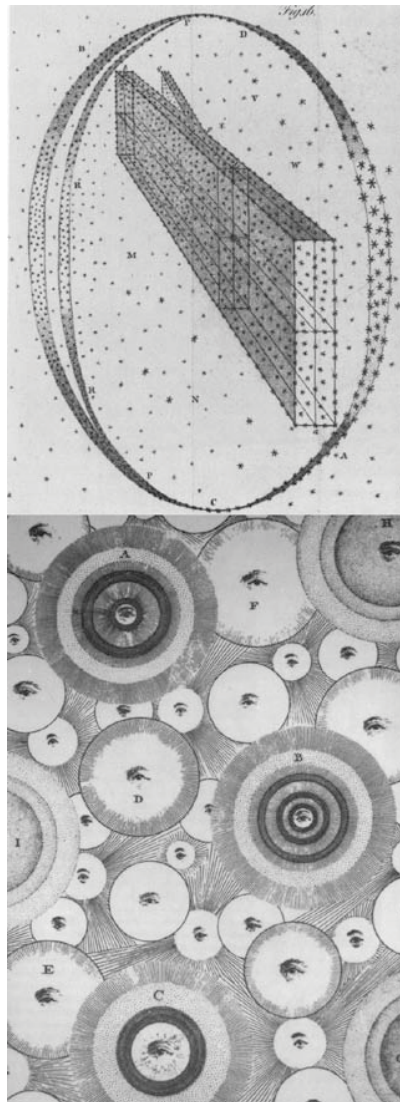
### 2.3.1. Razvitak ideje o kartezijanskom prostoru

Filozofija i matematika Rene Dekarta je još u prvoj polovini XVII veka stvorila temelje za moderno viđenje ideje prostora i njegove reprezentacije, ali su geometrija i fenomen vizije i dalje smatrani ontološki različitim. U periodu baroka, iluzija perspektivnih slika se i dalje krila pod okriljem teocentrične kosmološke slike sveta. Tek u prvoj polovini XVIII veka, intelektualni krugovi Evrope su bili spremni za prihvatanje novog načina mišljenja o prostoru i percepciji, oslobođenoj od teoloških doktrina.

Nezavisno od otkrića u matematici, na stvaranje sinteze euklidskog i čulnog perspektivnog prostora uticala je veza arhitektonske teorije, kosmologije, kao i tadašnjih filozofskih rasprava. Relativizacija položaja tačke posmatranja je jedna od ključnih momenata u procesu te sinteze i može se proučavati kroz rad različitih naučnika i filozofa tokom XVIII veka.

Za velikog matematičara i filozofa, Gotfrid Lajbnica (Gottfried Leibniz), metafora perspektive je imala veliki značaj. U svom radu "Monadologija"<sup>72</sup> (Monadology, 1714) Lajbnic poredi univerzum sa gradom, kod koga se izgled menja u odnosu na položaj posmatrača. Te parcijalne perspektive sveta, specifične za svakog posmatrača nisu dovele u pitanje jedinstvenost univerzuma iz božanskog ugla gledišta, već su potvrdile njegovu kompleksnost. Perspektive univerzuma zavise od tačke posmatranja, koje se razlikuju za svaki monad<sup>73</sup>.

Relativizacija perspektivnog viđenja bila je inicirana i od novih kosmoloških stavova nastalih nakon astronomskih istraživanja sredinom XVIII veka. Istraživanja neba Vilijama Heršela (William Herschel) ogromnim



slika 22

Gore: Slika mlečnog puta V. Heršela iz *Filozofskih transakcija kraljevskog društva Londona*, 1784. Dole: ilustracija univerzuma iz knjige T. Rajta, *Originalna teorija ili nova hipoteza univerzuma*, 1750. Na slici se vidi "božansko sveprisustvo" u svakoj od galaksija pojedinačno.

<sup>72</sup> U svom delu *Monadologija*, Lajbnic je objasnio metafiziku elementarnih jedinica. Pojam monada, je duboko ukorenjen u zapadnoj filozofskoj tradiciji, od perioda antike i pitagorejske filozofije. Prema Lajbnicu monadi su elementarne duhovne stvari, a izvor im je u bogu, najvišoj monadi. Prema Lajbnicu, prostorno vremenski svet je sačinjen od monada među kojima ne postoje dve apsolutno iste. U tom smislu Lajbnicove monade mogu se posmatrati i kao elementarne jedinica perceptualne realnosti.

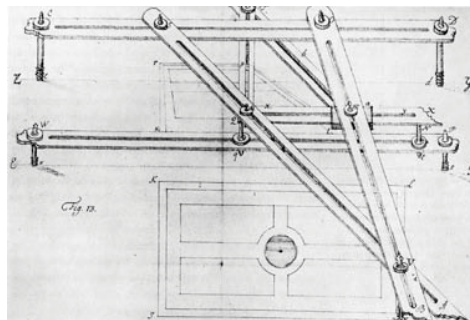
<sup>73</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 130)

teleskopom dovela su do novih shvatanja strukture univerzuma. Naučnici poput Johan Lambera, V. Heršela i T. Rajta (Johann Lambert, Thomas Wright) došli su do zaključka o ekscentričnom položaju sunčanog sistema u odnosu na centar galaksije (slika 22). Lamber je verovao da čitav univerzum naseljen i u svojim raspravama špekuliše sa tačkom posmatrača potencionalnih stanovnika univerzuma, relativizujući njihov položaj i percepiranje prostora<sup>74</sup>. Istovremeno, Lamberove kosmološke špekulacije imale su direktnu vezu sa studijama o perspektivi kojima se intenzivno bavio. U svom prvom radu o perspektivi *Anlage zur Perspektive* (1752) Lamber pokušava da objasni vizuelni fenomen. Smatrao je da se dva različita načina projekcije, perspektivni i ortogonalni, moraju posmatrati u odnosu na svoje različite svrhe. Veliki deo ovog rada posvetio je neobičnoj vrsti perspektografa, koji omogućava crtačima da konstruišu perspektivni crtež iz plana i relativne tačke posmatrača (slika 23). Ovo delo bilo je osnov za njegov najznačajniji rad o perspektivi *Die Freye Perspektive* koje je simultano bilo publikovano i na francuskom kao *La Perspective affranchie de l'embaras du Plan géometral* (1759). U ovom delu Lamber opisuje kako naći očnu tačku posmatrača i ravan nedogleda, povezujući paralelnu i perspektivnu projekciju. Reverzibilnost ima suštinski značaj za Lamberovu perspektivnu teoriju: mogućnost transformacije plana objekta u perspektivni pogled usvajajući u potpunosti naturalizaciju i homogenost geometrijskog prostora. Lamberov perspektivni postupak bilo je u saglasnosti sa sopstvenim kosmološkim ubeđenjima, u kojem decentralizovano mesto posmatrača prikazuje samo jedno od brojnih mogućnosti<sup>75</sup>.

Najveći pomak u reprezentaciji ideje homogenog kartezijanskog prostora ogleda se u sistematizaciji projekcija i prikazivanju geometrijskih elemenata unutar sistema kvadranta koju prvi sprovodi Gaspar Monž (Gaspard Monge). Svoj koncept Monž je objavio

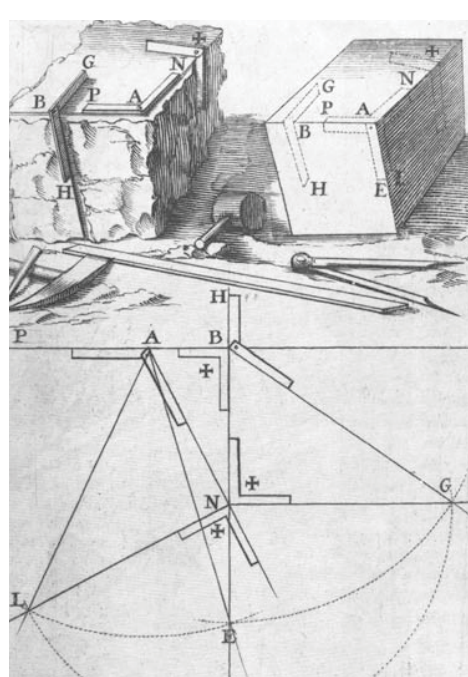
<sup>74</sup> Ibid., str. 192.

<sup>75</sup> Ibid., str. 197.



slika 23

Lamberov perspektograf za konstruisanje perspektive iz ortogonalne projekcije. Ilustracija iz *Anlage zur Perspektive*, 1752.



slika 24

Ilustracija iz *La Pratique du Trait* (1643), od Abrahama Bosea, opisuje Dezagov princip obaranja stranica u ravni u kojima se vide u pravoj veličini, koji se upotrebljavao za precizno tesanje kamena neortogonalnih stranica.

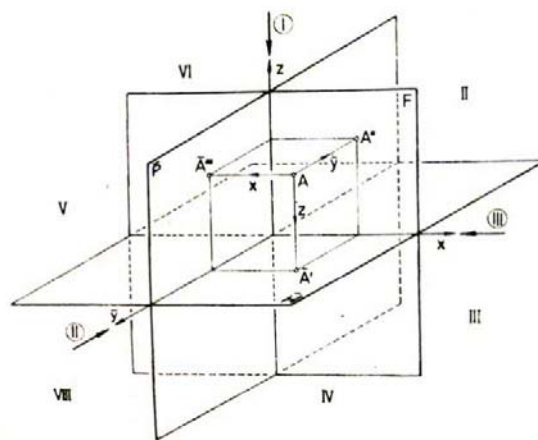


publikovanjem knjige *Nacrtna geometrija* (*Géométrie descriptive*, 1795), kao i kroz serije predavanja na Politehničkoj školi u Parizu (*École Polytechnique*). *Nacrtna geometrija*, koju je Monž počeo predavati 1795. godine, postala je presudni alat modernog inženjerstva i arhitekture i bila je prekretnica u daljem razvoju reprezentacije prostora.

Monžova ideja prostora na kojoj se zasnivaju tehnike geometrijske reprezentacije obeležila je čitav period industrijske epohe. Karakteristike takvog prostora i objekata koji su u njemu, Monž je u svojoj knjizi *Géométrie descriptive* definisao na sledeći način: "Površine svih materijalnih tela sačinjeni su iz tačaka i prvi korak u ovoj raspravi jeste način kako se definiše bilo koja tačka u prostoru. Prostor je beskonačan, svi delovi prostora imaju podjednake karakteristike"<sup>76</sup> (slika 25). Monž je bio svestan značaja Dekartovog doprinosa u matematici u postavljanju osnova analitičkoj geometriji, vezi između algebre i geometrije: "Metod eliminacije u rešavanju jednačina sa više nepoznatih u algebri ima ogromnu analogiju u nacrtnoj geometriji u kojoj se na taj način rešavaju preseči zakrivljenih površi"<sup>77</sup>.

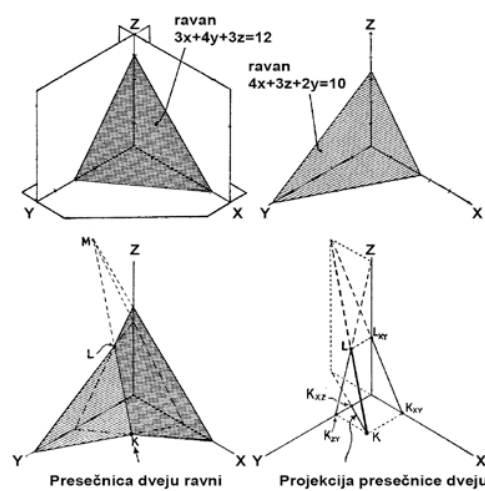
Koristivši se dekartovskim trodimenzionalnim sistemom, Monž dolazi do zaključka da se ravni u prostoru mogu prikazati pomoću svojih tragova na projekcionim ravnima kod kojih je vrednost jedne od tri koordinate jednak nuli. Na taj način svaki trag ravni definisan je samo pomoću jedne jednačine sa dve nepoznate, pa je bilo koju pravu ili ravan veoma lako nacrtati pomoću njenih projekcija na vertikalnu ili horizontalnu ravan. Svaki problem koji se rešavao algebarski, mogao se jednostavno rešiti i grafički i obrnuto (slika 26).

Monžova nacrtna geometrija se suštinski razlikovala od Dezargove projektivne geometrije koja ni do tada nije bila prihvaćena. Osnovna razlika između Dezargove projektivne geometrije i Monžove nacrtne jeste ta što je



slika 25

Definisanje tačke u homogenom Monžovom prostoru. Pozicija tačke definisana je svojom projekcijom na međusobno upravne ravni



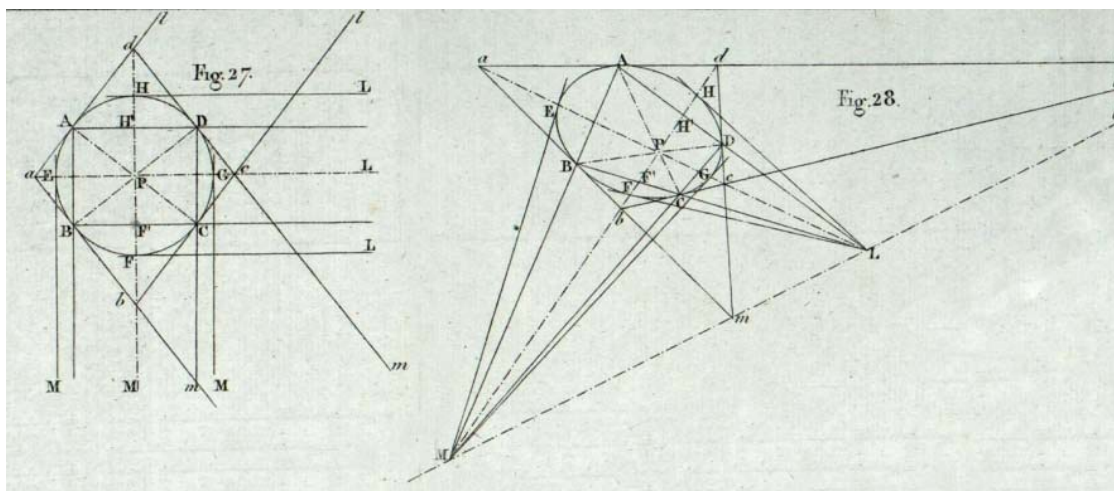
slika 26

Algebarska veza sa geometrijom. Ravan se može definisati pomoću jednačine sa tri nepoznate. Presečnica dve ravni u analitičkom smislu određuje se rešavanjem dve jednačine kojima su te ravni definisane. Projekcije presečnice dveju ravni na neke od ravni kvadranta dobija se eliminisanjem jedne od nepoznatih u te dve jednačine

<sup>76</sup> Mongeovi citati preuzeti iz knjige *A History of Engineering Drawing* (Booker, 1963, str. 87)

<sup>77</sup> *Ibid.*, str. 94.

Dezargov sistem definisan u odnosu na volumen koji se opisuje, dok Monžov sistem ostaje nezavistan u odnosu na predmet reprezentacije. Dok je moderna nacrtna geometrija bazirana na trodimenzionalnom, kartezijanskom sistemu ortogonalnih koordinata, u kome je objekat koji se posmatra nezavisan u odnosu na koordinatni sistem, Dezargova projektivna geometrija je bazirana ili na paralelnoj ili centralnoj projekciji i zavisi od objekta koji treba da definiše (slika 24). Dislociranje geometrijskog sistema iz fizičke realnosti opisivanog objekta bilo je preduslov za stvaranje apstraktnog homogenog prostora. Drugim rečima, Dezargov sistem je zahtevao inicijalnu formu i ravni, tj. paralelne fasade tela koje se opisuju. Monžov geometrijski sistem kreće od apstraktne kocke, čije stranice čine kvadranti na koje se projektuje geometrijska slika određenog tela, nezavisno od orijentacije i nagiba ravni posmatranog volumena u odnosu na kvadrante. Sa druge strane, značaj Dezargove projektivne geometrije je u stvaranju veze između euklidske geometrije i perspektivne reprezentacije. Tek će Monžovi učenici početkom XIX veka povezati obe pomenute geometrije u jednu.

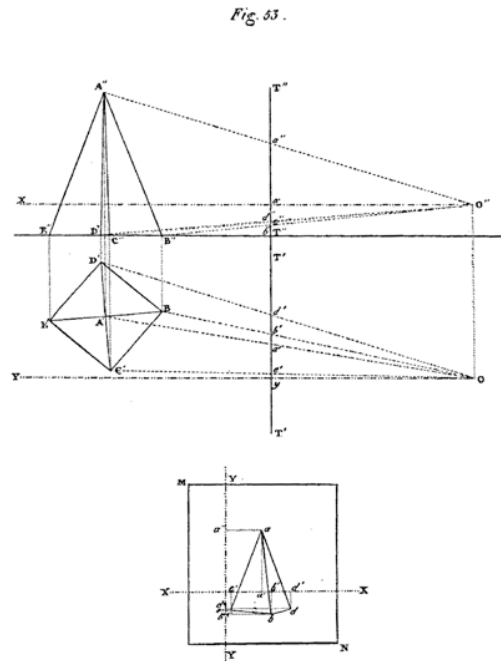


Monž se za razliku od Dezarga bavio problemima konačnih vrednosti. Pojam beskonačnosti i probleme projektivne geometrije uvodi Monžov učenik Žan-Viktor Ponsel (Jean-Victor Poncelet) tek dve decenije kasnije. Ponselova "Rasprava o projektivnim karakteristikama figura" (*Traité des propriétés projectives des figures*,

slika 27

Ilustracija iz Ponselove knjige *Traité des propriétés projectives des figures*. Projektivna veza koničnih preseka.

1822) bio je prvi značajan rad o projektivnoj geometriji nakon Dezarga (slika 27). Ponsele je u potpunosti razumeo Dezargov perspektivni metod. Redukujući trodimenzionalni prostor na jednu perspektivnu ravan, emancipovao je apstraktnu-geometrijsku od stvarne imaginacije, formirajući epistemološke osnove za pravu revoluciju u području reprezentacije prostora<sup>78</sup>. Kasnija izdanje nacrtna geometrije koju su publikovali Monžovi učenici<sup>79</sup>, imala je dodatak u kojoj je povezana nacrtna geometrija i perspektivno projiciranje (slika 28). Predstavljanje geometrijskih tela u “modernom”, objektivnom prostoru oslobodilo se uticaja pozicije tačke posmatranja, anticipirajući homologiju perspektivnog i aksonometrijskog prikaza. Novo shvatanje geometrijskog prostora i njegove veze sa prostornom percepcijom, uticale su na razvitak sistematizaciju tehničkih crteža. Istovremeno, stvoreni su uslovi da aksonometrija i planometrija postanu uobičajen metod arhitektonske reprezentacije. Novi način viđenja i reprezentacije prostora imale su dalekosežne posledice na savremenu arhitektonsku teoriju i praksu.



slika 28

Gore: Brissonovo izdanje *Nacrtna geometrije*, 1827, u koju je dodata veza perspektivne projekcije i monžovih principa ortogonalnog projiciranja.

### 2.3.2. Instrumentalizacija ideje o kartezijanskom prostoru u arhitekturi u periodu strukturalnog racionalizma

Karakteristike nove, moderne epohe u arhitekturi javljaju se u drugoj polovini XVIII veka, u periodu prosvetiteljstva oslobođenom od dotadašnje kosmološke i metafizičke evropske tradicije. Osnovna karakteristika nove epohe, je oslanjanje na teorijsko znanje. Pitanja nastanka i porekla arhitekture, istorijskih stilova i realizacije utopija počela su da dominiraju arhitektonskim mišljenjem. Umesto tradicionalnih

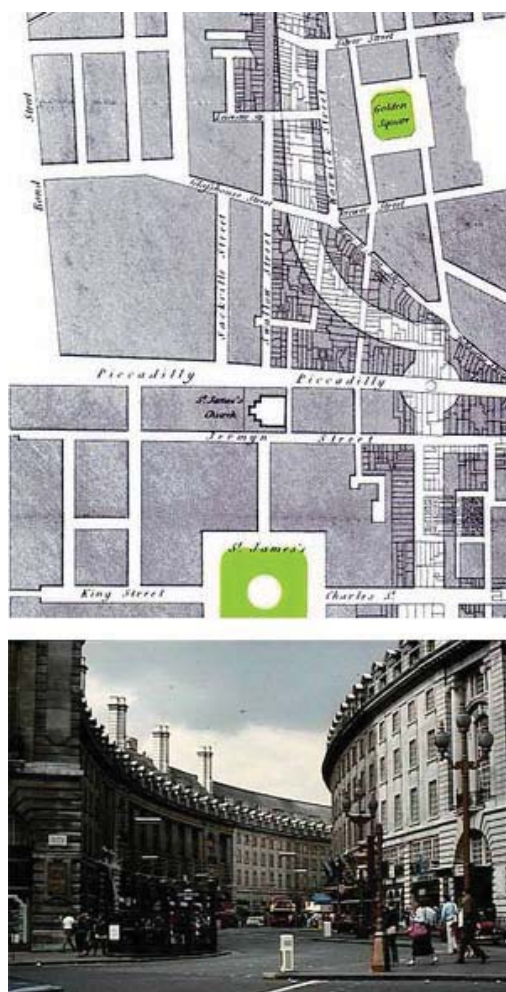
<sup>78</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 137)

<sup>79</sup> Autori pomenutog izdanja su B. Brisson i M.J. Brisson, *Geometrie Descriptive*, 1827.

zanatskih gildi, arhitektonska edukacija se počinje odvijati na akademijama i politehničkim školama. Tokom Napoleonovog perioda u pojedinim institucijama poput Politehničke škole arhitektura je proučavana prvi put kao naučna disciplina. Kao što je u prethodnom delu rada pomenuto, Klod Pero je jedan od prvih arhitekata koji je već u drugoj polovini XVII veka prihvatio kartezijanski način gledanja na svet, osporavajući značaj optičkih korekcija u procesu projektovanja i nudeći novo značenje Vitruvijevog termina *ideae*. Kartezijanska filozofija zajedno sa tada aktuelnim kosmološkim teorijama uticali su na stvaranje nove ideje o prostoru i fenomenu perspektive. Ideja kartezijanskog prostora reflektovala se na arhitektonsko stvaralaštvo tek polovinom XVIII veka i imala je odraza u tri pravca:

- relativizacija perspektivne tačke posmatrača,
- razvitak i sistematizacija tehnika crtanja,
- razvitak ideje o procesu istraživanja arhitektonske forme kroz crtež.

**Relativizacija perspektivne tačke posmatrača** je koncept koji se na evropskom tlu razvio pod uticajem pomenutih filozofskih i kosmoloških ideja Lajbnica i Lamberta. Pomenut koncept reflektovao se u početku samo na britanskom tlu u pejzažnom i urbanističkom projektovanju, i to podstaknut orijentalnim uticajima. Do sredine XVIII veka, Britanija je fascinirano pratila razvoj vrtova u kontinentalnoj Evropi, da bi se situacija izmenila već u drugoj polovini XVIII veka pod uticajem kineskih vrtova. U svom delu *A Dissertation on Oriental Gardening*, Sir Vilijam Čembers (Sir William Chambers), 1772. godine uočava značajnu osobinu kineskih vrtova da se oni ne posmatraju iz jedne tačke ili ugla već iz više različitih tačaka<sup>80</sup>. Tako se na području Engleske razvio drugi princip - zatvaranje perspektivnih pravaca i postepenom otvaranju vizura koje se javljaju kretanjem, nasuprot pristupu u kontinentalnom delu Evrope. Taj princip može se uočiti u engleskim vrtovima ranog XVIII veka ali i u pojedinim urbanističkim rešenjima. U



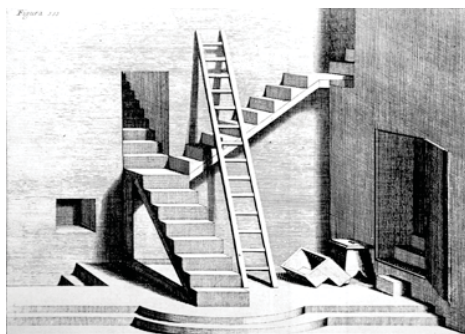
slika 29

Gore: Plan Ridžent ulice iz 1814. Dole: fotografija ulice Ridžent. Krivolinijskim kretanjem niz ulicu, postepeno se otvara vizura.

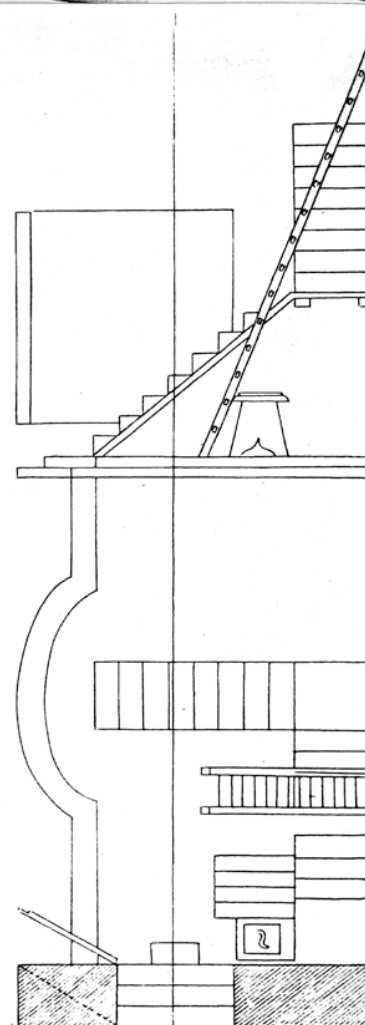
<sup>80</sup> (Chambers, 1772, str. 20)



urbanističkom projektovanju, taj princip primenjuje Džon Neš (John Nesh) prilikom projektovanja ulice Ridžent (Regent Street) 1811-1825. godine u Londonu (slika 29). Ulični pravac nije projektovan pravolinijski, već sa lučnim delovima na pojedinim mestima, omogućavajući da se kretanjem postepeno otvaraju vizure. Pomenuti principi sagledavanja prostora, u kojima nije favorizovan jedan pravac, već sagledavanje iz više različitih pravaca postaje aktuelan i u drugim Evropskim zemljama tek početkom XX veka, a pod uticajem drugih prostornih koncepcija koje je prihvatila arhitektonska avangarda moderne, o čemu će kasnije biti reči.



Inicijalni momenat **razvitka i sistematizacije tehnika crtanja** javio se u periodu baroka, na prelazu iz XVII u XVIII vek. Kao što je već ranije pomenuto, jedan od ključnih momenata u razvoju je bilo publikovanje rasprave Andrea Pocoa *Perspectiva pictorum et architectorum* 1693. godine. Knjiga je bila bogata ilustracijama i sve su počinjale sa planom i izgledom scene, kao i koracima za generisanje perspektivne slike iz pomenutih crteža (slika 30). Postignuta veza između ortogonalnih projekcija i perspektive podstaklo je arhitekta na uverenje da je moguće „projektovati u perspektivi“. Ovaj način mišljenja je značajno istaknuo arhitektonski zadatak dalje od tradicionalnog konstruisanja simboličkih ideja, ka pravljenu *slika* samih zgrada<sup>81</sup>. Korelacija ortogonalnih projekcija i perspektivnog prikaza uočljiva je u crtežima Klod Nikole Ledua. U Leduovoj *Arhitekturi iz ugla umetnosti, običaja i zakonodavstva* (1804), na planšama pored uz plana, izgleda fasade ili preseka, često je bio prikazan objekat u perspektivi. Tokom XIX veka je homogen geometrijski prostor postao izjednačen sa percepcijskim prostorom, omogućivši da perspektiva postane istinska slika sveta. U tada popularnoj knjizi “Prirodni karakter” (Das Naturzeichen) koja je četiri puta izdata u periodu od 1828-1832 godine, Piter Šmid (Peter Schmid) iznosi sličnu pretpostavku da je perspektiva „prirodan“ način



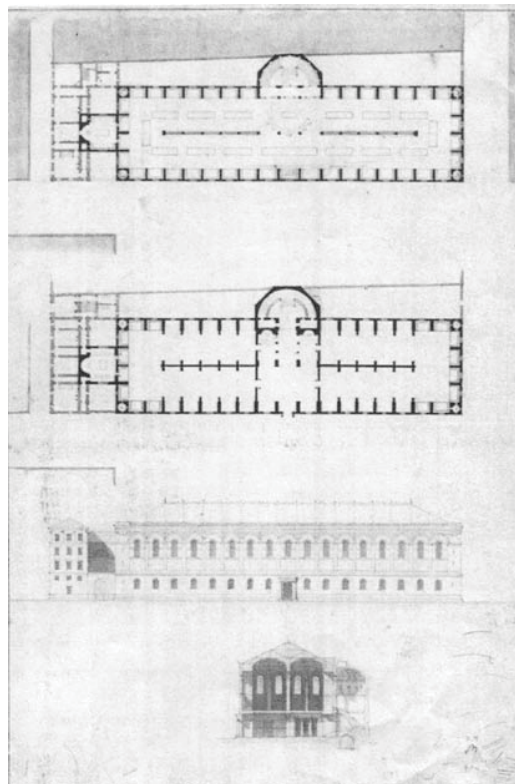
slika 30

Perspektivna studija iz knjige Andrea Pocoa *Perspectiva pictorum et architectorum* (1693). Pored perspektivne studije data je i osnova i izgled prostorije što je podstaklo arhitekta na uverenje o mogućnosti precizne vizuelizacije projektantskih rešenja.

<sup>81</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 74)

viđenja prostora. Herman fon Helmholtz (Hermann von Helmholtz) u svom uticajnom delu "Priručnik za fiziološku optiku" (Handbuch der Physiologischen Optik, 1867) koje obrađuje teorije vizije, percepcije boje i percepcije pokreta, polazi od pretpostavke da je Kantov *a priori* geometrijski prostor osnov za čulni opažaj<sup>82</sup>, a u svom čuvenom pedagoškom programu, reformator obrazovnog sistema, Johan Hajnrih Pestaloci (Johan Heinrich Pestalozzi) se zalaže da je u pravilnoj edukaciji dece neophodno učenje crtanja jednostavnih geometrijskih tela u perspektivi.

Akademsko obrazovanje arhitekata u Francuskoj je već krajem XVIII i početkom XIX veka, potenciralo izradu skica pomoću kojih se mogu razvijati ideje o arhitektonskoj kompoziciji. „Crtež služi za to da steknemo predstavu o svojim idejama, bilo dok izučavamo arhitekturu, bilo dok se bavimo projektovanjem građevina (...) on mora biti lišen svake opterećenosti, rasipništva; tako će omogućiti brzo i lako izučavanje i pun razvoj ideja“<sup>83</sup>. Tokom XIX veka u Francuskoj postojale su dve linije obrazovanja arhitekata koje su imale različit pristup upotrebi crteža. Prva linija ima dugu tradiciju u okviru Akademije lepih umetnosti (Ecole des Beaux-Arts) u kojoj su se obučavali brojni arhitekta i umetnici od sredine XVII veka. Arhitekta školovane u okviru Akademije lepih umetnosti, imali su snažnu potrebu da prikažu svoj objekat kroz grandiozne perspektivne slike čije je crtanje zahtevalo značajno vreme u odnosu na period poteban da se isprojektuje sam objekat<sup>84</sup>. U okviru obrazovnog sistema Akademije lepih umetnosti razvijen je pristup izrade arhitektonskog projekta od organizacionog dijagrama *esquisse* do finalne prezentacije, koji je čak i danas prisutan u arhitektonskoj praksi i obrazovanju *esquisse* je korišten za brzo vizualizovanje arhitektonskih rešenja, izražavajući karakter, samog crteža. Sadržao je sve bitne ortogonalne projekcije objekta: osnovu, presek i izglede



slika 31

Labrustova skica (*esquisse*) koja prethodi finalnom crtežu. Generisanje preseka i izgleda fasada iz plana je uveliko postao uobičajen metod projektovanja, koji je prvo Diran promovisao početkom XIX veka na politehničkoj školi.

<sup>82</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 302)

<sup>83</sup> (Durand, 1819, str. 24)

<sup>84</sup> *Ibid.*, str. 303.

fasada. Većina studenata je pravila crteže *pre-esquisse* koje su prethodile prethodile nacrtu (*esquisse*) i predstavljali različite organizacione varijante i *ad hoc* istraživanja forme<sup>85</sup>. Tipičan *Beaux-Artsovski* pristup rešavanja objekta, može se analizirati na preliminarnom crtežu Henri Labrusta (Henri Labrouste) za Biblioteku *Ste-Geneviève* u Parizu. Obrazovan na Akademiji lepih umetnosti, Labrust preuzima veštinu crtanja *esquisse* iako je sam bio nezadovoljan metodima učenja škole<sup>86</sup>. Labrustov racionalni pristup projektovanja kombinuje uobičajeni *Beaux-Artovski* pristup rešavanja prostora preko tri ortogonalne projekcije *esquisse-a* sa novim konstruktivnim pristupom savremenim materijalima (slika 31). Organizacija arhitektonskog crteža je karakteristična za akademski obrazovni sistem u Francuskoj XIX veka u kome se iz plana jednostavno generišu izgledi-fasade i presecci.

Druga linija obrazovanja arhitekata u francuskoj u okviru Politehničke škole razvio je nešto drugačiji pristup sistematizaciji i tehnikama crtanja. Škola je osnovana krajem XVIII veka, a jedan od njenih osnivača Gaspar Monž, postavio je nove standarde tehnici izrade inženjerskog crteža. Težnja za preciznim merama i sistematičnim metodama reprezentacije prostora bile su važna tema teorije arhitekture u inženjersko orijentisanoj školi XIX veka. Jedan od osnovnih predmeta na Politehničkoj školi osnovanoj u Parizu nakon francuske revolucije, bila je upravo nacrtna geometrija, koja je po prvi put omogućila sistematsku redukciju trodimenzionalnih objekata u dve dimenzije<sup>87</sup>. Diranov (J.N.L. Durand) metod projektovanja *mécanisme de la composition*, opisan u "Pregledu predavanja" (*Précis des Leçons d'Architecture*, 1819) zasniva se na racionalnom pristupu (slika 32), koristeći modularnu mrežu i novi vid instrumentalizacije prostora, baziranom na Monžovoj

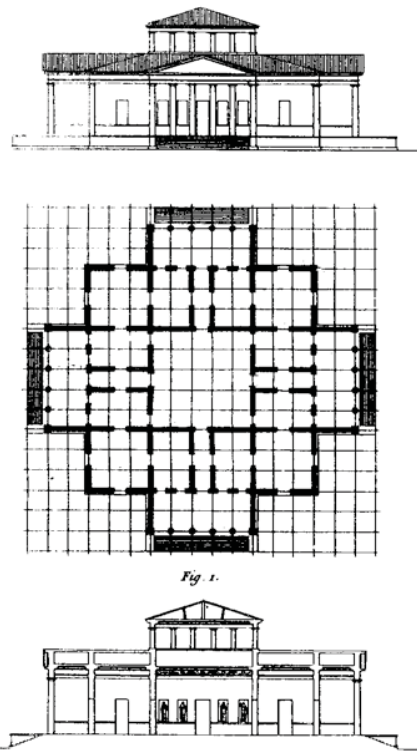


Fig. 1.

slika 32

Planša iz *Pregleda predavanja* Ž.N.L. Dirana. Diran u predavanjima objašnjava zašto je plan bitan u procesu projektovanja i na koji način se iz njega generišu presek i izgledi fasada.

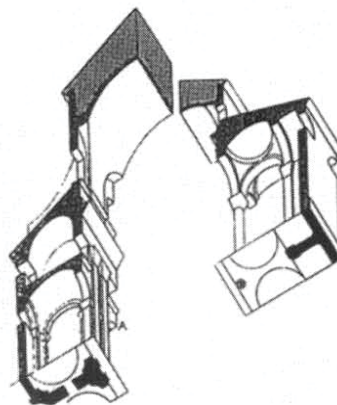
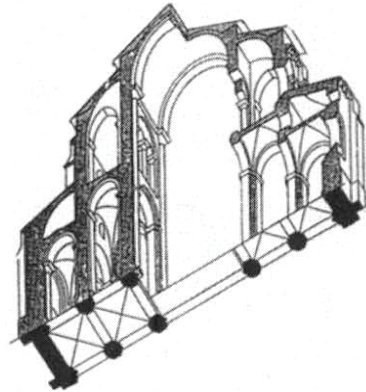
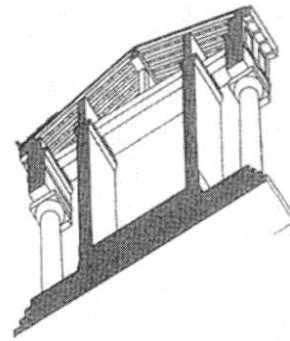
<sup>85</sup> (Schank Smith, 2005, str. 71)

<sup>86</sup> Videti detaljnije Henrijevih pisma bratu, kod S. Gideona, Prosotor vreme arhitektura. (Gideon, 2002, str. 161)

<sup>87</sup> ortogonalne i aksonometrijske projekcije bile su poznate i nekoliko vekova ranije, al su tada prvi put naučno definisane i sistematizovane

nacrtnoj geometriji<sup>88</sup>. Sistematizacija metoda crtanja je tek u XIX veku u potpunosti omogućila translaciju od crteža do gotove zgrade u kojima su svi crteži precizno skalirani. Ideje i tehnike reprezentacije prostora iz prestižne pariske politehničke škole, brzo su se širile u Francuskoj i po evropskom kontinentu. Prvi prevod Monžovog dela pojavio se početkom XIX veka, ali ovaj sistem reprezentacije u svom u izvornom obliku nije bio prihvaćen u američkom i britanskom obrazovnom sistemu inženjerskih disciplina i arhitekture<sup>89</sup>.

Vilijam Fariš (William Farish), Monžov savremenik i predavač na Kembridžu, zaslužan je za pragmatičniji pristup geometriji koji se razvio u Engleskoj u prvoj polovini XIX veka. Za potrebe predavanja i opisivanje pojedinih mašinskih elemenata geometrijskih figura, Fariš počinje koristiti izometrijski prikaz, koji je bio poznat među crtačima. Fariš prvi istražuje svojstva i karakteristike izometrijskog crteža i 1822. godine objavljuje knjigu „O izometrijskoj perspektivi“ (On isometrical Perspective), opisujući ovaj metod i prednosti ove tehnike crtanja. Ilustracije August Šoazija (Auguste Choisy) predstavljaju poslednju tačku u razvoju geometrijske reprezentacije prostora u arhitekturi XIX veka. Planometrijski crteži August Šoazija oslikavaju globalnu sintezu plana, preseka, izgleda u jedinstveni pogled (slika 33). Za Šoazija, cilj takvog planometrijskog crteža bio je prikazivanje strukture, a naročito svodne



slika 33

Analitički crteži strukture objekta August Šoazija koji su oslikavaju sintezu plana preseka i izgleda, kroz planometrijsku projekciju

<sup>88</sup> Monžova knjiga *Géométrie descriptive* iz 1795. godine bila je jedan od najvažnijih udžbenika za Diranove studente arhitekture na Politehničkoj školi

<sup>89</sup> Aleksander V. Kanningam (Alexander W. Cunningham) u svom delu *Notes on the historical method and technical importance of descriptive geometry* (1868) primećuje da je nacrtna geometrija imala velikog uticaja na evropskom kontinentu. Prema Kanningamu, početkom XIX veka brojne knjige o nacrtnoj geometriji pojavile su se najviše u Francuskoj i Nemačkoj, ali i drugim zemljama kao što su Španija, Belgija, Danska, Švedska, Norveška i Italija, dok su se tekstovi i prevodi na britanskom tlu intenzivnije javili tek 50-tih godina XIX veka. Britanski tekstovi o nacrtnoj geometriji imali su drugačiji pristup od Monžovih. Dok je Monžova nacrtna geometrija kretala od apstraktnih, matematički definisanih ravni projekcije, britanski autori poput Binns-a i Davidsona koriste crteže međusobno upravni tabli, objašnjavajući pojmove projekcije. Videti detaljnije u (Booker, 1963, str. 130-139)



konstrukcije<sup>90</sup>. Pragmatičnost ovog načina trodimenzionalnog prikazivanja, kao i nivoa apstrakcije koji u sebi sadrži, široko je prihvaćen kao svojevrsna paradigma u načinu prezentovanja objekta u arhitekturi XX veka.

Osim sistematizacije i razvitka tehnika crtanja, ideja homogenog geometrijskog prostora je u periodu strukturalnog klasicizma imala uticaja na razvitak **ideje o procesu istraživanja arhitektonske forme kroz crtež**. U XVIII veku *arhitektonski crtež* postaje svet za sebe nezavisan od realnosti, način istraživanja arhitektonskog prostora. U svojim arhitektonskim fantazijama Žan-Loran Ležej (Jean-Laurent Legeay) i Đovani Batista Piranezi (Giovanni Battista Piranesi) prvi su inicirali novu revoluciju u prezentaciji arhitektonskih ideja. Ležej je bio učitelj čitavoj generaciji francuskih arhitekata sredinom XVIII veka, uključujući Etjen Lui Bulea, Šarl de Valia i Pjer-Lui Moro-Desproa (Charles De Wailly, Pierre-Louis Moreau-Desproux). Bio je samo deset godina stariji od Piranezija i obojica su bili u Rimu početkom 40-tih godina XVIII veka, zbog čega pojedini istoričari arhitekture smatraju da su se tamo mogli sresti i medjusobno uticati jedan na drugog. Ležej je promovisao upotrebu slikarske četkice mesto lenjira i smatrao da projekat ne može biti kompletan ukoliko ne postoji neka perspektivna prezentacija, u kojoj dubina prostora nemora nužno biti postignuta kroz geometrijski preciznom konstrukcijom, već kroz razlike u intenzitetu boje i ošttrini detalja<sup>91</sup> (slika 34). Sa druge strane, perspektivni crteži Piranezija, nudili su novi način posmatranja i kadriranja prostora. U Piranezijevim crtežima zatvora, (*Carceri*) značenje je sačuvano u perspektivnoj logici (slika 35). Grafike Ležeja i Piranezija anticipiraju privremenost perspektive, koju su avangardni umetnici početka XX veka toliko



slika 34

“Arhitektonska fantazija” Žan-Loran Ležeja.



slika 35

Đan Batista Piranezi, *Carceri*. Istraživanje arhitektonskog prostora kroz crtež.

<sup>90</sup> U drugoj polovini XIX veka, obeleženoj razvitkom konstruktivne filozofije u arhitektonskoj teoriji, lukovi i svodovi su bili od suštinskog značaja za mnoge teoretičare.

<sup>91</sup> Pre Bulea i Ležeja arhitektonska vizuelizacija je rađena *a posteriori* od strane umetnika slikara. Ležej uvodi generealnu reprezentaciju eksterijera objekta, Bule je prihvata i primenjuje i na unutrašnje prostore. (Madec, 1986, str. 75)

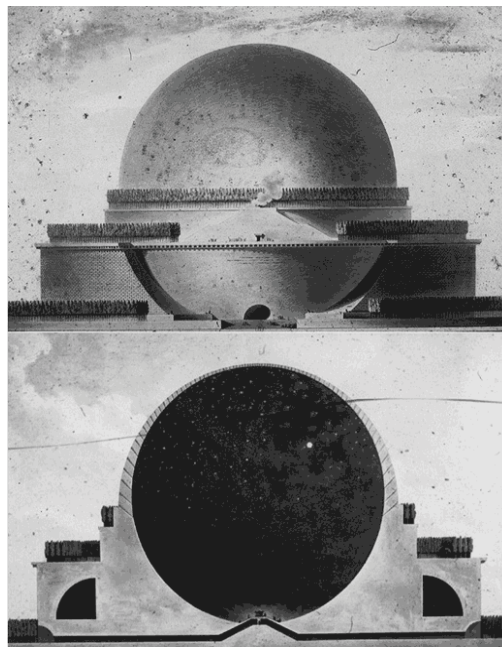
naglašavali<sup>92</sup>. Kako ruski reditelj Sergej Ejzenštajn (Sergei Eisenstein) primećuje, Piranzijeve misteriozne projekcije uključuju posmatrača u diskontinualni prostor<sup>93</sup>. Slika sa isprepletanim stepeništima, gredama, mostovima, koji se pojavljuju na slici, imaju nedoglede izvan okvira slike. Kontrast svetlosti i senke stvara dvoznačnost između unutrašnjeg i spoljnog prostora<sup>94</sup>. Perspektivni crtež nije bila više samo alatka već i sama sebi cilj, zalažući se za značaj predstavljanja arhitektonske ideje u odnosu na umetnički potencijal koji se krije u volumenu objekta. Taj novi stav o načinu stvaranja arhitektonskih ideja je jasno izrazio Ležejov učenik E.L. Bule u svom *Eseju o umetnosti* (*Essai sur l'Art*, 1778-1788), gde citirajući Antonio Koređa (Antonio Correggio) sebe naziva arhitektom i slikarem<sup>95</sup> (slika 36). Ledu nekoliko godina kasnije takođe naglašava značaj slikarske imaginacije navodeći da „Ako neko hoće da bude arhitekta, mora prvo da postane slikar“<sup>96</sup>.

Kasni neoklasični interes za integrisanje arhitekture i slikarstva poklapa se uverenjem koje je vladalo u XVIII veku da se *istina može postići kroz reprezentaciju*<sup>97</sup>. Priroda postaje novi kontekst u perspektivnim slikama, zamenjujući kosmološko značenje i smisao koji je perspektiva imala do tada. To se naročito uočava u perspektivnim slikama Ledua, koji svoje perspektivne slike arhitekture stavlja u prirodan kontekst. Sa druge strane, sakralni karakter prostora Bulea otkriva istu onu težnju za beskrajnim kao i pejzaži V. Tarnera (W. Turner) u XIX veku, čije su scene postavljene u prostor kome granice nisu konačne i vidljive<sup>98</sup>. U svom *Eseju o umetnosti* Bule piše kako je u projektu Kenotaf za Njutna (slika 37) pokušao da ostvari „najuzvišeniju od svih,



slika 36

Etjen Lui Bule, Kenotaf u obliku piramide. Apsolutno geometrizovana forma, lišena svih detalja. Karakter crtežu daje samo slikarski odnos prema svetlosti i senci.



slika 37

Etjen Lui Bule, Kenotaf za Njutna. "Kad se pogledaju moji crteži, videće se ono što bi se moglo smatrati nemogućim. Videće se spomenik u kojem bi se posmatrač kao čarolijom, našao da lebdi u vazduhu, nošen na isparenjima oblaka u beskraj prostora". (Boullée, 1778-88, str. 92)

<sup>92</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 220)

<sup>93</sup> (Eisenstein, 1977, str. 83-110)

<sup>94</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 78)

<sup>95</sup> Čuveno javno priznanje Correggia Rafaelu, *Ed io anche son pittore*, Bule stavlja na prvu stranu knjige *Essai sur l'Art*.

<sup>96</sup> Originalan citat: *Vous qui voulez devenir Architecte, commencez par etre peintre* preuzet iz: C.N. Ledoux, *L'Architecture considérée sous le Rapport de l'Art, des Moeurs et de la Législation* (Pariz, Chez l'ateur, 1804; reprint, Nördlingen: UHL Verlag, 1981)

<sup>97</sup> Ibid., str. 78.

<sup>98</sup> Ibid.

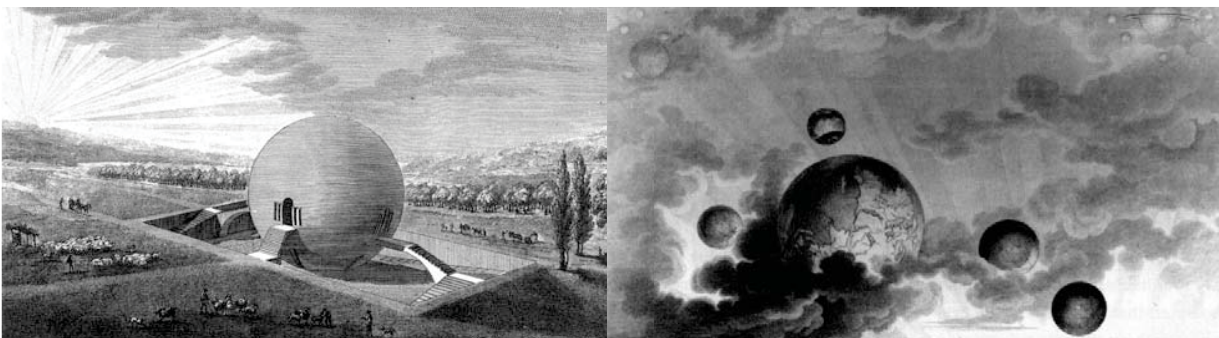


predstavu beskonačnosti<sup>99</sup>. Ideja o nepostojanju granice, beskonačnosti prostora prirodnog pejzaža, postala je nova paradigma u formiranju scenografije za reprezentaciju arhitektonskog objekta u perspektivi. Ideja beskonačnosti i velikog prostranstva koja je imala čvrsto uporište u radovima Ledua i Bulea, bila je ukorenjena u epistemološka shvatanja sveta i kosmološka ubedenja. Geometrijska figura lopte predstavljala je savršenu refleksiju takvog shvatanja. Lopta je bila osnovni element u slici *Nove teorije univerzuma*<sup>100</sup> T. Rajta, ali i u radovima Ledua i Bulea 30-tak godina kasnije. Bule je smatrao da je lopta savršeno geometrijsko telo, čiju lepotu nijedan optički efekat ne može pokvariti<sup>101</sup>. U projektu Kenotaf za Njutna, ona istovremeno simbolizuje zemlju i kosmos. Ledu upotrebljava loptu i u profanoj i sakralnoj arhitekturi. Jedan od najzagonetnijih crteža Ledua je izgled groblja u Šou, na kome autor prikazuje zemaljsku kuglu i planete oko nje (slika 38). Za Ledua, „u prirodi je sve krug: kamen bačen u vodu, (...) kretanje planeta, vazduha i mora“<sup>102</sup>. Metafora geometrijskih oblika za Ledua i Bulea postaju arhitektonsko značenje. Piramida, kupa, cilindar, kvadar, javljaju se u arhitekturi i u zavisnosti su od programskog i simboličkog konteksta. Same forme objekata nastaju kombinovanjem presecanja, dodavanja ili oduzimanja geometrijskih oblika gradeći celinu (slika 39).

slika 38

Levo: Klod Nikola Ledu: *Kuća čuvara poljoprivrednog imanja*. Profana arhitektura, izražene geometrijske i estetske karakteristike lopte- senke na njoj su mekane, elevacije sa svih strana identične

Desno: *Izgled groblja u Šou*. Lopta je za Ledua kao i za Bulea savršen geometrijski oblik i može se posmatrati u različitim konotacijama. Na slici se vidi Leduova opčinjenost novim kosmološkim shvatanjima. Na crtežu su prikazane planete sa svojim satelitima-decentralizovano božansko viđenje vasiona (uporediti sa slikom 3). Veza između naziva same slike (izgled groblja), i njene reprezentacije je metaforička.



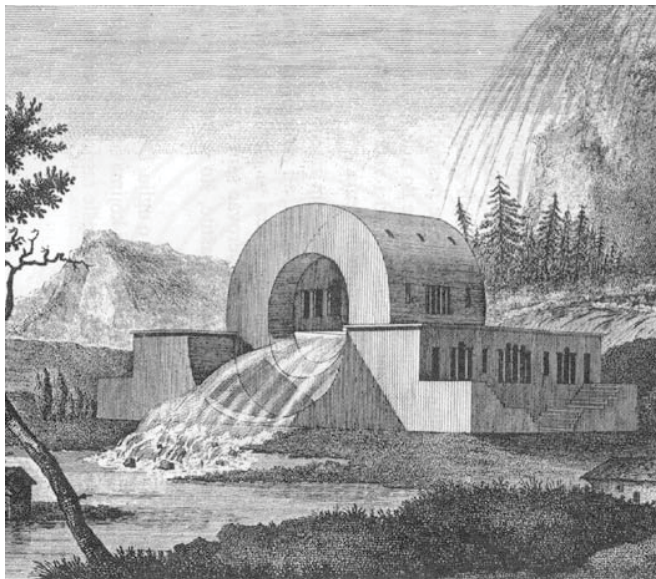
<sup>99</sup> (Boullée, 1778-88, str. 106)

<sup>100</sup> Pun naziv dela čuvenog britanskog astronoma, matematičara i arhitekta Tomas Rajta (Thomas Wright) iz 1750. godine je "Originalna teorija ili nove hipoteze univerzuma".

<sup>101</sup> (Boullée, 1778-88, str. 30)

<sup>102</sup> (Ledoux, 1804, str. 108)

Pitanje vizuelne forme sa značenjem koje ima i danas, se vremenski poklapa sa periodom stvaralaštva Ledua i Bulea. Do tada je velik broj pojmova kao što su alegorija, simbol, amblem, šema korišten da se razume značenje koje je kasnije pripisano *formi*<sup>103</sup>. Njeno značenje se može posmatrati dvojako: sa jedne strane forma je suštinski deo realnosti, dok je sa druge imaginativna, nevidljiva. Takav način posmatranja forme nametnuo je pitanje *geometrijske apstrakcije* prikaza. Svođenje vizuelnih informacija iz realnog ili imaginativnog sveta na primarne geometrijske oblike ima korene u nastanku crteža, ali postaje ozbiljno pitanje teorije arhitekture i teorije forme tokom druge polovine XVIII veka. Bule se u svom *Eseju* bavi upravo tim pitanjima objašnjavajući zbog čega oblike pravilnih geometrijskih tela shvatamo na prvi pogled<sup>104</sup>. Bule još detaljnije razlaže odnos između arhitekture koja je redukovana na status objekta i našeg doživljaja: „Posmatrajmo neki objekat. Prvi utisak koji doživimo je očevidno posledica načina na koji objekat deluje na nas. A ja karakterom nazivam dejstvo koje taj objekat proizvodi i ostavlja na nas neki utisak“<sup>105</sup>.



slika 39

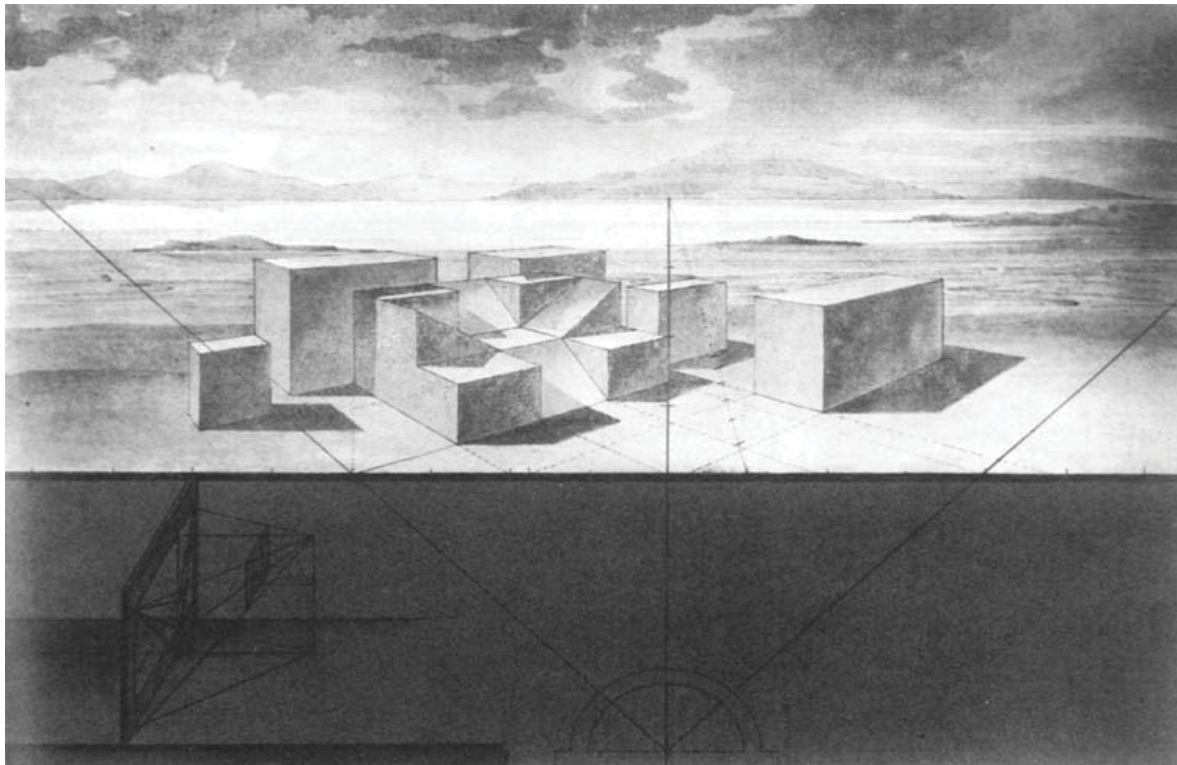
Klod Nikola Ledu: *Kuća direktora i nadzornika reke Lu*. Forma kuće rezultat je operacija oduzimanja, preseka i unije primenjene na geometrijska tela, ovalni cilindar i kvadar.

<sup>103</sup> (Vesely, 2004, str. 239)

<sup>104</sup> (Boullée, 1778-88, str. 29)

<sup>105</sup> *Ibid.*, str. 38.

Bule definiše arhitekturu kao „umetnost stvaranja određenih predstava rasporedom geometrijskih tela“<sup>106</sup>. Bule dalje primećuje, “volumeni geometrijskih tela i njihovi međusobni odnosi deluju na naša čula i daju karakter nekom arhitektonskom projektu”<sup>107</sup>. Za francuske vizionare arhitekture sa kraja XVIII veka, arhitektura postaje geometrijska apstrakcija, ogoljena od nepotrebnih detalja i stilskih redova. Svođenje arhitektonske forme na jednostavnu geometrijsku apstrakciju anticipirane u crtežima Bulea i Ledua postaju važna tema početkom XX veka u umetničkoj koncepciji arhitektonske avangarde.



Najveći značaj u pogledu geometrijske reprezentacije prostora u epohi strukturalnog klasicizma jeste nastanak sistematizacija različitih tipova projekcija i njihove međusobne povezanosti koja su konačno bile svedene na apstraktan geometrijski koncept lišen teoloških i

slika 40

Perspektivna studija nemačkog arhitekta Fridrih Gilija (Friedrich Gilly) 1799. godine. Studija predstavlja prostornu kompoziciju sačinjenu od primarnih geometrijskih tela.

<sup>106</sup> Ibid., str. 110.

<sup>107</sup> Ibid.

metafizičkih značenja (slika 40). Instrumentalizacija ideje kartezijskog prostora je stoga uticala da se arhitektonska forma posmatra kao odnos između volumena koji čine neku zgradu. Posmatranje arhitektonskog objekta kao prostorne kompozicije geometrijskih volumena, ogoljena od stilskih redova i nepotrebnih detalja, postaće jedna od osnovnih premisa arhitekture moderne početkom XX veka. Za arhitekturu XX veka, ideja kartezijskog prostora ostaje podjednako važna uprkos nastanku novih koncepcija prostora o kojima će kasnije biti reči.

### 2.3.3. Instrumentalizacija ideje o kartezijskom prostoru u arhitekturi od XX veka do danas

Krajem XIX i tokom XX veka, razvija se fenomenološki pristup ideji kartezijskog prostora. Fenomenološki diskurs ideje kartezijskog prostora istražuje način na koji se konkretan, fizički prostor percipira i doživljava. Pojam *arhitektonskog prostora* postaje važna tema teorije arhitekture XX veka. Kristijan Norberg Šulc 70-tih godina XX veka ga definiše kao konkretizacija "egzistencijalnog prostora", čija je geometrijska struktura kartezijska<sup>108</sup>.

Konceptom *prostora u arhitekturi* najpre su se bavili nemački teoretičari Gotfrid Semper, Ričard Luce i August Šmarsov. U radovima pomenutih teoretičara koncepcija prostora (Raum) nastala je kao odraz razvitka teorija percepcija i nove naučne discipline eksperimentalne psihologije. Gotfrid Semper razvija ideju omotača (Bekleidung), koji ograničava arhitektonski prostor<sup>109</sup>. Semperove ideje i nova arhitektonska dostignuća kao što su velike staklene hale, železničke stanice, tuneli ispod Alpa, uticale su na berlinskog arhitektu Ričarda



slika 41

Pakstonova Kristalna palata na Velikoj izložbi u Londonu 1851. godine. Nova građevinska dostignuća izmenila su percepciju doživljava arhitektonskog prostora. Arhitektura postaje "omotač". Modularni princip, mreža (grid) i diskretizacija prostora na jednake intervale karakteristični su istovremeno za kartezijsku logiku i koordinatni sistem ali i za nova arhitektonska dostignuća poput staklenih hala i železnica.

<sup>108</sup> (Norberg-Schulz, 1971, str. 18-20)

<sup>109</sup> Prema abstraktu doktorske disertacije: *Space-art: The dialectic between the concepts of Raum and Bekleidung*, P. Tonkao, Univerzitet Pensilvanija, 2003. Preuzetom na adresi: <http://repository.upenn.edu/dissertations/AAI3087446/> (30. sept. 2009)

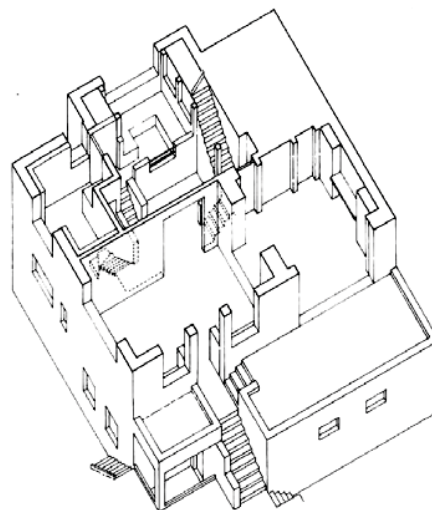


Lucea, koji je 1869. godine održao važno predavanje na Berlinskoj građevinskoj akademiji o psihološkom doživljaju arhitektonskog prostora<sup>110</sup>. Kognitivni pristup ideji kartezijanskog prostora u radovima pomenutih nemačkih teoretičara reflektovao se na rad bečkih arhitekata na prelazu iz XIX u XX vek. Bečke arhitekta Kamilo Zite (Camillo Sitte), Adolf Los i Oto Wagner (Otto Wagner) razvijaju sopstvene ideje o prostoru, oslanjajući se na Semperovu *Bekleidung* teoriju i psihološki doživljaj. Kamilo Zite u knjizi "Umetničko oblikovanje gradova" (1889) razvija ideju *gradskog prostora*, spoljašnjeg prostora čiji omotač-konture čine arhitektonski objekti. Vagnerov doprinos ogleda se u novom načinu interpretiranja arhitektonskog omotača pomoću ravnih i tankih ploča, kakve je primenio na projektu stanice Karlsplac (Karlsplatz) 1894. godine (slika 42). Adolf Los primenjuje princip *Raumplana*<sup>111</sup>, kompleksnog sistema oblikovanja prostora. Losov *Raumplan* bio je zasnovan na prostornom diferenciranju i hijerarhiji funkcionalnih celina unutrašnjih prostora. U zavisnosti od položaja, značaja i funkcije, prostorije u kući imale su različite volumene, visine, nivoe poda i bile su različito tretirane materijalima. Funkcija unutrašnjih prostora direktno je uticala na hijerarhiju, poziciju i veličinu prostorija (slika 43). Losov stav prema prostoru je antropocentričan, sačinjen od hijerarhijskog niza imaginarnih kubusa nejednakih veličina, prihvatajući kartezijansku strukturu ali ne i konvencionalan način generisanja arhitekture iz plana i vertikalnih projekcija. Kako je sam Adolf Los tvrdio, suština *Raumplana* se ne može predstaviti kroz konvencionalne crteže - osnove i preseke, već isključivo ličnim doživljajem samog prostora<sup>112</sup>.



slika 42

Stanica Karlsplac, Oto Vagnera. Omotač objekta sačinjen je od ravnih, tankih ploča



slika 43

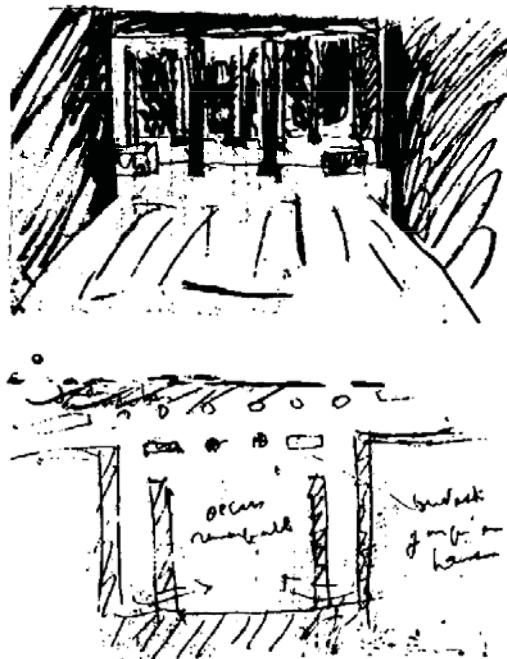
Izometrijski prikaz vile Moler (Moller) Adolf Losa. Funkcija unutrašnjih prostora direktno je uticala na različite volumene prostorija.

<sup>110</sup> (Mallgrave, 2005, str. 558-560)

<sup>111</sup> Pojam *Raumplan* potiče od Hajnrih Kulke (Heinrich Kulka), Losovog učenika koji je skovao taj termin pripremajući monografiju o A. Losu 1930. godine. Bukvalni prevod pojma *Raumplan* je prostorni plan. Koliko je poznato, Los nikad nije upotrebljavao taj termin.

<sup>112</sup> „Dobra konstrukcija nacrtana na ravnoj površi papira ne ostavlja nikakav utisak. Najviše sam ponosan na činjenicu da se enterijeri koje sam ja stvorio potpuno ne efektni kad se fotografišu, i da stanovnici mojih kuća ne mogu prepoznati enterijere sopstvenih kuća na fotografijama“. Losov citat preuzet iz knjige: *Raumplan versus Plan Libre: Adolf Loos and Le Corbusier, 1919 - 1930* (Risselada ed., 1989, str. 8)

Adolf Los je prepoznat 20-tih godina kao začetnik novih ideja i pravaca u arhitekturi<sup>113</sup>. U periodu između dva svetska rata, u arhitekturi se simultano pojavilo više različitih koncepcija prostora. Pojedini pripadnici arhitektonske avangarde istraživali su mogućnosti koje su pružale nove koncepcije prostora nastale pod uticajima otkrića neuklidske geometrije i relativističke fizike. Direktni uticaj tih koncepcija biće detaljno opisan u sledećem poglavlju. Istovremeno, velik broj arhitekata moderne, prihvatili su pojedine premise novih teorija i integrišući ih, ali i zadržavajući ideju da je struktura opažajnog, egzistencionalnog prostora- euklidska. Jedna od premissa bila je vezana za ideju sagledavanja prostora u funkciji vremena i bila je opšte prihvaćena u krugovima arhitektonske avangarde. Kartezijanski način mišljenja o prostoru i njegovoj reprezentaciji je kod jednog broja arhitekata ostao prevlađujući iako su bile prihvaćene ideje sagledavanja prostora kretanjem. U umetničkom opusu Le Korbizjea mogu se prepoznati uticaji novih ideja o prostoru<sup>114</sup> ali i očuvan pristup instrumentalizaciji ideje kartezijanskog prostora. U svom manifestu "Ka pravoj arhitekturi" Le Korbizje iznosi niz postulata oslanjajući se na kartezijansku logiku struktuiranja prostora, koju su prepoznali arhitekta prethodnih epoha (slika 44). Za Le Korbizjea *plan je začetnik*<sup>115</sup>, generator forme kao i za Dirana jedan vek ranije<sup>116</sup>. Odnos prema primarnim geometrijskim oblicima i načinu na koji se oni opažaju je gotovo identičan sa onim koje Etjen Lui Bule iznosi u svom "Eseju o umetnosti"<sup>117</sup> (slika 45). Najzad, u Le Korbizijeovim idejama može se uočiti kontinuitet



slika 44

Le Korbizijeova skica Vile Adriane u Rimu u knjizi "Ka pravoj arhitekturi". Le Korbizje je često skicama povezivao plan i perspektivu. Za njega je plan generator forme.



slika 45

Le Korbizijeova skica u knjizi "Ka pravoj arhitekturi". Le Korbizje, kao i Bule je smatrao da volumeni primarnih geometrijskih tela "fiziološki deluju na naša čula". Prema Le Korbizjeu, uzvišenost i lepota antičkih objekata potiče od međusobnog sklopa primarnih geometrijskih tela koji čine skladnu kompoziciju.

<sup>113</sup> Le Korbizje prepoznaje Losa kao začetnika „novog duha“ u arhitekturi. Losov esej „Ornament i zločin“, bio je preveden na francuski i objavljen u drugom broju časopisa *L'Esprit Nouveau*, 1921. godine. O međusobnim uticajima A. Losa i Le Korbizjea detaljnije videti: (Risselada ed., 1989, str. 19-26)

<sup>114</sup> O uticaju prostor-vremenske koncepcije na Le Korbizjeov rad, videti sledeće poglavlje.

<sup>115</sup> (Le Corbusier, 1923, str. 35)

<sup>116</sup> (Durand, 1819, str. 82-88)

<sup>117</sup> „Te prvobitne ili prefinjene forme, gipke ili surove, deluju fiziološki na naša čula (lopta, kocka, valjak, horizontala, vertikalna, povijena linija itd.) i potresaju ih. (Le Corbusier, 1923, str. 8) Uporediti Korbizjeov citat sa Buleovim citatima prethodno iznetim u ovom poglavlju.



razvoja ideje o arhitektonskom prostoru, zasnovanom na *Bekleidung* i *Raum* koncepcijama nemačkih teoretičara. Za Korbizjea, *zgrada je kao mehur sapunice*<sup>118</sup>, zidovi su samo opna koja deli spoljašnji i unutrašnji prostor- *Spoljašnje je uvek odraz nečeg unutrašnjeg*<sup>119</sup>. Pomenute ideje imale su širok uticaj na arhitektonsku praksu XX veka. Moderna arhitektura prepoznata je kompozicija volumena sačinjena od primarnih geometrijskih formi, a generisanje forme iz plana bilo je u saglasnosti sa funkcionalističkim pristupom projektovanja.

Uprkos novim koncepcijama prostora koje su se pojavile u arhitekturi XX veka, ideja kartezijanskog prostora ostala je dominantna. Razlog tome zasnovan je na činjenici da kartezijanska struktura prostora i njena veza sa analitičkom geometrijom omogućuje da se opiše konkretan, realan prostor ljudskih aktivnosti. Geometrijska reprezentacija prostora zadržala je kartezijansku logiku, te je ona korištena kao osnov za vizualizovanje kompleksnih geometrijskih problema. Nove ideje geometrijskog prostora nastavile su da se razvijaju uporedo sa koncepcijom kartezijanskog prostora, o čemu će biti više reči u poglavljima koje slede.

---

<sup>118</sup> (Le Corbusier, 1923, str. 146)

<sup>119</sup> (Le Corbusier, 1923, str. 154)

## 2.4. Koncept neeuklidskih i višedimenzionalnih prostora

Geometrijski sistem zasnovan na Euklidskim principima postojao je u nepromenjenom obliku više od dva milenijuma. Grčki matematičar iz Aleksandrije, Euklid, tvorac je prve sistematične diskusije o geometriji koja je bila publikovana u knjizi "Elementi". Euklidovi *Elementi*, napisani oko 300. godine pre nove ere, jedna je najuticajnijih knjiga ikada napisanih<sup>120</sup>. Procenjeno je da su *Elementi* sa četvorocifrenim brojem izdanja na drugom mestu posle Biblije. Sama knjiga napisana je u 13. tomova u kojem je bilo sažet veliki deo saznanja o matematici antičkog sveta. Knjiga je imala veliki uticaj na mnoge naučnike i filozofe vekovima nakon prvog izdanja knjige. Kopernik, Galilej, Kepler i Njutn primenili su saznanja iz ove knjige u svom naučnom radu, a filozofi poput Baruh Spinoze (Baruch Spinoza) ili Imanuel Kanta (Immanuel Kant) pokušali su da utemelje svoje "elemente" prihvatajući aksiomatizovanu deduktivnu strukturu, oslanjajući se na Euklidove postulate.

U Euklidovoj prvoj knjizi je definisano 23 različita pojma poput tačke, prave ili ravni, zajedno sa 5 postulata i 5 opštih pojmova. Dok su se Euklidovi opšti pojmovi, definicije i prva četiri postulata činili jasni, intuitivni i trivijalni, peti postulat je tokom istorije izazivao brojne polemike. Euklidov peti postulat implicira na paralelizam pravih, iz kojeg proizilazi zaključak da se kroz jednu datu tačku može povući samo jedna prava paralelna datoj pravi<sup>121</sup>. Euklidov peti postulat bio je zagonетка za matematičare vekovima pokušavajući da dokažu istinitost tvrdnje. Do početka XIX veka, mnogi matematičari su bezuspešno pokušavali da dokažu ovaj aksiom. Napori da se dokaže antička tvrdnja, dovela je do novih revolucionarnih otkrića u geometriji u XIX veku.

Otkriće neeuklidske geometrije vezuje se za imena dva matematičara Janoš Boljaja (János Bolyai) i Nikolaj Ivanovič Lobačevskog (Николай Иванович Лобачевский). Krajem 20-tih godina XIX veka Boljai i Lobachevsky su skoro istovremeno nezavisno publikovali radove u kojima su dali prve primere neeuklidske geometrije, za koje ne važi Euklidov peti postulat. Nova koncepcija geometrije Boljai-Lobačevskog zamenila je tezu petog Euklidovog postulata. Jedan od osnovnih postulata nove, hiperboličke geometrije je da kroz jednu tačku prolazi barem dve prave paralelne sa datom pravom. Neeuklidska geometrija ostala je marginalni aspekt geometrije sve dok nije postala inkorporirana kao integralni deo matematike nakon opštih teorija geometrije Bernard Rimana. Riman je predstavio svoju disertaciju „O hipotezama i osnovi geometrije“ (*Über die Hypothesen welche der Geometrie zu Grunde liegen*) u kojoj je predstavljena globalna vizija geometrije koja je stvorila osnov za varijacije različitih tipova prostora, euklidskih ili neeuklidskih, sa različitim brojem dimenzija većim ili jednakim od tri. Riman je svoje otkriće izneo javnosti na čuvenom predavanju 1854. godine, u kojima je uzimao poziciju tačke u odnosu na bilo koji broj koordinata. Na taj način bila su otvorena vrata za istraživanje problema

---

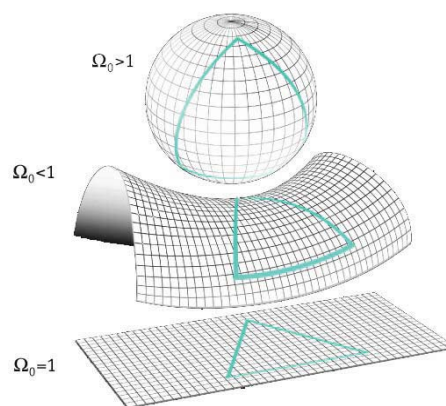
<sup>120</sup> (Boyer, 1991, str. 119)

<sup>121</sup> Originalan prevod petog postulata glasi: *ako jedna prava u preseku sa drugim dvema obrazuje sa iste strane dva unutrašnja ugla čiji je zbir manji od dva prava ugla, te dve prave, beskrajno produžene, seći će se i to sa strane sa koje su ovi uglovi manji od dva prava*. Za razliku od ostalih Euklidovih postulata čija je formulacija bila jednostavna i kratka, peti postulat je u svojoj formi krio jednostavnu geometrijsku činjenicu o paralelizmu dve prave. Iskaz da *Kroz tačku van prave postoji samo jedna prava paralelna s tom pravom*, poznat je još pod nazivom Plejferov aksiom imenovan po škotskom matematičaru koji ga je na taj način preformulisao.

mногоstrukosti u matematici i višedimenzionalnih prostora. U svom izlaganju postavio je temelje nove, Rimanove geometrije koju karakteriše neograničeni ali konačni prostor. Rimanov novi prostor (eliptični prostor) bio je pozitivno zakrivljen, zbog čega nije mogao biti beskonačan. U takvom prostoru zbog pozitivne zakrivljenosti, zbir uglova u trouglu koji leži u ravni, iznosio bi više od  $180^\circ$ . Rimanov rad je prvi put publikovan tek 1867. godine, a Feliks Klajn 1872. godine u svom čuvenom manifestu poznatom kao Erlangen program, definiše geometriju kao nauku o osobinama figura koje imaju invarijantni karakter u odnosu na određenu grupu transformacija. Kao rezultat, svaka grupa transformacija postaje kodifikacija za različite tipove geometrija, odakle je proizilazilo da je trodimenzionalni euklidski prostor samo jedna od brojnih vrsta prostora.

### 2.4.1. Pojam neeuklidskog prostora

Neeuklidska geometrija u matematici razlikuje se od euklidske u odnosu na formulaciju petog Euklidovog postulata. Pod pojmom neeuklidskog prostora podrazumeva se onaj apstraktni model prostora kod kojeg ne važi Euklidov peti postulat. Jedan od načina pomoću kojeg bi mogla da se opiše razlika između euklidskog i neeuklidskog prostora je posmatranje dve prave u datoj ravni upravne na datu duž. Dve prave u euklidskom prostoru će u beskonačnosti ostati međusobno paralelne, dok će u neeuklidskom prostoru one međusobno konvergirati ili divergirati (slika 46). U zavisnosti od njihove međusobne zakrivljenosti postoje dva tipa neeuklidskih prostora: parabolički i eliptični<sup>122</sup>. Eliptični prostor je pozitivno zakrivljen i najjednostavniji model eliptične geometrije je sfera. Princip mnogostrukosti<sup>123</sup> i eliptični prostor je jednostavno opisati primerom zemljine kugle. Posmatrajući distance koje ne prelaze par kilometara, na površini zemljine kugle važe principi euklidske geometrije u kome je na primer, moguće konstruisati trougao u kome je zbir uglova  $180^\circ$ . Posmatrajući problem u odnosu na “velike” distance, trougao na zemljinoj sferi koji se konstruiše pomoću uporednika i meridijana imaće veći zbir uglova od  $180^\circ$  (slika 47).



slika 46

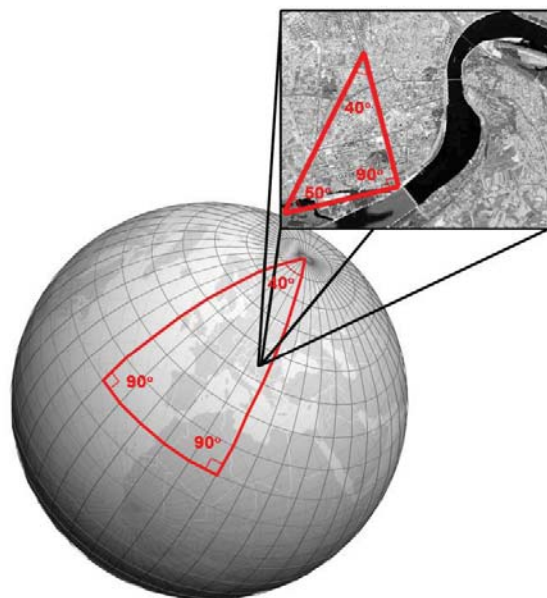
Oblik trougla i pripadajuća ravan u zavisnosti od zakrivljenosti prostora. Od gore ka dole: eliptični, hiperbolički i euklidski prostor. Grafički redizajnirana slika je preuzeta sa sajta NASA-e, gde ilustruje različite geometrijske modele univerzuma.

<sup>122</sup> Postoje i drugi matematički modeli u kojima ne važi Euklidov peti postulat, kao što je Dehnova ravan.

<sup>123</sup> U matematici pojam mnogostrukosti se može definisati kao apstraktan matematički prostor u kome svaka tačka ima okolinu koja je homeomorfna u euklidskom prostoru, ali na globalnom nivou može biti različita. Broj mnogostrukosti je dimenzija euklidskog prostora.

Boljai i Lobačevski su krajem 20-tih godina XIX veka zajedno došli do otkrića hiperboličke geometrije koji podrazumeva negativno zakrivljen prostor. I pored napora Lobačevskog, Gausa (C.F. Gauss) i Boljaija da pronađu analogan model koji bi opisao hiperbolički prostor, rešenje je usledilo tek nakon njihove smrti. Prvi model hiperboličkog prostora ponudio je Eugenio Beltrami (Eugenio Beltrami) 1868. godine, prikazavši površ pseudosfere koja ima odgovarajuću zakrivljenost za modelovanje dela hiperboličkog prostora. Iste godine nastali su i drugi modeli: Klajnov model, Poenkareov disk model i Poenkareov poluravanski model koji su tačnije opisivali model hiperboličkog prostora grafički reprezentovan u euklidskom prostoru.

Neeuklidski modeli zakrivljenosti prostora imaju veoma važnu ulogu u fizičkoj kosmologiji u nastojanjima da se pronadje adekvatni model za oblik univerzuma. Rimanova misao da „važnost neeuklidske geometrije leži u mogućnosti da nas oslobodi od predubeđenja u pripremama za vreme kada će istraživanja u fizici možda zahtevati neku drugu geometriju koja nije euklidska“<sup>124</sup>, se proročanski obistinila kada je Albert Ajnštajn (Albert Einstein) upotrebio diferencijalnu geometriju u objašnjenju prostor-vremena. Ajnštajn je u opštoj teoriji relativnosti opisao prostor kao generalno euklidski, ali eliptički zakrivljen u oblastima gde postoji materija i gravitacija.



slika 47

Zbir uglova u sfernom trouglu je različit od 180°. Kod trougla na površini Zemlje čije su dimenzije zanemarljivo male u odnosu na prečnik, zbir uglova trougla je vrlo blizu 180°. Sfera se može predstaviti kao skup dvodimenzionalnih mapa, pa je stoga sfera mnogostrukost i model eliptičnog prostora.

## 2.4.2. Pojam višedimenzionalnog euklidskog prostora

Višedimenzionalni prostor je onaj prostor koji ima više od tri prostorne dimenzije. Egzistencijalni prostor u kome živimo i percipiramo realnost, definisan je pomoću tri dimenzije, tri međusobno upravna pravca. Postojanje četvrte prostorne dimenzije podrazumeva još jedan pravac koji je upravna na postojeća tri: dužinu, širinu i visinu. Slično, n-dimenzionalni prostor ima n međusobno upravanih pravaca. Četvorodimenzionalni

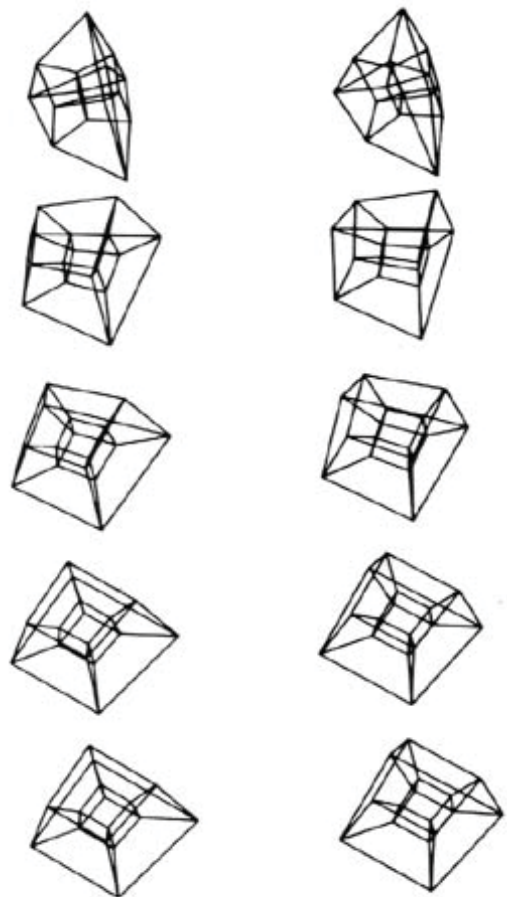
<sup>124</sup> Riemannova misao preuzeta iz *online* udžbenika matematike Timoti Pejla (Timothy Peil) sa Minnesota State University Moorhead. (Peil, 2005)

prostor pojavio se kao apstraktan matematički koncept pre više od 150. godina ali je značajan za nauku i umetnost početka XX veka.

Iako je ideja višedimenzionalnih prostora nastala u XIX veku, problem postojanja većeg broja dimenzija od tri, razmatran je vekovima ranije. Ptolemej je prvi „dokazao“ da ne postoji četvrta prostorna dimenzija. Razvitak algebre je prvi uticao na postavljanje pitanja da li postoji prostor sa više od tri dimenzije. Analogija eksponenata u algebarskim jednačinama, kvadrata i kuba, sa prostornim dimenzijama i figurama kvadrata postojala je od samog nastanka algebre, namećući pitanje dimenzionalne analogije, međutim postojanje eventualne četvrte dimenzije smatrano je da nije u skladu sa prirodom<sup>125</sup>.

Pretpostavlja se da je A.F. Mobius (A.F. Möbius) prvi matematičar koji je doprineo nastanku koncepta četvrte prostorne dimenzije, zaključivši da bi se dve simetrične figure mogle međusobno podudarati ako bi postojao prostor sa četiri dimenzije<sup>126</sup>. Artur Kejli (Arthur Cayley) je već 1846. godine počeo proučavati konfiguraciju tačaka u četvorodimenzionalnom prostoru, a Džejsms Silvester (James J. Sylvester) pet godina kasnije je raspravljao o tangentama i polarnim oblicima u n-dimenzionalnom prostoru. Rimanov rad iz 1854. godine je u ovom periodu ubedljivo najznačajniji, a krajem XIX veka broj radova o temi višedimenzionalnih prostora je dramatično povećavan<sup>127</sup>.

Jedan od prvih problema matematičara bila je reprezentacija geometrijskih tela četvorodimenzionalnog prostora. Problem reprezentacije četvorodimenzionalnog prostora je rešavan dimenzionalnom analogijom. Postojanje četvorodimenzionalnog prostora je moguće objasniti



slika 48

Frejmovi na kojima se vidi rotacija četvorodimenzionalne hiperkocke iz kompjuterski animiranog filma Majkl Nola (Michael Noll), 1962. godine. Kompjuterska grafika omogućila je najpribližniju reprezentaciju četvorodimenzionalnog tela

<sup>125</sup> (Banchoff, 1996)

<sup>126</sup> Ibid.

<sup>127</sup> D.M.I. Somervil (D. M. Y. Sommerville) je u svojoj knjizi *Bibliography of non-Euclidean Geometry* iz 1911. godine imao 1832 reference o n-dimenzionalnom prostoru. (O'Connor & Robertson, 2007)

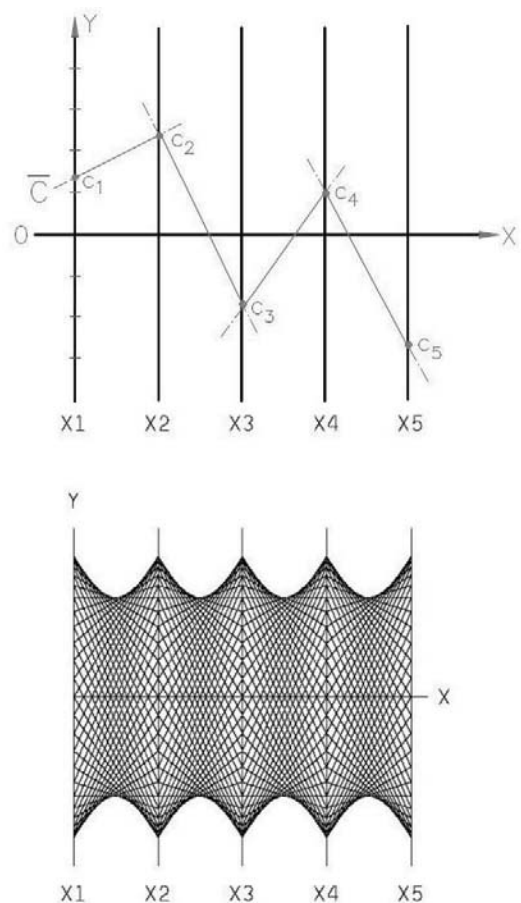


dimenzionalnom analogijom u odnosu na projiciranje *senke, konturu i sagledavanje*.

**Senka** koju baca trodimenzionalni predmet ima dvodimenzionalnu senku. U ravni, svetlost projicira jednodimenzionalnu senku, a u "jednodimenzionalnom svetu", svetlost pravi senku u tački. Slično u četvorodimenzionalnom prostoru senka koju pravi četvorodimenzionalni objekat je trodimenzionalna. Posmatrajući **konture** geometrijskih objekta, za opis dvodimenzionalnih tela, potrebna je linija koja ima jednu dimenziju. Kontura trodimenzionalnih tela je dvodimenzionalna površ, a kontura četvorodimenzionalnih tela je trodimenzionalni objekat. Dimenzionalna analogija ima najinteresantnije implikacije u odnosu na **sagledavanje**. Dok trodimenzionalna bića sagledavaju prostor dvodimenzionalno, hipotetičko četvorodimenzionalno biće može posmatrati trodimenzionalni objekat sa svih strana istovremeno, uključujući i unutrašnjost objekta. Dimenzionalna analogija u objašnjavanju prirode četvorodimenzionalnog prostora izazvala je brojne špekulacije i razvila maštu ljudi van naučnih krugova XIX veka, što je doprinelo popularizaciji ideje četvorodimenzionalnog prostora.

Jedan od prvih zadataka geometrijske reprezentacije četvorodimenzionalnog prostora, bila je vizualizacija polihorona, pravilnih 4D politopa. Moguće interpretacije hiperkočke i drugih 4D politopa pojavile su se u različitim matematičkim radovima već krajem XIX veka, ali je najpribližnija reprezentacija četvorodimenzionalnih tela postignuta tek u drugoj polovini XX veka primenom računarske grafike. Majkl Nol pravi 1962. godine prvu kompjutersku animaciju rotacije hiperkočke u trodimenzionalnom prostoru (slika 48).

Jedan od mogućih načina prikaza informacija višedimenzionalnih prostora je metoda paralelnih koordinata (slika 49). Za prikaz skupa tačaka u  $n$ -dimenzionalnom prostoru, koristi se koordinatni system sačinjen iz  $n$  vertikalnih paralelnih linija medjusobno



slika 49

Reprezentacija  $n$ -dimenzionalnog prostora metodom paralelnih koordinata. Gore, tačka  $C$  ( $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ ), a dole hipersfera u 5-dimenzionalnom prostoru.

jednako udaljenih. Tačka u  $n$ -dimenzionalnom prostoru predstavljena je kao poliliniya čija se temena nalaze na paralelnim osama. Pozicija tačke na  $i$ -toj osi odgovara  $i$ -toj koordinati te tačke<sup>128</sup>. Paralelni koordinatni sistem izumeo je Moris d'Okanj (Maurice d'Ocagne) 1885. godine, ali se tek u drugoj polovini XX veka počinje intenzivnije primenjivati. Neznajući za d'Okanjovo otkrice, Alfred Inzelberg (Alfred Inselberg) 1959. godine "ponovo otkriva" i popularizuje ovaj metod prikazivanja geometrijskih objekata u  $n$ -dimenzionalnom prostoru. Metod paralaleni koordinata našao je širu primenu od kojih je jedna od značajnijih algoritam za izbegavanje sudara u kontroli vazdušnog saobraćaja. Značaj ovog metoda u smislu geometrijske reprezentacije prostora ogleda se u činjenici da sistem paralelnih koordinata nudi novu logiku i "način čitanja" podataka o geometrijskim oblicima u odnosu na standardni tip prikazivanja geometrijskih entiteta putem Monžovih projekcija.

### 2.4.3. Pojam višedimenzionalnog prostor-vremena

Koncept prostor-vremena kombinuje tri prostorne dimenzije zajedno sa vremenom u jedinstveni koordinatni sistem, u kojem se može locirati *kada* i *gde* se desio određeni događaj. U fizici, prostor-vreme je bilo koji matematički model koji kombinuje prostor i vreme u jedan entitet, prostor-vremenski kontinuum. Koncept prostor-vremena je veoma značajan za fizičare pošto je pomoću nje generalizovan princip koji se istovremeno može implicirati u kvantnoj mehanici, klasičnoj fizici i kosmološkoj fizici.

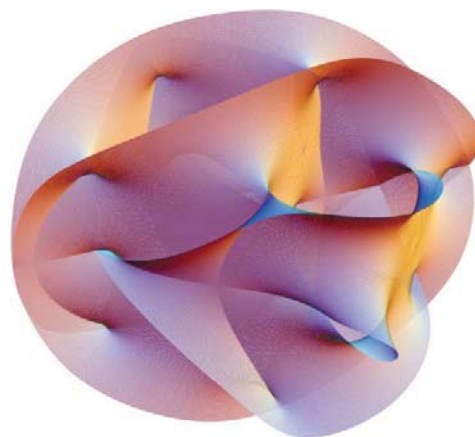
Prvi publikovani rad koji je predlagao singularitet prostora i vremena bio je esej "Eureka" iz 1848. godine čuvenog pisca Edgar Alan Poa (Edgar Allan Poe). U svom eseju i filozofskoj raspravi o kosmološkim fenomenima Edgar Alan Po dolazi do zaključka da su "prostor i trajanje jedno". Herman Minkovski (Herman Minkowski) je prvi matematičar koji je predložio

---

<sup>128</sup> (Inselberg, 2004)

koncept prostor-vremena, uočivši da se Ajnštajnova specijalna teorija relativnosti nastala 1905. godine može pomoću takvog apstraktnog matematičkog modela elegantno opisati. Minkovski u svom radu iz 1907. godine, posmatra vreme kao četvrtu dimenziju, a model prostor-vreme postaje poznat i kao prostor Minkovskog. Ideja Minkovskog prostora imala je uticaja na nastanak Ajnštajnovе opšte teorije relativnosti koja je prvi put objavljena 1916. godine. Ajnštajnovе teorije relativnosti napravile su prekretnicu u modernoj fizici, oslanjajući se na novu koncepciju prostor-vremena koji mogu biti zakrivljeni pod uticajem gravitacionog dejstva nekog tela.

Težnja da se objedini opšta teorija relativnosti sa teorijama magnetizma uticalo je na stvaranje Kaluca-Klajn teorije. Za objašnjenje teorije koju je prvi put objavio Teodor Kaluca (Theodor Kaluza) 1921. godine, upotrebljen je model petodimenzionalnog prostor-vremena. Krajem XX veka, savremena istraživanja teorijske fizike nude nove apstraktne modele prostor-vremena, pokušavajući da objedine više različitih teorija u jednu univerzalnu teoriju - *Teoriju svega* (Theory of Everything). Teorije stringova zauzimaju najznačajnije mesto u rešavanju problema *Teorije svega*. Različite teorije stringova podrazumevaju matematičke modele prostor-vremena koje imaju 10, 11 ili čak 26 dimenzija (slika 50).



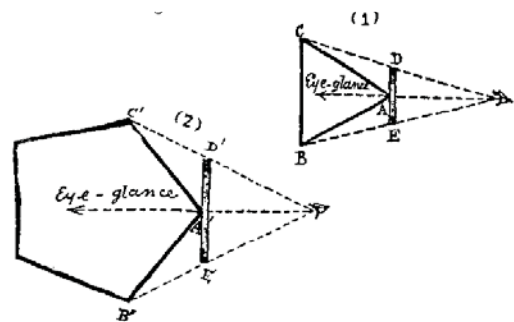
slika 50

Apstraktan model Calabi-Yau mnogostrukosti koji se koristi u teoriji superstringova. U teoriji superstringova, dodatne dimenzije prostor-vremena zasnovane su na šestodimenzionalnoj *Calabi-Yau* mnogostrukosti

#### **2.4.4. Ideja o neeuclidskim i višedimenzionalnim prostorima u širim kulturnim okvirima**

Nakon posthumnog publikovanja Rimanovog revolucionarnog dela „O hipotezama i osnovi geometrije“ 1867. godine, javili su se brojni radovi iz matematike koji su se bavili modelima neeuclidskih i višedimenzionalnih prostora. Pokušaji da se objasne nova otkrića geometrije koja su se sukobljavala sa uobičajenim shvatanjem i doživljajem prostora u kome živimo, probudile su veliko interesovanje, znatiželju i maštu javnosti van naučnih krugova.

Najveću pažnju široj javnosti privukle su ideje o četvorodimenzionalnom prostoru. Za popularizaciju ideje četvorodimenzionalnog prostora i relativizaciju koncepcije prostora u nenaučnim krugovima, jednu od najznačajnijih uloga imala je knjiga „Flatland: Romansa u više dimenzija“ (*Flatland: A Romance of Meny Dimensions*) matematičara i teologa Edwin A. Abota (Edwin A. Abbott). Knjigu je autor prvi put objavio anonimno 1884. godine i vrlo brzo postala jedna od najprodavanijih knjiga<sup>129</sup>. U knjizi se govori o stanovnicima imaginarne zemlje Flatland, u kojoj postoje samo dve dimenzije, te je stoga priroda stvari i percepcija takvog sveta drugačija od naše, ljudske realnosti. Linije kvadrati, trouglovi, mnogouglovi su stanovnici te zemlje, koji žive i slobodno se kreću u jednoj ravni, ali bez mogućnosti kretanja iznad ili ispod ravni svoje zemlje. Zbog prirode takvog dvodimenzionalnog sveta, stanovnici *Flatlanda*, vide svet oko sebe i druge stanovnike kao linije, nemajući predstavu o postojanju treće dimenzije, niti trodimenzionalnih geometrijskih figura (slika 51). Zaplet nastaje kada se sfera iz trodimenzionalnog sveta susreće sa kvadratom, naratorom priče, i pomaže mu da na momenat napusti ravan *Flatland* (slika 52). Tada kvadrat spoznaje drugačiju prirodu svog sveta, doživljavajući ga na način na koji bi se neko biće iz trodimenzionalnog sveta osećalo kada bi prešlo u četvorodimenzionalni svet<sup>130</sup>.

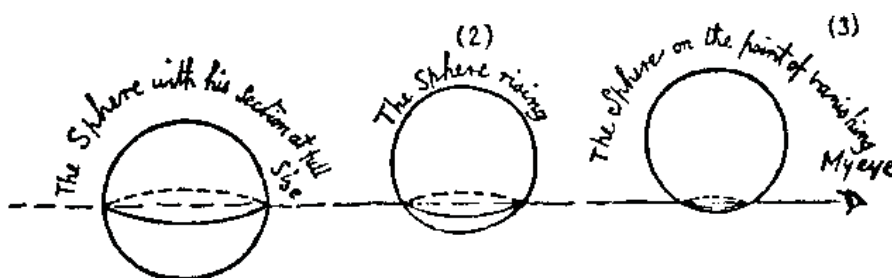


slika 51

Originalna ilustracija iz Abotove knjige *Flatland*. Autor objašnjava način na koji dvodimenzionalna bića u zemlji *Flatland* vide svoje sugrađane i svet oko sebe jednodimenzionalno- kao linije

slika 52

Originalna ilustracija iz Abotove knjige *Flatland*. Autor ilustracijom objašnjava ključni momenat u knjizi kada se pojavljuje sfera pred očima kvadrata, najpre kao tačka a zatim kao krug kome se menja veličina prečnika u zavisnosti od preseka sa ravni zemlje *Flatland*.

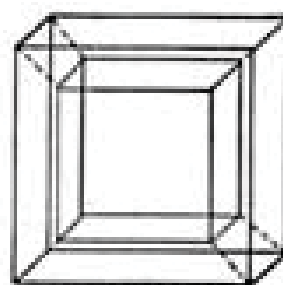
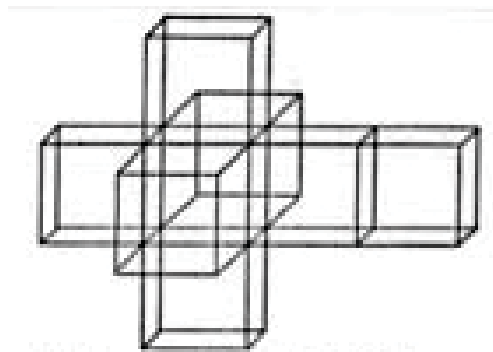


<sup>129</sup> Knjiga *Flatland* je postala jedna od najuticajnijih naučno-fantastičnih knjiga. Publikovano je nekoliko knjiga i priča pod uticajem *Flatlanda*, snimljeno je nekoliko kratkometražnih i dugometražnih filmova od kojih je poslednji nastao 2007. godine. Pojavile su se dve "role-playing" igre bazirane na priči iz pomenute knjige. U pozadini satirične novele *Flatland* krila se kritika tadašnjeg viktorijanskog društva u Engleskoj, zbog čega se autor u prvom izdanju potpisao pod pseudonimom.

<sup>130</sup> Originalan tekst drugog izdanja *Flatlanda* iz 1884. godine može se preuzeti iz elektronske biblioteke na adresi: <http://www.ibiblio.org/eldritch/eaa/FL.HTM>

Abot je bio upoznat sa novim stavovima o prostoru u geometriji koji su postojali u krugovima matematičara druge polovine XIX veka. U vreme kad je izdata Abotova knjiga već je postojalo nekoliko tekstova i knjiga koje su se bavile četvorodimenzionalnim prostorom. Švajcarski matematičar Ludvig Šlefli (Ludwig Schläfli) je jedan od prvih koji objavljuje tekst o n-dimenzionalnim telima. Kapitalno delo koje je Ludvig Šlefli napisao 1850. godine, objavljeno je fragmentarno 1860. a tek je prvi put u celosti publikovano, 1901. godine u kome su prikazani 4D politopi, pravilne geometrijske figure četvorodimenzionalnog prostora. Rad Ludvig Šleflija ostao je relativno nepoznat te je deo zasluga nezasluženo pripao američkom matematičaru Vilijam Stringamu (William Stringham) koji je prvi objavio slike pravilnih četvorodimenzionalnih geometrijskih figura u časopisu "American Journal of Mathematics".

Abotova satira *Flatland* je prvo umetničko delo namenjeno širem kulturnom mnjenju u kojoj se pojaviljuje četvorodimenzionalna kocka ili hiperkocka i n-dimenzionalni prostori. Stringamova vizualizacija četvorodimenzionalnih geometrijskih tela i Abotova knjiga odigrala je veliku ulogu u širenju i popularizaciji pojmova i koncepcije četvorodimenzionalnog euklidskog prostora van krugova naučnika i matematičara. *Flatland* se nakon prvog izdanja 1884. godine pa do 1915. godine pojavio još devet puta u štampi, a kako Linda Henderson<sup>131</sup> primećuje, Stringamov članak je imao ogroman uticaj na američkom kontinentu. Prve decenije XX veka, pojavili su se brojni tekstovi na temu četvorodimenzionalnog prostora i u popularnim časopisima a 1909. godine je čak bio raspisan međunarodni konkurs za „Najbolje objašnjenje četvrte dimenzije“ na koji je pristiglo 245. radova iz čitavog sveta.



slika 53

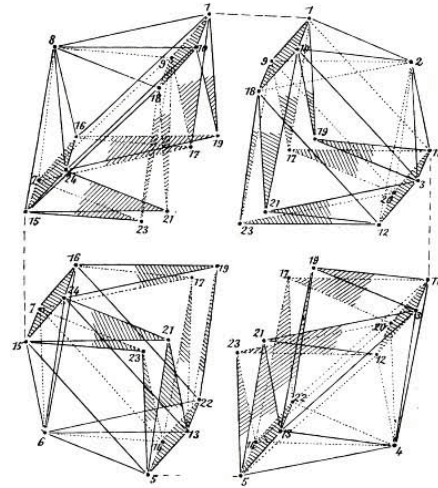
Od brojnih prikaza 4D politopa, crtež hiperkocke matematičara H.P. Maninga (H.P. Manning) iz knjige *Geometry of Four Dimensions* (1914) postao je širom poznat i van naučnih krugova. Slika gore predstavlja omotač hiperkocke sačinjen od 8 kocki. Dole je prikazana jedna od mogućih projekcija hiperkocke.

<sup>131</sup> Detaljnije videti u knjizi Linda D. Henderson, *The fourth dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*, Cambridge MA, Leonardo, 1984. Pomenuta knjiga istražuje na koji način su nove prostorne geometrijske koncepcije u matematici uticale na avangardne pokrete, naročito na kubizam i futurizam.



Naučna objašnjenja koja su dimenzionalnom analogijom objašnjavala mogućnost postojanja četvorodimenzionalnih objekata koji se mogu pojavljivati i nestajati u trodimenzionalnom svetu, kao i sagledavati ga sa svih strana istovremeno, probudilo je ogroman broj špekulacija. Ideje višedimenzionalnog prostora implicirane u brojne društvene fenomene uticale su na filozofiju, teologiju, politiku i umetnost krajem XIX i početkom XX veka. Nove teološke doktrine pod uticajem ideje četvorodimenzionalnog prostora promovisao je A.T. Šofild (A.T. Schofield) u svojoj knjizi "Drugi svet ili četvrta dimenzija" (*Another World Or The Fourth Dimension*) iz 1888. godine. Šofild posmatra četvrtu dimenziju nedokučivu za trodimenzionalna ljudska bića, u kontekstu nematerijalnog, božanskog. Teolog Artur Vilink (Arthur Willink) preuzima ideju i ide korak dalje tvrdeći da bog egzistira u beskonačno-dimenzionalnom prostoru<sup>132</sup>. Jedinstveni slučaj uticaja ideje četvorodimenzionalnog prostora na političku ideologiju dogodio se u Rusiji početkom XX veka. Nakon što je ruski car Nikolaj II brutalno ugušio revoluciju 1905. godine, u okviru Boljševičke partije razvila se frakcija poznata pod nazivom Ocovisti<sup>133</sup>. Oni su smatrali da seljački narod nije spreman za socijalizam i da im se socijalistička ideologija može predočiti kroz religiju i duhovnost u koje je bila protkana ideja četvorodimenzionalnog prostora<sup>134</sup>. Ocovisti su svoje jeretičko viđenje kosmoloških dogmi preuzeli iz radova nemačkog fizičara i filozofa E. Maha (E. Mach), koji je pisao o tadašnjim naučnim otkrićima, a naročito o ideji četvrte dimenzije.

Na širenje novih ideja i prostornih koncepcija u avangardnim umetničkim pokretima sa početka XX veka



slika 54

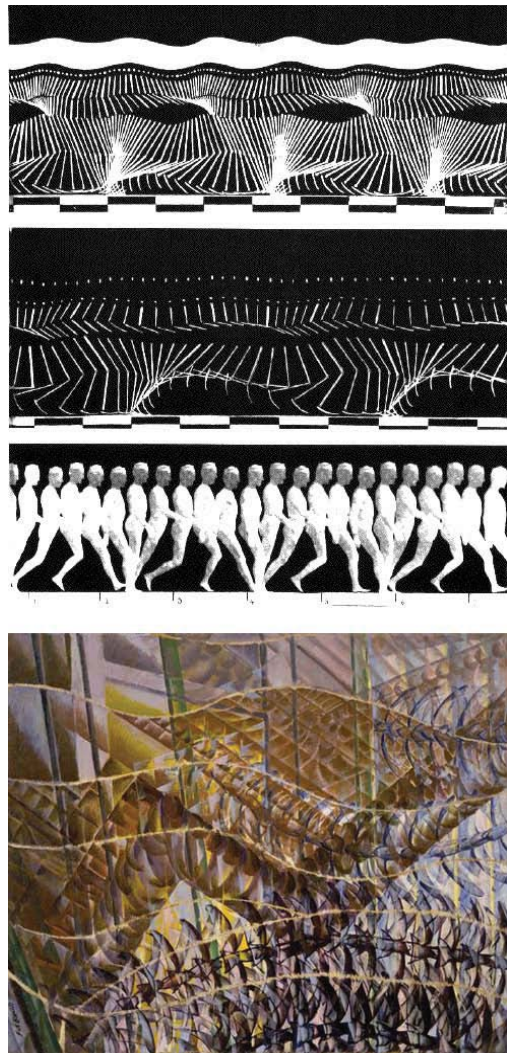
Gore: Aksonometrijski prikaz politopa iz knjige Espri Žufrea, koja je bila poznata i uticajna u krugovima slikara kubista. Dole: slika Picsoa-portret *Ambroise Vollarda* (1910)

<sup>132</sup> Detaljnije videti u Arthur Willink, *The World of the Unseen: An Essay on th* New York, MacMillan

<sup>133</sup> Ocovista je u prevodu „božiji graditelj“. (Lenin, 1909)

<sup>134</sup> (Kaku, 1994, str. 66-67)

u Evropi je u velikoj meri uticala knjiga E. Žufrea (E. Jouffret) *Traité élémentaire de géométrie à quatre dimensions* (1903) koja počinje analogijom između različitih tipova prostora, citirajući Flatland. Marsel Dušamp (Marcel Duchamp) kao i još nekoliko slikara-kubista znali su za pomenutu knjigu francuskog matematičara u kojoj su opisane različiti tipovi projekcija četvorodimenzionalnih objekata na dvodimenzionalni crtež. Značajne podudarnosti se mogu uočiti između crteža E. Žufrea i Pikasove slike *Portret Ambroise Vollarda* iz 1910. godine (slika 54). Četvorodimenzionalni prostor-vreme je u umetnosti doživela procvat nekoliko godina nakon Ajnštajnovе specijalne teorije relativnosti. Dok su kubisti četvrtu dimenziju razmatrali kao prostornu<sup>135</sup>, za futuriste je vreme bila četvrta dimenzija. Interpretaciju prostor-vremena u futurizmu najbolje opisuje Umberto Bočoni (Umberto Boccioni) 1913. godine u svom manifestu *Dinamismo Plastico*: “Umesto zastarelog koncepta konturnog definisanja tela, umesto modernog koncepta impresionista sa fragmentacijom i ponavljanjem, grube indikacije slike, mi bi zamenili sa konceptom dinamičnog kontinuiteta kao jedinstvene forme. I nije slučajno što ja kažem forma a ne linija, pošto je dinamična forma vid četvrte dimenzije u slikarstvu i skulpturi, koja nemože savršeno egzistirati bez kompletne afirmacije tri dimenzije koju determiniše volumen”<sup>136</sup>. Konceptu prostor-vremena u umetnosti prethodilo je revolucionarno otkriće hronofotografije i prikazivanju kretanja tela u prostoru. Francuski naučnik i fotograf Etjen-Žil Marej (Étienne-Jules Marey) je 80-tih godina XIX veka za proučavanje kretanja životinja i ljudi prvi upotrebio tehniku snimanja više sekvenci pokreta u jednu fotografiju (slika 55). Kao rezultat, na jednoj fotografiji mogli su se videti različiti položaji tela kao i njihove trajektorije kretanja. Formalni jezik Marejeve



slika 55

Gore: Etjen-Žil Marej, *hromofotografska studija ljudskog kretanja* 1886.

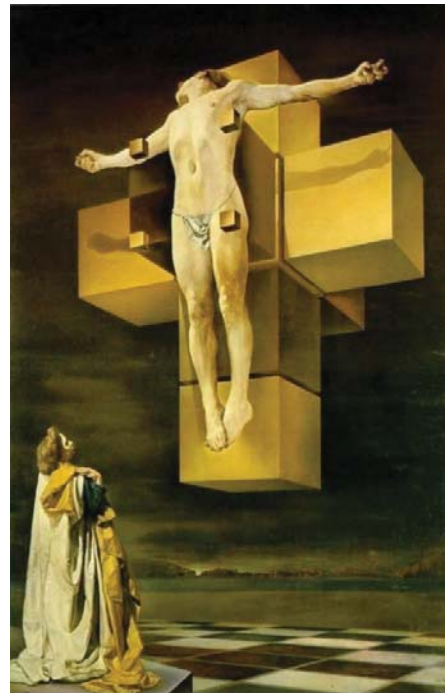
Dole: Đakomo Bala (Giacomo Balla) 1912. *putanje kretanja-dinamičke sekvence*. Balina slika jasno ilustruje vezu formalnog jezika futurizma sa hronofotografskim istraživanjima sa kraja XIX veka.

<sup>135</sup> Iako pojedini istoričari umetnosti poput S. Gideona, smatraju da je i za futuriste i za kubiste ideja prostor-vremena bila primarna, ovde je prihvaćena teza L. D. Henderson da je za kubiste četvrta prostorna dimenzija bila od suštinskog značaja. Nastanak kubizma prethodio je ideji prostor-vremena Minkovskog (1908), a ideja simultanog posmatranje objekta iz više pravaca istovremeno je karakteristična i za kubizam i za objašnjenje višedimenzionalne percepcije dimenzionalnom analogijom.

<sup>136</sup> Autorov prevod teksta citiran iz: *Plastic Dynamism*, Boccioni, Umberto, 1913. u, *Futurist Manifestos*, ured. Apollonio, Umbro, str. 93.

geometrijske hronofotografije<sup>137</sup> preuzimaju u svojim slikama i skulpturama italijanski futuristi za realizaciju prostor-vremenske koncepcije (slika 55). Početkom 30-tih godina XX veka, sve više umetničkih pokreta zamenjuje četvrtu prostornu, sa vremenskom dimenzijom. Umetnik Šarl Sirato (Charles Sirato) piše Manifeste dimensioniste 1936. godine u Parizu, deklarirajući ideje prostora Minkovskog i njegove implikacije na umetnost tog perioda. Siratov manifest potpisali su vodeći umetnici tog vremena: Hans Arp (Hans Arp), Fransis Pikabia (Francis Picabia), Vasili Kandinski (Wassily Kandinsky), Marsel Dišan (Marcel Duchamp), Aleksandar Kalder (Alexander Calder), Žan Miro (Joan Miró), Laslo Moholi Nađ (László Moholy-Nagy)<sup>138</sup>.

Umetnički pravac nadrealizam svoje ideološke temelje postavio je na principima geometrije podsvesnog<sup>139</sup>: Frojdivog (S. Freud) tumačenja podsvesnog i neeuclidskoj geometriji. Frojd se bavio značenjem i povezanošću snova sa podsvesnim. Svoja istraživanja je objavio u knjizi "Interpretacija snova"<sup>140</sup>. Manifest nadrealizma koji Andre Breton (André Breton) objavljuje 1924. godine je pod velikim uticajem Frojdivog dela. Snovi i podsvest su nadrealistima bili važno polje ideja i uporište protiv racionalne logike i razuma. Gaston Bašlar (Gaston Bachelard) u svom eseju "Suracionalizam", (Surrationalism) kritikuje razum i logiku oslanjajući se na neeuclidsku geometriju i citirajući Lobačevskog. Breton i drugi nadrealisti prihvataju Bašlarovo mišljenje. Implementirane ideje u nadrealističku dokrinu najbolje reflektuju nazivi slika Iv Tangia (Yves Tanguy): Susret Paralela (Meeting of Parallels) i Maks Ernsta (Max Ernsta): Mladić intrigiran letom neeuclidске muve (Young Man Intrigued by the



slika 56

Gore: Motiv razvijene 4D hiperkocke na slici Salvador Dalia, *Corpus Hypercubicus*, 1954.

Dole: Serijal slika M.C.Ešera *Circle limit* koriste Poenkareov hiperbolički disk model.

<sup>137</sup> Etjen-Žil Marej je posmatrao hronofotografiju sa naučnog aspekta. Proučavajući geometrijske zakonitosti kretanja došao je do zaključka da je neophodno diskretizovati posmatranje na kontrolne tačke. Metod u kome tačkastim i linijskim elementima osvjetljava delove tela, Marej naziva geometrijska hronofotografija.

<sup>138</sup> (Henderson L. D., 1984, str. 206)

<sup>139</sup> Termin "geometrija podsvesnog" preuzet od Džona Kezisa (Kezys, 2005).

<sup>140</sup> Originalan naziv je *Die Traumdeutung* i publikovana je prvi put 1900. godine



Flight of a Non-Euclidean Fly)<sup>141</sup>. Direktnu vezu umetničkog stvaralaštva i neeuklidskih geometrijskih principa najbolje je ostvaren u radovima M.C. Ešera (M.C. Escher) koji koristi hiperbolički model neeuklidskog prostora, Poenkareov disk kao strukturu za dvodimenzionalni grafički šablon (slika 56).

Umetnički pokreti koji su se javili početkom XX veka su stvorili društvene uslove za arhitektae nakon prvog svetskog rata da dovedu u pitanje konvencionalni *Beaux-Artovski* pristup umetnosti, nudeći novu formulaciju prostora.

#### **2.4.5. Instrumentalizacija ideja o neeuklidskim i višedimenzionalnim prostorima u arhitekturi**

Relativističke i neeuklidske ideje prostora su imale snažan uticaj na avangardne arhitektonske pokrete prve polovine XX veka, ali su se implikacije u odnosu na teorijski diskurs pojavile u mnogo širem vremenskom periodu utičući i na savremene arhitektae. Uticaj novih ideja geometrijskog prostora na savremenu arhitekturu može se posmatrati iz dva različita aspekta. Prvi aspekt se odnosi na preispitivanje i pronalaženje novog metoda geometrijske reprezentacije, kao adekvatnog odgovora na relativizaciju koncepta prostora i vremena. Drugi aspekt ogleda se u implementiranju novih ideja o prostoru i njihov odraz na arhitektonsku praksu. Početkom XX veka sa pojavom kubizma, futurizma i metafizičkog slikarstava Đorđo de Kirikoa (Giorgio de Chirico) avangardni evropski umetnici tražili su nove načine prikazivanja prostora kritikujući homogeni prostor *Beaux-Artovskog* naučnog perspektivizma koji je težio identifikaciji realnosti i perspektive. Ovi rani umetnički pokreti su nakon prvog svetskog rata stvorili društvene uslove za arhitektae da dovedu u pitanje konvencionalni *Beaux-Artsov* pristup arhitektonskog prostora, nudeći drugačiju formulaciju. Aksonometrijski crtež javio se kao novi fenomen u domenu geometrijske reprezentacije prostora, istovremeno kao utilitarno

---

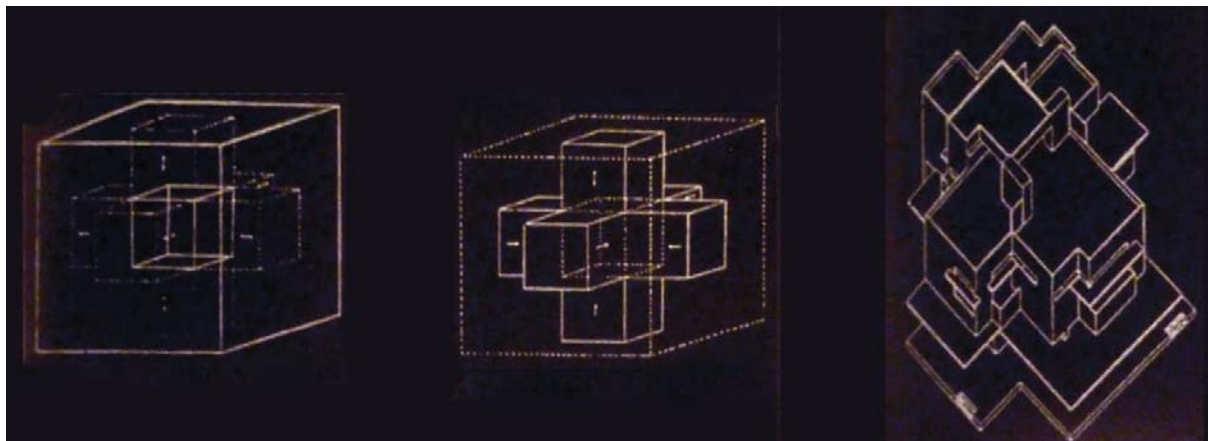
<sup>141</sup> (Henderson L. D., 1984, str. 207)

sredstvo grafičkog izražavanja i kao način za instrumentalizaciju novih ideja o prostoru.

Pojedini pripadnici arhitektonske avangarde poput Teo fan Duisburga (Theo van Doesburg), Kornelis fan Esterena (Cornelis van Eesteren) i El Lisickog (El Lissicky) su bili povezani sa krugovima matematičara i bili veoma upućeni u nove ideje o prostoru i geometriji. Avangardni pokret De Stajl (De Stijl) je od samog početka 1918. godine bio pod snažnim uticajem filozofije matematičara M.H.J. Šonmekersa (M.H.J. Schoenmaekers). U časopisu De Stajl u kome su promovisne ideje i manifest ovog pokreta, svoje radove publikovali su i veliki matematičari kao što je Anri Poenkare (Henri Poincaré), iznoseći nova otkrića o geometrijskom prostoru<sup>142</sup>. Jedan od lidera pokreta De Stajl, Teo fan Duisburg, pokazao je veliko interesovanje za problematiku četvorodimenzionalnosti, upotrebljavajući je pre kao konceptulani model nego metod reprezentacije. Teo fan Duisburg preuzima najpoznatiju verziju interpretacije hiperkocke koja je prvi put objavljena u knjizi *Geometry of Four Dimensions*<sup>143</sup> (1914), koristeći je istovremeno kao formalnu analogiju i filozofsku koncepciju.

slika 57

Teo fan Duisburgov i Kornelis fan Esterenov dizajn jednopordične kuće koncipiran na ideji hiperkocke. Objavljeno u *L'architecture vivante* 1925. godine.



Fan Duisburg i fan Esteren dalje kombinuju vizuelnu interpretaciju hiperkocke sa Ajnštajnovom koncepcijom

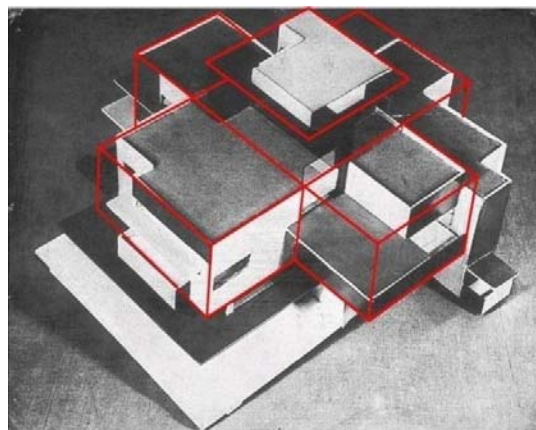
<sup>142</sup> (Emmer, 2004, str. 91)

<sup>143</sup> Videti sliku 8. Maningov model hiperkocke preuzima i Salvador Dali, koristeći je kao osnovni motiv na slici *Crucifixion* (Corpus Hypercubus) 1954. godine (slika 11, gore)



prostor-vremena projektujući kompozicije „centrifugalno od središta kocke“. Tačke 10. i 11. Duisburgovog manifesta *Ka plastičnoj arhitekturi* iz 1924. godine govore o koncepciji četvorodimenzionalnog prostor vremena na arhitekturu: „Nova arhitektura uzima u obzir ne samo prostor, već i vreme. Kroz jedinstvo prostora i vremena arhitektura će steći novi, plastični aspekt (aspekt četvorodimenzionalnog prostor-vremena) [...] Nova arhitektura je antikubistička, drugim rečima ona ne pokušava da blokira raznovrsne funkcionalne ćelije prostora u jednoj zatvorenoj kocki. Naprotiv, moglo bi da se kaže da ona razbacuje funkcionalne prostorne ćelije (kao i izbočene površine, balkonske volumene, i dr.) centrifugalno od središta kocke. Na taj način, visina, širina dubina i vreme (tj. imaginarna četvorodimenzionalna celina) dobijaju nov plastični izraz u slobodnom prostoru. Time arhitektura poprima više manje lebdeće obeležje koje se, takoreći, opire gravitacijskim silama prirode“<sup>144</sup> (slika 58).

Godinu dana pre objavljivanja manifesta 1923. godine Kornelis van Esteren i Teo van Duisburg izlažu svoje radove u Parizu u galeriji Leona Rosenberga pod naslovom *L'Effort moderne*. Na toj izložbi su već anticipirane ideje koje su zatim publikovane u manifestu. U planometrijskom crtežu<sup>145</sup> *kontra-konstrukcija*, središte je prazan prostor odakle se zatim centrifugalno šire horizontalne i vertikalne ravni kodirane primarnim bojama. Boja je konstruktivni element, koji definiše visinu, širinu i dubinu apstraktnih konstruktivnih elemenata. Kodiranje četvorodimenzionalnog prostora pomoću boja fan Duisburg preuzima od britanskog matematičara Čarls Huard Hinton (Charles Howard Hinton), autora knjige *The Fourth Dimension* (1904). u kojoj je na taj način



slika 58

Realizacija Desburgove koncepcije projektovanja funkcionalnih jedinica centrifugalno od središta kocke. Maketa jednorodnične kuće 1923. godina. Može se uočiti formalna analogija sa omotačom Maningove hiperkocke- uporediti sa slikama br. 53 i 57.

<sup>144</sup> (van Doesburg, 1924) Autorov slobodan prevod 10. i 11. tačke.

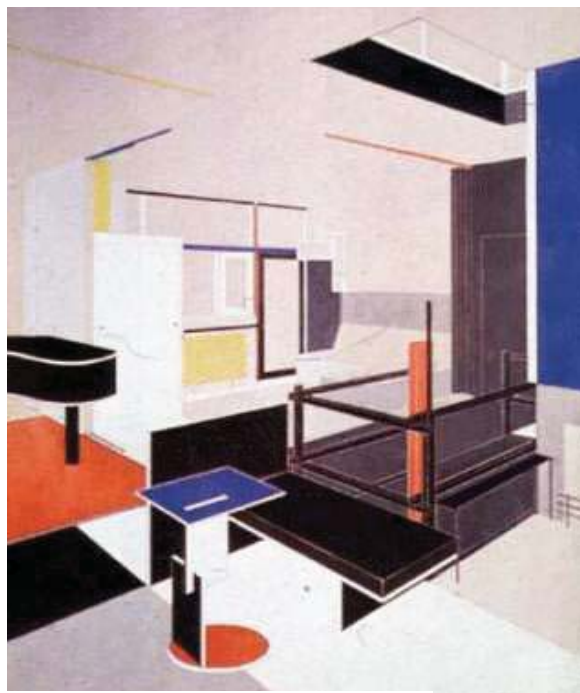
<sup>145</sup> Pojam planometrije odnosi se na vrstu aksonometrijskog prikaza u kojem se uglovi u horizontalnoj ravni vide u punoj veličini. Zbog takve osobine trodimenzionalna slika se jednostavno generiše iz plana, zbog čega je ova tehnika crtanja postala naročito popularna među arhitektama moderne.

vizuelno interpretirana hiperkocka<sup>146</sup>. Fan Duisburg čak daje naziv jednoj od kontra-konstrukcija naziv: Kolorna konstrukcija u četvorodimenzionalnom prostoru vremenu<sup>147</sup> (slika 59). Crteži koje je Teo fan Duisburg radio sa fan Esterenom objavljeni u časopisu *L'architecture Vivante* 1925. godine, jasno ukazuju na primenu ovog manifesta u crtežima projekta za kuću,<sup>148</sup> koja nažalost nikada nije izvedena (slika 57). Međutim, kuća *Schröder* (1924) arhitekta Gerit Ritvelda (Gerrit Rietveld) u velikoj meri anticipira ideje Duisburgovog manifesta: prostori su postavljene centrifugalno oko središta kuće, unutrašnji zidovi su fleksibilni, pokretni dinamični, prozorski paneli zajedno sa fasadnim elementima su u prepoznatljivim kolostičkim šemama De Stajla, formirajući kompozicije horizontalnih i vertikalnih ravni na sličan način kao u aksonometrijama fan Duisburga i fan Esterena (slika 60).



slika 59

Teo fan Desburg i Kornelis fan Esteren, Kontra-konstrukcija (1923).



slika 60

Crtež enterijera kuće *Schröder*, Gerit Ritveld, 1924. godine

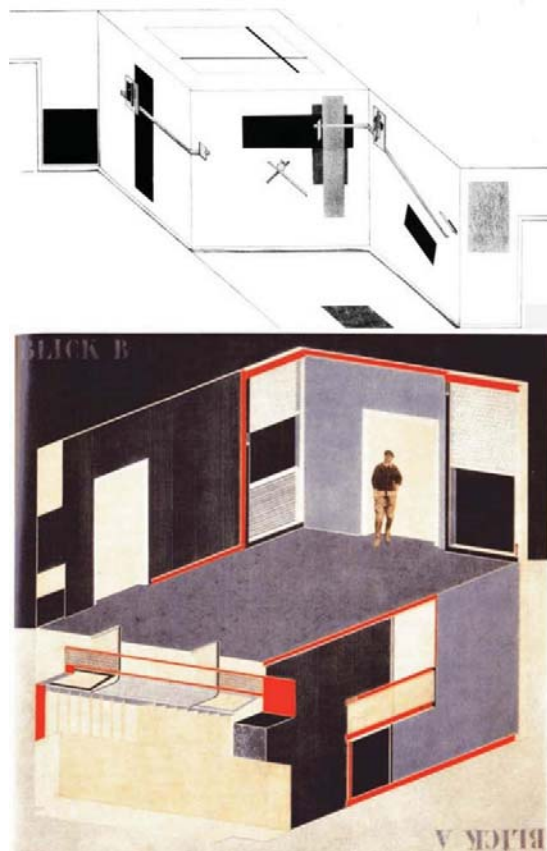
<sup>146</sup> Ričard Diford (Richard Difford) u svojoj disertaciji (1992, Univerzitet Westminster, London) objašnjava vezu između Hintonovog kolornog kodiranja i Duisburgovih crteža. Riman prvi spominje da je sistem boja analogan trodimenzionalnoj mnogostrukosti: matematički prostor definisan pomoću tri koordinatna pravca kojima odgovaraju parovi boja (crno-bela, crveno-zelena, plavo-žuta). (Evans, 2000, str. 338-341, 400)

<sup>147</sup> Originalan naziv crteža je: *Construction des couleurs dans la 4<sup>ème</sup> dimension de l'espace-temps*. Crtež je iz 1924. godine

<sup>148</sup> (Emmer, 2004, str. 46)

Za drugu fazu De Stajla koja je trajala do 1925. godine kada je proklamovan manifest sa idejama o četvorodimenzionalnom prostoru i vremenu, od velike je važnosti susret fan Duisburga i El Lisickog. Duisburg i Lisicki su se prvi put sreli u Berlinu 1922. godine<sup>149</sup> i pokazivali su veliki interes za nove prostorne koncepcije u matematici i fizici. El Lisicki je imao drugačiji pogled na nove koncepcije prostora, kritikujući čisti formalni pristup arhitekata De Stajla. U svom članku *K und Pangeometrie* (1925), nespominjući aksonometrijski metod reprezentacije, El Lisicki pravi vezu između umetnosti i matematike. Lisicki stvara prvo vezu između aritmetičkih nizova i planimetrijskih crteža a zatim i između geometrijskih nizova i perspektive<sup>150</sup>. Veličajući nastanak nove neeuclidске geometrije i razbijanje perspektivnog prostora od strane kubista impresionista i drugih modernih avangardnih umetničkih pokreta, Lisicki zaključuje da nova geometrija Lobačevskog *Pangeometrie*<sup>151</sup>, nudi nove beskrajne mogućnosti umetnosti. Pod različitim podnaslovima Lisicki dalje raspravlja o iracionalnom i imaginativnom prostoru. Iracionalni prostor je prostor suprematističke slike, beskonačni prostor u kome ne postoji iluzija trodimenzionalnosti perspektivnog prostora. Govoreći o imaginativnom prostoru, Lisicki pokušava da artikuliše kako se ovaj način viđenja prostora može realizovati u svetu telesnog iskustva. Za Lisickog je film prvi korak u tom pravcu pošto je na taj način uključeno i vreme<sup>152</sup>.

El Lisicki preuzima drugačiji model hiperkocke koja mu pomaže da stvori dovitljivo rešenje za aksonometrijski prikaz sobe PROUN-a<sup>153</sup> (slika 61). Višeznačnost prikaza hiperkocke preko dvodimenzionalnih aksonometrijskih crteža je na taj način uticalo na stvaranje različitih modova aksonometrijske reprezentacije. El Lisicki



slika 61

Aksonometrijski prikazi enterijera bez favorizovane tačke posmatranja i u kojima se svi zidovi prostorije vide istovremeno.

Gore: El Lisicki, soba PROUN, 1923. godine. Dole: El Lisicki, apstraktni kabinet, 1927. godina

<sup>149</sup> (Boersma, 2000, str. 27-31)

<sup>150</sup> Detaljnije videti na sledećoj web adresi na kojoj postoje citati iz pomenutog dela: [http://www.g26.ch/art\\_lissitzkij.html](http://www.g26.ch/art_lissitzkij.html)

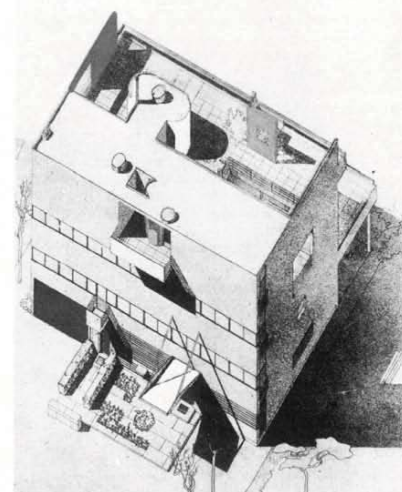
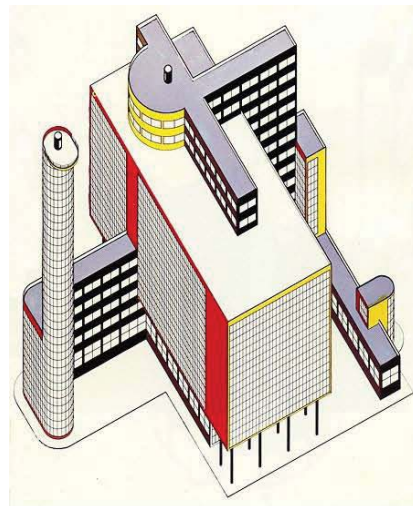
<sup>151</sup> Pangeometrie ili imganirana geometrija je termin kojim Nikolaj Ivanovič Lobačevski naziva svoj novootkriveni neeuclidski proctor. Boljai za isto otkriće koristi termin apsolutna geometrija

<sup>152</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 321)

<sup>153</sup> (Evans, 2000, str. 342)

prikazuje površine unutrašnjih zidova sa maksimalnim brojem konzistentno međusobno povezanih zidova. Na taj način Lisicki pravi najmanji broj prekida u prikazu unutrašnjosti kocke i istovremeno omogućava sagledavanje trodimenzionalnog prostora sa svih strana. Na taj način stvara iluziju reprezentacije četvorodimenzionalnog prostora u kome se sve stranice trodimenzionalnog objekta vide istovremeno<sup>154</sup>.

Različiti tipovi aksonometrijskih prikaza, a naročito planometrija, direktno je vezana za modernu epistemologiju i prostorni relativizam XIX i XX veka. Nakon prvog svetskog rata, planometrijski prikaz postaje preferirani metod reprezentacije prostora u arhitekturi. Arhitekte i umetnici okupljeni oko pokreta De Stajl, zajedno sa El Lisickim koriste se aksonometrijom kao odgovorajućim modelom za reprezentaciju novih koncepcija prostora. Sa druge strane, Le Korbizije (Le Corbusier), Gropius (Gropius), Sartoris (Sartoris) i Hilbershajmer (Hilbersheimer) su jedni od prvih arhitekata koji su videli prostor planometrijskog prikaza kao homogeni transparentni prostor moderne<sup>155</sup> (slika 62). Le Korbizije je toliko bio oduševljen planometrijskom reprezentacijom da ju je upotrebljavao u prvim brojevima *L'Esprit Nouveau*-a. Očigledno je da je razumeo osobenosti ovog metoda reprezentacije, kao i vezu aksonometrijskog prostora sa novim prostorom slikarstva. Planometrija za razliku od izometrije ima drugačiji konstruktivni koncept, generišući crtež iz osnove i zatim podižući visine. Planometrija ide korak dalje u odnosu na izometriju u odnosu na apstraktnost prikaza oslobodavajući se još više perspektivne veze, veze sa tlom i linije horizonta. Ona više nema za cilj da prikaže *pojavnost* već *objektivnost* samog objekta iskazanu kroz tačne mere uglova u osnovi i visine vertikala u izgledu.



slika 62

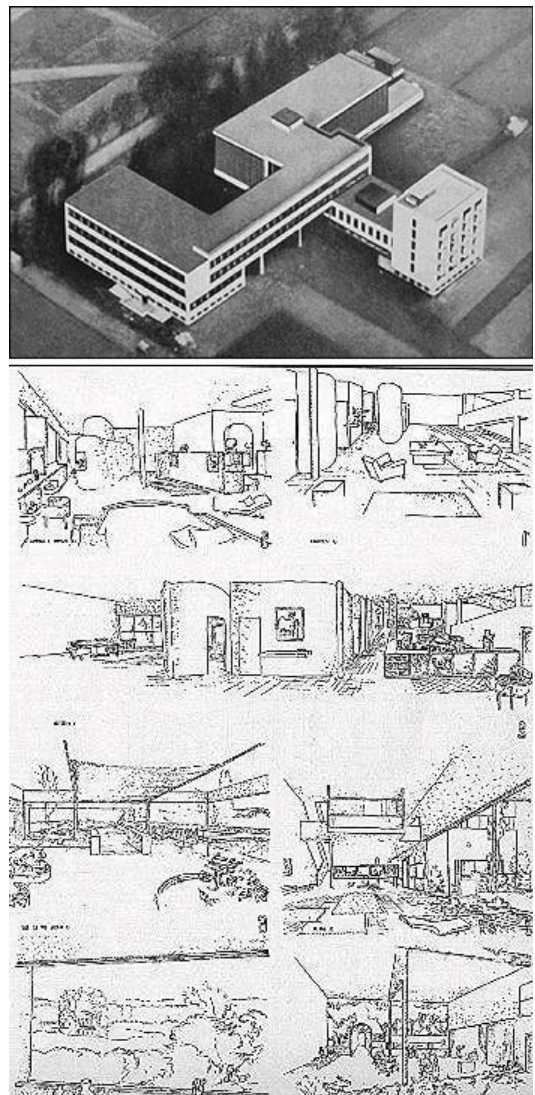
Gore: Alberto Sartoris, projekat manastira u Frajburgu, 1931. sredina: Mrtva priroda, Le Korbizije, 1920. slika u aksonometrijskoj projekciji dole: Vila Štajn de Monci (Villa Stein de Monzie) 1926.

<sup>154</sup> Ibid.

<sup>155</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 340)



Ideja prostor-vremenskog relativizma bila je deo *zeitgeista*<sup>156</sup>, kako primećuje S. Gideon<sup>157</sup>. On nije imao refleksije samo na geometrijsku reprezentaciju prostora već i na nov način sagledavanja arhitektonskih kompozicija. Projekti kuća fan Esterena i fan Duizburga zahtevali su sagledavanje kompozicije krećući se oko nje same, a ne posmatrajući je iz jedne favorizovane perspektivne tačke. Slično, Gropiusov projekat škole Bauhaus u Desau nastao tri godine kasnije, anticipirao je istu ideju: za sagledavanje objekta neophodno je bilo posmatrati ga iz različitih strana i uglova krećući se oko njega ili iznad njega<sup>158</sup> (slika 63). Gideonova konstatacija je naročito važna, posebno ako se posmatra u svetlu činjenica da sam autor nije umeo crtati, te da su mu ideje prezentovale njegove kolege na papiru. Gropiusova zgrada Bauhauusa je pokazala da su nove ideje o geometrijskim prostorima uticale kroz crteže na nastanak i razvitak novih arhitektonskih kompozicija, a da je potom aksonometrija prihvaćena kao pogodan instrument za proces istraživanja i prezentaciju arhitekture moderne. Sama ideja sagledavanje arhitektonskog prostora kroz kretanje postala je značajna paradigma arhitekture XX veka. Perspektivne skice Le Korbizjea za projekat kuće Mejer (Villa Meyer) iz 1925. godine, ukazuju na novi način mišljenja u procesu projektovanja gde je kroz niz perspektivnih skica prikazan prostor kuće iz aspekta posmatrača koji se kreće kroz kuću (slika 63). Kretanje kroz prostor je važan segment Le Korbizjea, na čega ukazuju rampe, galerijski hodnici i spiralna stepeništa koji postaju važan elemenat arhitektonskog oblikovanja. Elementi horizontalnih i vertikalnih komunikacija kao generatori arhitektonske forme karakteristični su i za ruske konstruktiviste, kojima su bile bliske nove koncepcije prostora i njihova instrumentalizacija u sferi umetnosti. Dinamizam forme postaje jedan od osnovnih principa ruskog konstruktivizma koji je interpretiran na različite načine. Jedna od karakteristika ruskih



slika 63

Gore: Fotografija zgrade Bauhauusa iz vazduha. Kako je S. Gideon primetio, kompozicija objekta se najbolje sagledava iz ptičije perspektive. Objekat nema favorizovani fasadni front.

Dole: Projekat kuće Mejer, 1925. Le Korbizjea, prikazane kroz niz perspektivnih skica. Le Korbizje u procesu projektovanja je krenuo od plana, ali je stalno imao na umu virtuelnog posmatrača koji se kreće kroz kuću. Ilustrovane skice prikazuju prostor kuće od prizemlja (gornje skice) do krovne terase.

<sup>156</sup> Termin *Zeitgeist* odnosno "duh vremena", odnosi se na opštu kulturnu, intelektualnu, političku klimu jedne epohe.

<sup>157</sup> (Gideon, 1941, str. 311-313)

<sup>158</sup> *ibid.*



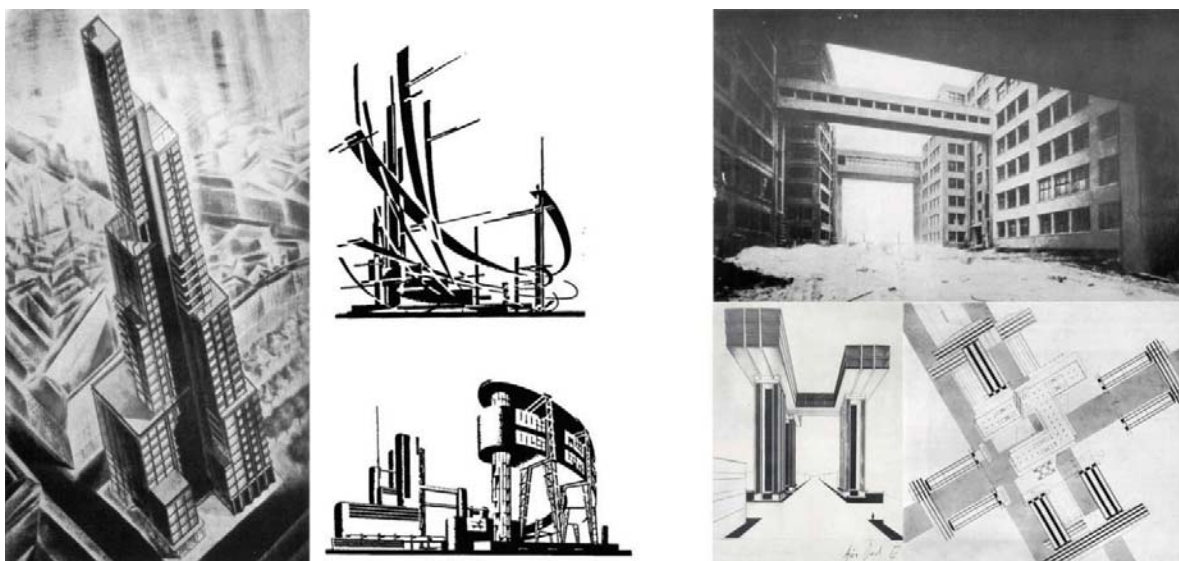
konstruktivnih kompozicija jesu zakrivljenost i/ili nagnutost pojedinih elemenata koji stvaraju utisak forme u pokretu. Kompozicije ruskih konstruktivista su pola veka kasnije imale bitnog uticaja na rad pojedinih arhitekata dekonstruktivizma, naročito Zaha Hadid koja preuzima pojedine motive u svojim dinamičnim kompozicijama (slika 65).

Drugi aspekt uticaja koncepcije prostor-vremena je stvaranje metaforičke slike primenjene na arhitektonski objekat. Arhitekta Erich Mendelson (Erich Mendelsohn), koristi se metaforom prostor-vremenskog relativizma, ali u ekspresionističkom duhu, zadržavajući konvencionalan stav o prostoru u odnosu na strukturu kuće (slika 64). U planu se uočava ortogonalni raspored prostorija i podužna osa simetrije. Na takvu konvencionalnu matricu dodati su zidovi promenljive debljine i preseka sa krivolinijskim oblicima otvora čime je postignut skulpturalni oblik. Zakrivljene linije kuće za Mendelzona su predstavljale metaforu zakrivljenosti prostora i vremena teorije relativiteta.



slika 64

Krivolinijska forma Ajnštajnovke kule arhitekta Erich Mendelzona su metafora zakrivljenog relativističkog prostora.



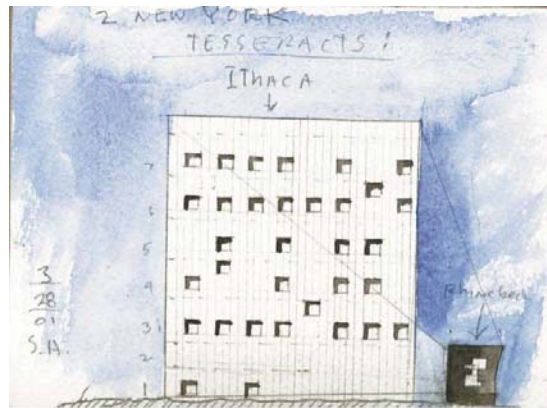
slika 65

Crteži i projekti ruskih konstruktivista. Levo: Lopatin, Atelje Ladovski 1923. Oblakoder za Moskvu. Realističan prikaz zgrade, nasuprot pozadini koja liči na kubističku kompoziciju. Sredina gore i dole: arhitektonske fantazije Jakov Černihov (Чернихов) sugeršu dinamizam forme. Gore desno: Administrativne zgrade vrho vnoh privrednog saveta u Harkovu. Horizontalne komunikacije kao likovni motiv. Horizontalne komunikacije iznad zemlje i neuobičajene vizure koje pružaju, anticipirani su u već u XVIII veku u crtežima zatvora G.B. Piranezija (videti sliku 35 ) ali i u radovima italijanskih arhitekata futurista. Ideja sagledavanja prostora kretanjem i naglašavanje komunikacija postaje važan motiv u arhitekturi XX veka. Dole desno: Projekat nebeskih kula u Moskvi 1925. El Lisicki. Lisicki je planirao njihovu gradnju duž raskrsnica na kružnom bulevaru koji opasuje centar grada. "sve što horizontalni transport dovede do zgrade, diže se vertikalno liftovima i raspoređuje u horizontalnom pravcu.[...] Spoljašnji volumen zgrade se u svih šest vizura različito sagledava." (Lissitzky, 1930, str. 47)

Iako su ideje neeuklidskih i relativističkih prostora najviše uticale na savremenu arhitekturu 20-tih godina XX veka, pojedini arhitekti u drugoj polovini XX i početkom XXI veka su u svom teorijskom diskursu ili u istraživanjima forme koristili modele višedimenzionalnih prostora.

Maningova geometrijska interpretacija hiperkocke ili tesarakta (slika 53) pojavila su projektima dvojice savremenih arhitekata: Johan Oto fon Šprekelsena (Johann Otto von Spreckelsen) i Stiven Hola (Steven Holl). Ideju povezivanja unutrašnjih i spoljašnjih prostora, kroz koncepciju geometrijske analogije tesarakta upotrebljava Stiven Hol u projektima *Mala tesarakt kuća* u Rinebeku (Rhinebeck) i pobedničkom radu za projekat *škole arhitekture Cornell univerziteta* (slika 66) u Itaki (Ithaca), oba u državi Nju Jork, SAD. Forma objekta ima oblik kocke, ali transformacije unutar kocke razvijaju ideju četvorodimenzionalnog prostora na dihotomiji odnosa spolja-unutra<sup>159</sup>. Šprekelsenov objekt *Grande arche*, nova trijumfalna kapija Pariza, ima kubični oblik dimenzija 108x110x112 metara, unutar koje postoji prazan kubični volumen. Zbog svog karakterističnog oblika za Šprekelsenovu trijumfalnu kapiju se sugerše da podseća na trodimenzionalnu projekciju četvorodimenzionalne hiperkocke<sup>160</sup> (slika 66).

Matematički termini koji se koriste u definisanju pojmova vezanih za višedimenzionalne prostore poslužili su kao metafora za redefinisane teorijskih doktrina u arhitekturi. Stiven Perela (Stephen Perrella) prvi uvodi termin hiperpovrš u teorijske radove o novoj, digitalnoj arhitekturi, dajući pomenutom pojmu novo značenje i kontekst<sup>161</sup>. Matematički termin hiperpovrš odnosi se na n-dimenzionalnu površ u hiperprostoru,



slika 66

Gore: Originalan crtež Stiven Hola za dva objekta-tesarakta, 2002.

Dole: *Grande arche*, Johan Oto fon Šprehelsen, 1990

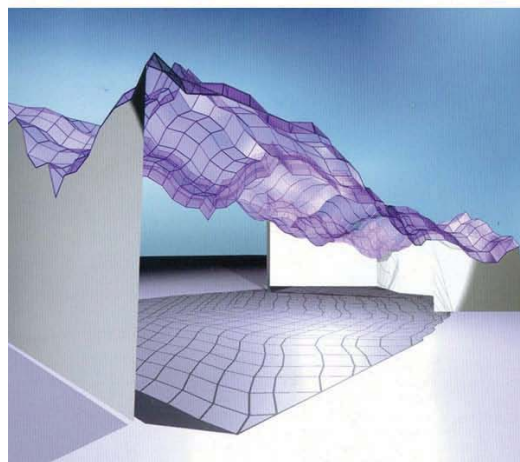
<sup>159</sup> (Guiney, 2001)

<sup>160</sup> Više internet izvora sugerše takvu tezu. Videti: [http://www.timesonline.co.uk/tol/life\\_and\\_style/article5969764.ece](http://www.timesonline.co.uk/tol/life_and_style/article5969764.ece) (pristupljeno 18 maja 2008) ili [http://en.wikipedia.org/wiki/Grande\\_Arche](http://en.wikipedia.org/wiki/Grande_Arche) (pristupljeno 18 maja 2008). Uporediti oblik *Grande arche*-a i Maningove hiperkocke slika 53.

<sup>161</sup> Stiven Perela objavljuje knjigu *Hypersurface Architecture* (1998) u kojoj je prvi put upotrebljen ovaj termin. Perella je nakon toga izdao nekoliko tekstova u različitim publikacijama objašnjavajući značenje ovog fenomena.

gde je hiperprostor  $(n+1)$ -dimenzionalni prostor, a  $n$  prirodan broj veći ili jednak od 3. Motivisan novim društvenim fenomenima nastali implementacijom novih matematičkih ideja i otkrića u modernu i populističku kulturu, Perela redefiniše ovaj pojam pokušavajući da njegovu apstraktnu i neopipljivu prirodu otelotvori. U apstraktnom matematičkom prostoru hiperpovrši su  $n$ -dimenzionalne konstrukcije, u novom kontekstu ovaj termin ima novu egzistencijalnu kulturološku konotaciju<sup>162</sup>. Prefiks "hiper" dobija drugačije značenje, dajući mu novi kontekst koji se oslanja na dihotomiji odnosa: unutra-spolja, struktura-ornament, objekat-tlo itd. Kako Markos Novak (Marcos Novak) primećuje, Perelin koncept hiperpovrši je pokušaj da se proizvede dubina na arhitektonskoj površi - da ona više ne bude granica između dva prostora, već portal između različitih svetova iz kojih nastaje subjektivnost<sup>163</sup>.

Drugi način manipulacije višedimenzionalnim prostorima i hiperpovršima, može se analizirati u radu Hareš Lalvanija (Hareh Lalvani). Prema Lalvaniju *Meta arhitektura* je bazirana na manipulisanju morfološki strukturiranih informacija pomoću algoritama i genetskih poruka, koje kodiraju formalne mogućnosti arhitekture<sup>164</sup>. Projektujući hiperpovrši iz višedimenzionalnih prostora, kao rezultat dobija površi nepravilnih oblika koje se mogu konstruisati pomoću pravougaonih panela i linearnih elemenata (slika 67). Različite prostorne kompozicije koje se na taj način generišu rezultat su algoritamski orijentisanih sofisticiranih softverskih alata. Sistem paralelnih koordinata je jedan od načina da se vizualizuju višedimenzionalni prostori. Manipulacije sa višedimenzionalnim prostorima u cilju istraživanja arhitektonskih formi koristi i Markos Novak. U projektu *Paracube*, Markos Novak postojećoj strukturi koju čini skelet i omotač, svakoj tački u prostoru algebarskim putem dodaje četvrtu dimenzionu koordinatu (slika 67). Objekat je dalje rotiran oko ravni u



slika 67

Gore: Stiven Perela arhitektura hiperpovrši

Sredina: Hareš Lalvani, trodimenzionalna površ dobijena projekcijom hiperpovrši

Dole: Markos Novak, Paracube

<sup>162</sup> (Novak, 2001, str. 153-157)

<sup>163</sup> Ibid.

<sup>164</sup> (Lalvani, 2001, str. 178)



čtetvorodimenzionalnom prostoru algebarskim putem pomoću sistema matrica, da bi na kraju ponovo bio projiciran u trodimenzionalni prostor<sup>165</sup>.

Instrumentalizacija ideje neeuclidskog prostora u arhitekturi javila se tek krajem XX veka u nekim radovima arhitekata dekonstruktivizma, naročito u prvim projektima Zaha Hadid. Ideja neeuclidskog prostora realizovano je izmeštenjem horizontalnih i vertikalnih ravni iz ortogonalnog rastera. Permanentnim kretanjem kroz ili oko objekta, konstantno se naglašava ili umanjuje efekat perspektivne distorzije, utičući na uobičajeni doživljaj prostora. Poput slika Đorđo de Kirika u kojima postoji iracionalna perspektivna atmosfera, neparalelne ravni zidova stvaraju sličan iluzionistički efekat. O novom doživljaju prostora Zaha Hadid govori: „Najvažnija stvar je kretanje, tok stvari, neeuclidaska geometrija u kojoj se ništa neponavlja: novi vid prostora“<sup>166</sup>. Arhitektura koju je Zaha Hadid stvarala u prvim projektima, kao što su vatrogasna stanica *Vitra* (slika 68), anticipira prostorni dinamizam i kretanje, koji su sugerisani i u karakterističnim crtežima perspektivama. Volumeni sa kojima manipuliše se međusobno prepliću, ukrštaju i seku pod neortogonalnim uglovima, stvarajući perspektivne iluzije sličnim fenomenu *Amesove sobe*<sup>167</sup> (slika 69). Na taj način posmatraču se sugeriše novi način percepcije prostora, različit od konvencionalnog, euclidskog.

Revolucionarne hronofotografske studije Etjen-Žil Mareja uticale su na način na koji je umetnička avangarda posmatrala sintezu prostora i vremena, ali se reflektovalo i na rad pojedinih arhitekata današnjice. Instalacije *ether/I* arhitektonskog studija dECOi koncipirana je na istoj ideji kojoj su italijanski slikari futuristi težili: dinamizam forme i zamrzavanje slike tela u pokretu. U projektu *ether/I* su pomoću sofisticiranih



slika 68

Vatrogasna stanica Vitra, Zaha Hadid, Vil na Rajni, (Weil am Rhein), 1993.



slika 69

Vatrogasna stanica Vitra, Zaha Hadid, Vil na Rajni, 1993, enterijer.

<sup>165</sup> (Novak, 2000)

<sup>166</sup> (Hadid, 2003)

<sup>167</sup> Amesova soba je prostorija sa zakošenim ivicama zidova na takav način da se stvara efekat perspektivne iluzije. Sobu trapezoidnog oblika u kojoj se doživljava takva perspektivna iluzija pronašao je i konstruisao američki oftamolog Adelber Ames (Adelbert Ames) 1934. godine. Dizajn takve prostorije bazira se na koncepciji nemačkog fizičara Herman fon Helmholtza krajem XIX veka, a koji je jedan od najzaslužnijih za promovisanje koncepcija prostora različitog od euclidskog, egzistencijalnog.

alata za kompjutersku animaciju “uhvaćeni i zamrznuti” tragovi kretanja dvoje plesača baletana. *Tragovi pokreta* plesača su dalje poslužili za modelovanje i realizaciju prostorne instalacije (slika 70). Upotreba sofisticiranih alata za kompjutersku animaciju kojima se mogu diskretizovati trajektorije kretanja tela i koristiti za generisanje forme, karakteristično je više za koncepciju topološkog prostora. Ideja topološkog prostora o kojem će biti više rečeno u sledećem poglavlju, dozvoljava kontrolu trajektorija kretanja i transformabilnost inicijalne geometrijske figure u određenom vremenskom razdoblju. Drugim rečima tehnika hronofotografije koja je otvorila put jednom od pravaca razvijanja ideje prostor-vremenske koncepcije u umetnosti, dostigla je punu zrelost u digitalnoj epohi, oslanjajući se na ideju geometrijske topologije.

slika 70

Projekat *ether/l*, studija dECOi, Ženeva 1995.



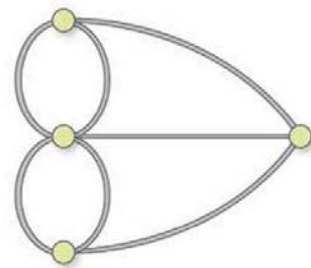
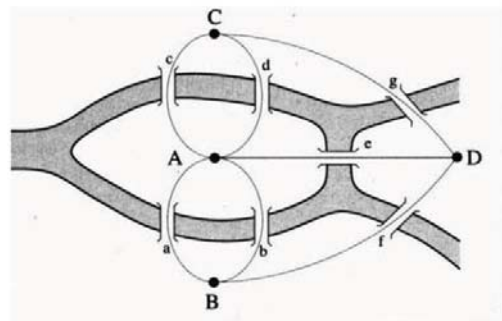
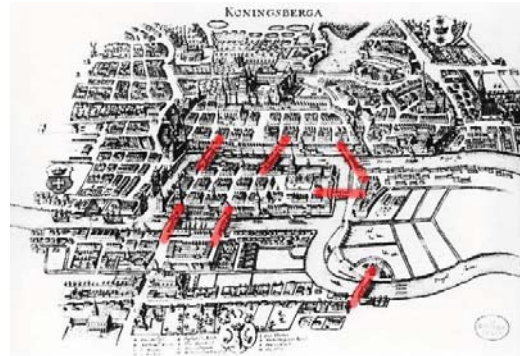
Uticao koji je instrumentalizacija ideja neeuclidskih i višedimenzionalnih prostora imala na savremenu arhitekturu imao je više pravaca. Sa jedne strane nove geometrijske teorije doprinele su relativizaciji koncepcije prostora, koji je do tada posmatran kao *a priori* Euklidski. Temelji nove, savremene geometrije u kojoj je trodimenzionalni euklidski prostor samo jedan specijalan slučaj, pomerio je granice shvatanja prostora, što je iniciralo drugačiji pogled na geometrijsku formu u arhitekturi. Način da se prikažu nove ideje je uticao na razvitak i primenu različitih vrsta reprezentacija prostora, naročito aksonometrijskih projekcija, koje su dalje dale osnovni impuls defragmentaciji i dekomponovanju arhitektonskih kompozicija, o čemu će kasnije detaljnije biti reči.



## 2.5. Koncept topološkog prostora

Tokom XIX veka okviri geometrije i matematike kao naučne discipline su se značajno proširili. Redefinisanje geometrije i nastanak novih neuklidskih geometrija je bio samo jedan deo revolucionarnog doprinosa matematičari XIX veka. Krajem XIX veka nastale su različite oblasti nove matematičke discipline apstraktne algebre kao što su teorije grupa, teorije skupova i vektorski prostori. Istovremeno nova grana matematike *topologija*, razvila se pod uticajem teorije skupova i novog načina percipiranja problema geometrije.

Grana matematike koja se danas naziva topologijom nastala je proučavanjem određenih prostornih problema u kojima pozicije i distance objekata nisu relevantni. Ojlerov rad iz 1736. godine o rešenju problema *Kenigzberških mostovima* smatra se radom koji je anticipirao razvitak ove nove oblasti u matematičari (slika 71). Problem Kenigzberških mostova sastojao se u pronalaženju rute kojom je bilo potrebno preći preko svih mostova i to samo jedanput. Sam naziv rada „rešenje problema u odnosu na geometrijski položaj“ (*Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis*) je ukazivao da je Ojler bio svestan da rešavanje ovog problema zahteva jedno drugačije posmatranje problema geometrije, u kome kvantitativne karakteristike kao što je udaljenost nisu relevantne. Termin topologija je prvi put publikovan pod tim imenom 1847. godine u radu Johan Benedikt Listinga (Johann Benedict Listing) *Vorstudien zur Topologie*<sup>168</sup>. U svom delu *Analysis Situs* iz 1895. godine, Anri Poenkare definiše topologiju<sup>169</sup> kao *nauku koja se bavi kvalitativnim karakteristikama geometrijskih tela ne samo u običnom prostoru već i u višedimenzionalnim prostorima*<sup>170</sup>. Tokom druge polovine XIX brojni matematičari kao što su Georg Kantor (Georg Cantor),



Slika 71

Problem sedam Kenigzberških mostova i svođenje zadatka na problem grafova.

<sup>168</sup> Listing je termin topologija koristio deset godina pre toga u prepisima sa drugim matematičarima, a od Ojlerovog rada o Kenigzberškim mostovima pa do kraja XIX veka su u upotrebi bili i termini na latinskom *geometria situs* ili *analysis situs*.

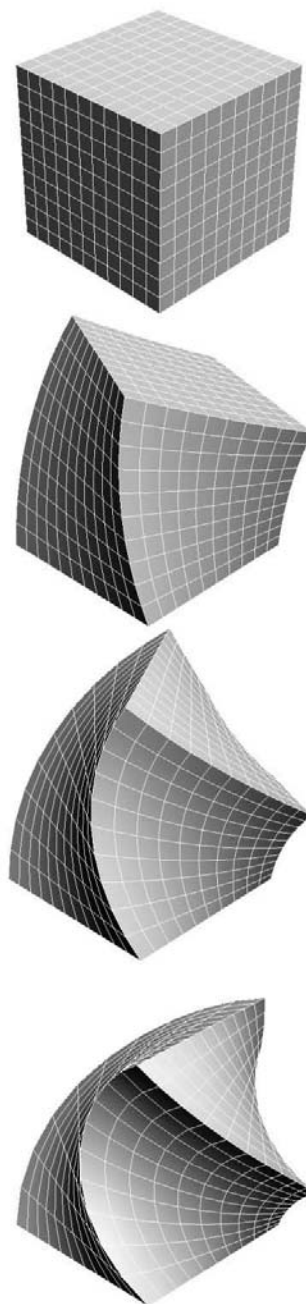
<sup>169</sup> Poenkare u svojoj knjizi topologiju naziva *Analysis Situs*

<sup>170</sup> Prema: (Emmer, 2004, str. 10)

August Ferdinand Mobius (August Ferdinand Möbius), Moris Freše (Maurice Fréchet) dali su svoj doprinos razvoju topologije. Feliks Hausdorf 1914. godine prvi upotrebljava termin topološki prostor, koji Kazimir Kuratovski (Kazimierz Kuratowski) preciznije definiše 1922. godine.

Topologija je oblast matematike koja se bavi proučavanjem onih karakteristika geometrijskih objekata koje ostaju invarijantne nakon takvih deformacija koje telu menjaju metrička i projektivna svojstva kao što su dimenzije i oblik<sup>171</sup>. U takve deformacije spadaju uvrtnje, savijanje ili istezanje, ali ne i isecanje ili lom<sup>172</sup>. Topologija posmatra objekte kao elastična tela koja mogu menjati svoj oblik i zadržavati primarna svojstva (slika 72). *Homeomorfizam* je funkcija preslikavanja kojim se jedno geometrijsko telo transformiše u drugo, na takav način da ono sačuva topološke karakteristike<sup>173</sup>. Ukoliko važi homeomorfno preslikavanje, onda su dva objekta topološki ekvivalentna. U tom smislu, trodimenzionalna tela kao što su kocka, valjak, kupa ili konus su topološki identični. Sa druge strane torus i lopta imaju različite topologije, odnosno ne postoji homeomorfna funkcija kojom bi bili moguće preslikavanje ova dva tela. Slično, u dvodimenzionalnom prostoru elipsa, trougao i krug ili bilo koja zatvorena kriva su topološki identični.

Formalno definisano, topološki prostor je osnovni objekat u topologiji. Topološki prostor je matematička struktura u kome važe definicije nekih od osnovnih matematičkih principa: *konvergencije*, *povezanosti* i *neprekidnosti*. U topološkom prostoru nije bitan oblik nekog objekta već relacije veze koje ga definišu. U tom smislu metrički prostori, u koje spadaju euklidski i neuklidski prostori, su samo specijalan slučaj topoloških prostora u kojem se pomoću metričkog sistema



Slika 72  
Primer topološki ekvivalentnih (homeomorfnih) figura

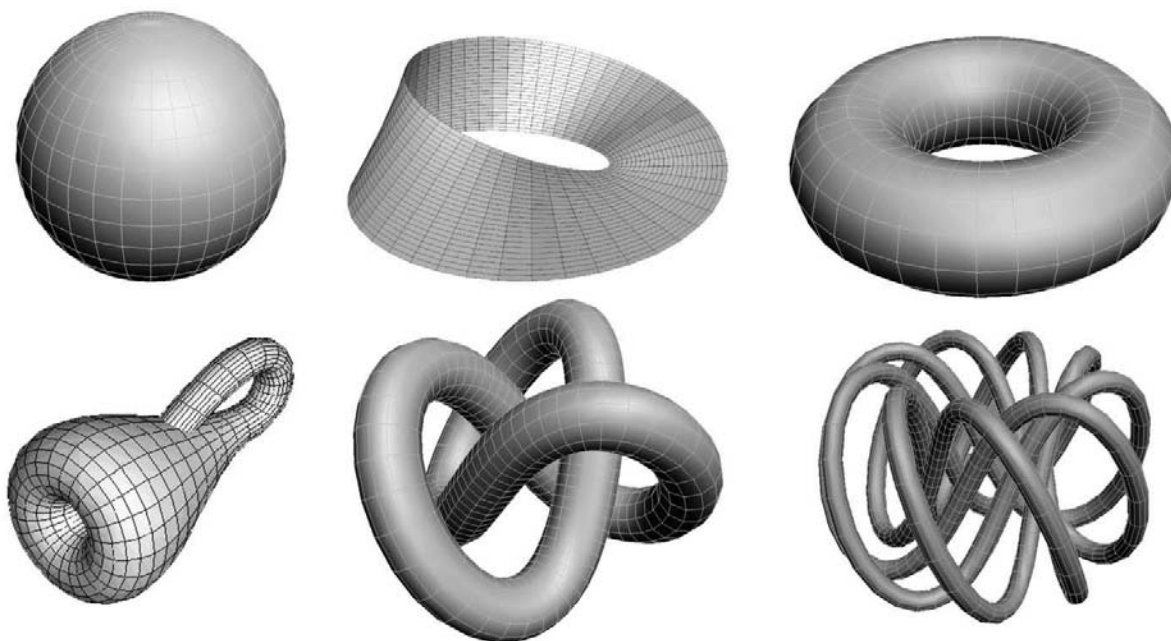
<sup>171</sup> Ibid. str. 66.

<sup>172</sup> Weisstein, E. W. Topology. Preuzeto 14 januara 2009, sa MathWorld--A Wolfram Web izvor: <http://mathworld.wolfram.com/Topology.html>

<sup>173</sup> Pojam homeomorfnog preslikavanja odnosi se funkciju preslikavanja neprekidnom funkcijom bijekcije (preslikavanje "1-1" i "na") čija je inverzna funkcija takođe neprekidna.

određuju rastojanja između relaciono povezanih elemenata.

Za razmatranje ideje topoloških prostora je važan pojam topološke karakteristike. Topološke karakteristike su one karakteristike koje ostaju invarijantne nakon homeomorfni preslikavanja. Topološki prostori se međusobno razlikuju u zavisnosti od njihovih topoloških karakteristika. Stoga su lopta, torus, mobijusova traka ili klajnova boca različiti topološki prostori (slika 73). U geometrijskom smislu, topološke karakteristike odnose se samo na kvalitativne osobine nekog objekta. Topološkim karakteristikama mogu se opisati veze između geometrijskih tela, broj čvorova, broj graničnih ivica, orijentabilnost površi ili neka druga svojstva.



Slika 73

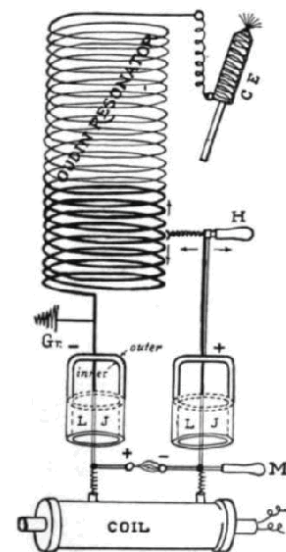
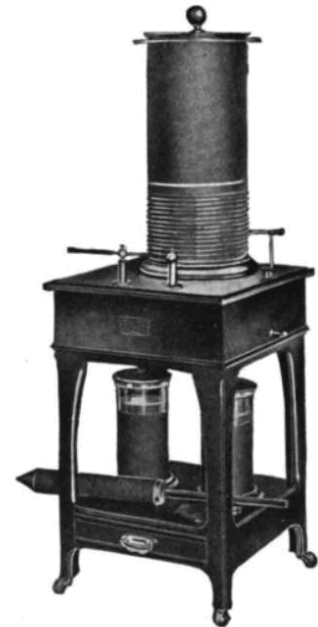
Različiti topološki prostori. Sa leva na desno, od gore prema dole: lopta, mobijusova traka, torus, klajnova boca, torusi sa čvorevima. Figure na slici se nemogu međusobno transformisati jedna u drugu homeomorfni preslikavanjem

### 2.5.1. Ideja o topološkom prostoru u širim kulturnim okvirima

Topologija je pre svega bila važna tema naučnih razmatranja matematičara, ali početkom XX veka topološki instrumentalni pristup dobija šire naučne i kulturne okvire. Topološki način mišljenja počeo se razvijati van krugova matematičara u nekoliko različitih pravaca tokom XX veka. Početkom XX veka se javljaju prvi primeri instrumentalnog mišljenja o topološkom prostoru u nauci i umetnosti. Ekspanzivan razvoj topološkog mišljenja počinje tek u poslednjoj deceniji XX veka pod uticajem novih dostignuća u digitalnoj i računarskoj tehnologiji. Razvitak informacionih sistema i računarske grafike je u tolikoj meri uticao na različite sfere instrumentalizacije topološkog mišljenja, da je on danas prisutan u svakodnevnom životu većine ljudi. Stoga je neophodno razdvojeno posmatrati način na koji su se ideje o topološkom prostoru razvijale pre i nakon razvitka informatičke ere. Linije razvoja instrumentalizacije topološkog mišljenja pre revolucije u informacionim tehnologijama mogu se pratiti u tri pravca:

- upotreba dijagrama kao načina vizuelne reprezentacije,
- deformacije geometrijskih tela homeomorfim preslikavanjem i
- simboličke interpretacije karakteristika neorijentabilnih površi.

**Upotreba dijagrama kao načina reprezentacije** vizuelnih informacija je bila već u primeni u drugoj polovini XIX veka. Prvi dijagrami se nisu mogli odvojiti od figuralnog prikaza i prikazivali su veze između pojedinih elemenata. Potrebama šematskog prikazivanja u inženjerskim crtežima dijagrami početkom XX veka postaju svedeni na apstraktan prikaz elemenata i međusobnih veza (slika 74). Po ugledu na matematičke grafove njima su predstavljene logičke veze između pojedinih elemenata zanemarujući oblike realnu poziciju ili distance u prostoru. Dijagrami u drugoj polovini XX veka postaju uobičajen način



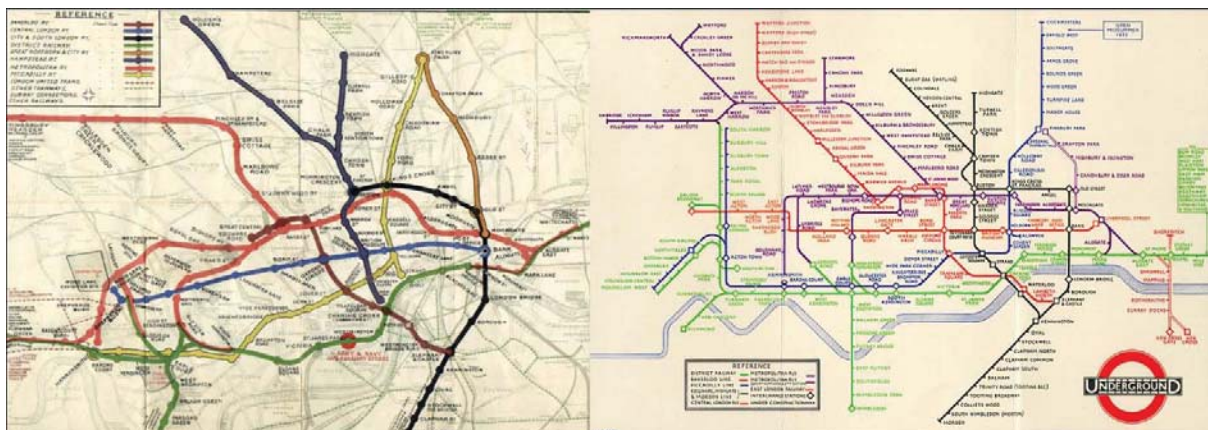
Slika 74

Slika Odinovog kalema sa dijagramom električnog kola iz 1907. godine. Električni dijagram prikazuje pojednostavljenu šemu rada kalema u kojem su zanemarene geometrijske karakteristike objekta.



reprezentacije korelacije ili logičkih veza između pojedinih elemenata.

Važan primer upotrebe dijagrama u kontekstu instrumentalizacije topološkog mišljenja jesu planovi metro stanica, s obzirom da je njihova upotreba usmerena ka najširem krugu ljudi. Planovi metro stanica su predviđeni za komunikaciju sa najširoom populacijom, u cilju prikaza mogućnosti kretanja metroom u okviru grada. Informacije na karti prikazne su u formi kolorno kodiranih dijagrama sa informacijama o međusobnim vezama i nazivima stanica, pri čemu je zanemarena njihova stvarna pozicija u prostoru ili fizička razdaljina. Kartama metro stanica očuvane su topološke ali ne i metričke karakteristike informacije o prostoru koji se prikazuje. Stanice nisu geografski pozicionirane niti su distance proporcionalno umanjene sa realnom razdaljinom, već je njihova pozicija prilagođena jednostavnosti vizuelnog prikaza (slika 75).



Slika 75

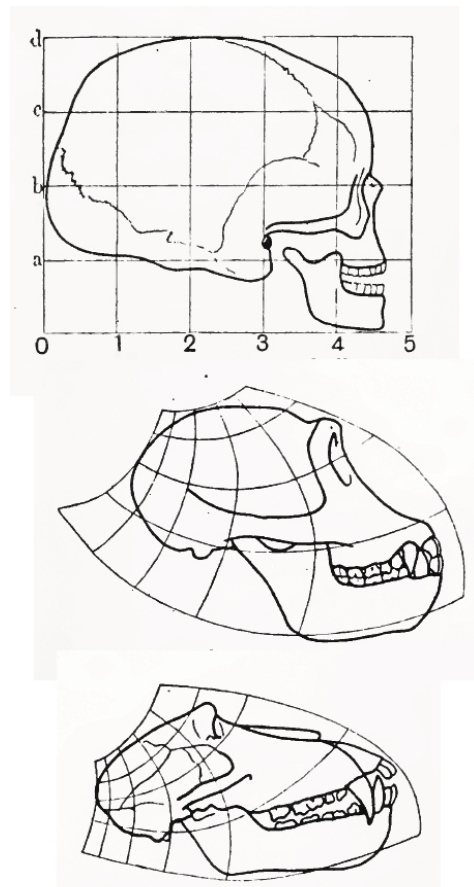
Problemi deformacije geometrijske strukture tela pod uticajem različitih parametara je danas važna tema u mnogim naučnim disciplinama. Jedan od prvih radova koji se bavio mogućnostima primene **deformacija geometrijskih tela homeomorfim preslikavanjem** van okvira matematike bila je knjiga “O razvoju i formi” (On growth and Form) biologa i matematičara Darsi Venvort Tompsona (*D'Arcy Wentworth Thompson*). Knjiga “o razvoju i formi” se smatra jednom od najuticajnijih naučnih knjiga XX veka. Pomenuta Tompsonova knjiga prvi put je izdata 1917. godine i ponudila je radikalno

Karte Londonskog metroa iz 1908 (levo) i 1933 godine (desno). Revolucionarni dizajn karte metroa Hari Beka (Harry Beck) iz 1933. godine zasnovan je na topološkom način prikazivanja, ignorišući stvarne distance i putanje, a crtež je sveden na horizontalne, vertikalne i linije pod uglom od 45° stepeni. Bekov topološki pristup je vrlo brzo preuzet kao način crtanja karti metro stanica i u drugim gradovima



drugačiji pristup zoologiji u kojoj je proces morfogeneze živog sveta posmatran iz matematičkog diskursa. Prema Tompsonu oblik živih bića je rezultanta uticaja različitih sila zakona biomehanike koja vladaju u živim organizmima, a varijacije koje postoje između pojedinih srodnih vrsta se mogu opisati matematičkim transformacijama. U knjizi, prikazane ilustracije životinjskih vrsta nacrtane su prvo u geometrijskoj mreži. Tompson je pokazao da je deformacijom te mreže, moguće dobiti sliku neke druge, srodne životinjske vrste<sup>174</sup> (slika 76). Drugim rečima varijacije između srodnih životinjskih vrsta su homeomorfizmi. Tompson je bio upoznat sa novim matematičkim otkrićima i radovima o topologiji J.B. Listinga i A. Poenkarea koje i citira u knjizi, a varijacije između pojedinih vrsta naziva *topološkom sličnošću*<sup>175</sup>.

Od brojnih karakteristika kojima se mogu definisati različiti topološki prostori, intrigantna topološka svojstva koja odlikuju neorijentabilne površi, najviše su privukle pažnju ljudi van naučnih krugova. **Simboličke interpretacije karakteristika neorijentabilnih površi**, imale su odraza na umetnost i filozofiju XX veka. Orijetabilnost je osobina površi trodimenzionalnih ili četvorodimenzionalnih tela koja pokazuje da li postoji konzistentan vektor normale na tu površ. Ukoliko je površ orijentabilna, onda na njoj uvek postoji konzistentan vektor normale i moguće je primeniti *pravilo desne ruke*. Drugim rečima na takvoj površi moguće je uočiti pravac kretanja kao i njene dve strane *lice* i *naličje*. Većina trodimenzionalnih geometrijskih tela poput kocke, torusa, ili sfere su orijentabilne površi, te je kod njih moguće uočiti geometrijsko mesto tačaka koje pripadaju spoljašnosti ili unutrašnjosti tog objekta. Geometrijska tela kao što su *Mobiusova traka*, *Klajnova boca* ili *prava projektivna ravan* spadaju u neorijentabilne površi i od posebnog su interesa sa



Slika 76

Lobanja čoveka (gore), šimpanze (sredina) i babuna (dole) prema knjizi Darsi Tompsona. U poslednjem poglavlju knjige "O teoriji transformacija ili komparacija srodnih vrsta", Tompson je na brojnim primerima pokazao da se kontinualnim transformacijama geometrijske mreže može pokazati veza između srodnih vrsta.

<sup>174</sup> Sam princip transformacije putem deformacije geometrijske mreže nije nov. Renesansni umetnici su se prvi služili geometrijskim rasterom kao pomagalom za crtanje, a Albert Direr u jednom od svojih crteža pokazuje na koji način se može izmeniti oblik lica, ukoliko se crtež sa konstruktivnom mrežom zakosi. Tompson citira Direrovu Raspravu o proporciji "*Treatise on Proportion*" u prikazuje pomenutu ilustraciju. (Tompson, 1945, pp. 1053-1054)

<sup>175</sup> Ibid. str. 1084.

stanovišta topologije. Jedna od karakteristika neorijentisanih površi euklidskog prostora sa tri ili više dimenzija jeste da te površi imaju samo jednu stranu, što za posledicu ima to, da se kod takvih tela ne mogu definisati niti odrediti prostor spoljašnjosti i unutrašnjosti.

Prva otkrivena površ sa neorijentabilnim svojstvima bila je Mobiusova traka. Mobijusovu traku su nezavisno otkrili i opisali dvojica matematičara 1858. godine: A.F. Mobius (August Ferdinand Möbius) i Johan Benedikt Listing<sup>176</sup>. Jednostavan način na koji se ona može napraviti od papira<sup>177</sup>, kao i interesantna svojstva koja poseduje, uticali su na to da se interesovanje za nju proširi i van naučnih krugova. Oblik mobijusove trake se sporadično javljao u različitim kulturama i civilizacijama vekovima pre nego što je bio matematički definisan sredinom XIX veka, a postaje naročito prisutna u umetničkim krugovima i široj javnosti nakon niza skulptura Maks Bila (*Max Bill*) od 1936. godine<sup>178</sup>. Maks Bilova umetnička skulptura "Traka bez kraja" oblika Mobijusove trake prvi put je prikazana javnosti 1936 (slika 77). godine na Milanskom trijenalu i nakon toga se kao tema pojavila u brojnim umetničkim varijacijama, simbolišući nešto što nema početak niti kraj, što je ciklično i obnovljivo. Šezdesetih godina XX veka M.C. Ešer pravi nekoliko grafika sa tom temom, a 1970. godine Geri Anderson (Gary Anderson) predlaže *Univerzalni simbol za reciklažu* koji je u osnovi Mobijusova traka (slika 77). Drugi tip neorijentabilne površi koji je postao prisutan u kulturi i umetnosti je klajnova boca, ali u znatno manjoj meri. Feliks Klajn 1882. godine prvi opisuje ovu neorijentabilnu površ. Karakteristika neorijentabilnosti površi koju Klajnova boca poseduje, razlog je nekih interesantnih topoloških svojstava. Poput Mobijusove trake, Klajnovoj boci se ne može definisati početak ni kraj niti postoji dve strane: lice ili naličje. Za razliku od Mobijusove trake,



Slika 77

Mobijusova traka u dizajnu i umetnosti. Skulptura Maks Bila (gore), Geri Anderson i originalan predlog univerzalnog znaka za reciklažu (sredina), "Mobijusove ptice" M.C. Ešera (dole)

<sup>176</sup> (Derbyshire, 2004, str. 381)

<sup>177</sup> Mobijusovu traku se jednostavno može napraviti spajanjem dva kraja trake od kojeg je jedan kraj okrenut za 180°.

<sup>178</sup> (Emmer, Mathland, 2004, str. 70)

Klajnova boca je zatvorena površ, ali neposедуje volumen niti spoljašnji i unutrašnji prostor.

Interesovanje za ovu figuru širi se van krugova matematičara tek krajem XX veka, kada je računarska grafika omogućila da se njen oblik simulira u trodimenzionalnom prostoru (slika 78). Imerzija Klajnove boce u trodimenzionalnom prostoru je figura koja samu sebe seče<sup>179</sup>. Klajnova boca je površ koja se može pravilno prikazati jedino u četvorodimenzionalnom prostoru, gde ne postoji mesto samopresecanja.

Karakteristike neorijentabilnih površi kao što su nemogućnost definisanja pravca kretanja, početka i kraja reflektovale su se i na pojedina muzička i književna dela kroz koji su ti principi interpretirani<sup>180</sup>, kao i na savremenu arhitekturu kraja kraja XX veka o čemu će kasnije biti više rečeno.

Krajem 80-tih i početkom 90-tih godina prošlog veka, nekoliko tehnoloških dostignuća iz domena informacionih tehnologija reflektovali su se na ekspanzivan razvoj topološkog načina mišljenja na globalnom nivou. Neophodno je spomenuti nekoliko važnih istorijskih momenata iz razvoja informacionih tehnologija, koji su imali direktnog uticaja da ideja topološkog prostora postane globalni fenomen. Ti važni momenti u razvitku računarskih tehnologija vezani su za tri oblasti:

- računarsku grafiku i 3D softverski alati,
- kompjuterski generisana virtuelna i interaktivnih okruženja
- razvoj Internet komunikacija i web-a.



Slika 78

Klajnova boca u umetnosti: skulptura Pedro Rejesa (Pedro Reyes) *Klein Bottle Capula*, 2006. godine

<sup>179</sup> Pojam imerzija u matematici odnosi se na glatko preslikavanje  $F : M \rightarrow N$  takvo da je  $F \cdot$  injektivno u svakoj tački od  $M$ .

<sup>180</sup> Pre svega se misli na kontraverznu muzičku kompoziciju „*Moebius Strip Tease*” (1965) Nikole Šlomskog (*Nicolas Slonimsky*) i kao nekoliko pripovedaka iz knjige „*Fantasia Mathematica*” editor Klifton Fadiman (*Clifton Fadiman*) iz 1958. god. (Boittin, Callahan, Goldberg, & Remes, 1998)

Pomenute tri oblasti danas simultano deluju na to da topološki način mišljenja bude implementiran u svakodnevni ljudski život.

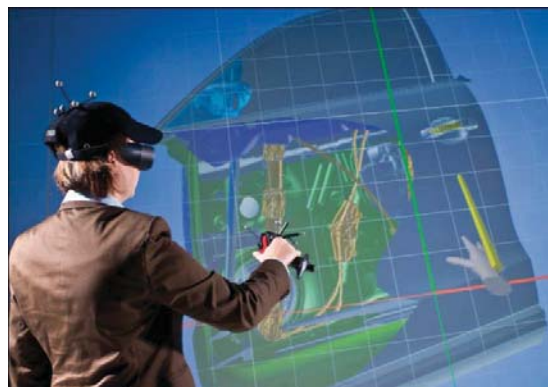
Važni momenti u **razvitku računarske grafike** dogodili su se tokom 80-tih i početkom 90-tih godina XX veka. Od 1981 do 1985 grafički interfejs (GUI) se pojavio na nekoliko računarskih platformi, omogućavajući da se informacije predstave ikonicama simbolima i slikama, umesto tekstom. Američka kompanija *Wavefront* pravi prvi softver sa 3D grafikom *Polhemus* 1984. godine. Studio za filmske efekte ILM (Industrial Light and Magic) Džordž Lukasa koristi nova dostignuća digitalne tehnologije morfining (*morphing*) tehnikom. Pomenuta tehnika odnosi se na specijalne efekte u filmskoj industriji i kompjuterskoj grafici kojom se oblik ili slika jednog predmeta može transformisati u drugi. Posmatrano iz diskursa topologije, morfining tehnika je način na koji se vizuelno može predstaviti homeomorfno preslikavanje jednog predmeta u drugi u funkciji vremena. Efekat koji se ovom tehnikom postiže je bio toliko revolucionaran, da je vrlo brzo primenjen u nekoliko ostvarenja filmske i video produkcije ranih devedesetih<sup>181</sup> (slika 79). *Morphing* tehnika implementirana u 3D grafičke softvere, omogućavajući da ona postane dostupna korišćenju u brojne komercijalne i umetničke svrhe.

Pojavom prvih softvera sa 3D grafikom, kao i **razvojem prvih virtuelnih okruženja**, filozofi, naučnici, pisci naučne fantastike shvataju potencijal koji pružaju novi, digitalno generisani prostori. Osamdesetih godina pojavljuju se novi termini za prostor koji postoji izvan fizičke realnosti, različite strukture i svojstava od egzistencijalnog prostora. Termin sajber-prostor (*Cyberspace*) prvi put upotrebljen u naučno-fantastičnoj priči „Spaljeni hrom“ (*Burning Chrome*) Vilijama Gibsona (*William Gibson*) 1982. godine, vrlo brzo postaje



Slika 79

Sekvenca iz filma Terminator 2 na kojoj se vidi primena morfining efekta. Pomenuti film je postigao ogroman uspeh, osvojio brojne nagrade i imao uticaja na pop kulturu 90-tih.



Slika 80

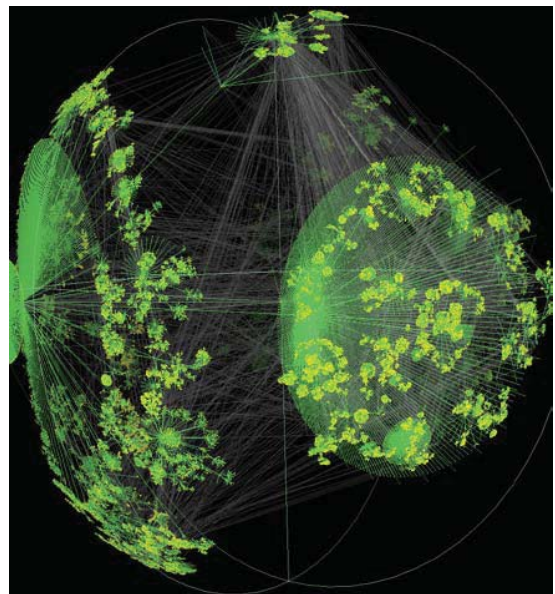
VR okruženja imaju primenu u različitim naučnim, umetničkim i industrijskim delatnostima: CAVE Virtualno okruženje u pre-produkcijskom istraživačkom centru fabrike automobila Audi.

<sup>181</sup> Najvažnija dela videoprodukcije u kojima je korištena morfining tehnika su film *Terminator 2* i muzički spot Majkl Džeksona (*Michael Jackson*) *Black or White*, oba iz 1991. godine, i tada su zabeležila rekorde u gledanosti širom sveta.



sinonim za digitalno generisani prostor, nezavistan od fizičke realnosti. Mogućnosti uticaja digitalno generisanih prostora na čovečanstvo i svakodnevni život ljudi postaje jedna od najvažnijih tema razmatranja tehnokratski orijentisanih naučnih krugova poslednje decenije XX veka, naročito nakon brzog napretka i popularizacije nove tehnologije *virtuelne realnosti*<sup>182</sup> (slika 80). Struktura i zakoni u digitalno generisanom su drugačiji od onih koji vladaju u fizičkom prostoru. Veličina, oblik, kao i međusobna udaljenost objekata su u takvom prostoru parametarski promenljive kategorije, zbog čega je njegova struktura poistovećena sa topološkim prostorom<sup>183</sup>.

**Razvitak komunikacije putem interneta i pojava *web-a*** je jedan od ključnih momenata u razvoju informacionih tehnologija, čije posledice na ljudsko društvo nisu ni do danas u potpunosti sagledane. Web mreža (*World Wide Web*), razvijena je u istraživačkom institutu CERN u Švajcarskoj 1989. godine. Web je globalni informacioni medijum, kojim su korisnici širom sveta u mogućnosti da upoznaju i razmenjuju i pretražuju različite informacije u vidu teksta, slike, zvuka ili videozapisa. Otkriće i razvitak web mreže dao je potpuno novu dimenziju u Internet komunikaciji i medijima, omogućavajući da ljudi sa različitih delova planete, mogu da pristupe različitim informacionim sadržajima. Šire posmatrano, upotreba Interneta promenila je značenje pojmova mesta, lokacije i udaljenosti (slika 81). Mogućnosti internet komunikacije omogućio je da se različiti vidovi ljudskih aktivnosti kao što su poslovanje, trgovina, razonoda ili društveni život mogu odvijati pomoću računara. Stoga je termin sajber-prostor u literaturi i naučnim tekstovima 90-tih identifikovan ne samo kao 3D virtuelno okruženje, već i kao nematerijalna, digitalno generisana struktura u kojem ljudi mogu obavljati veliki deo svojih



Slika 81

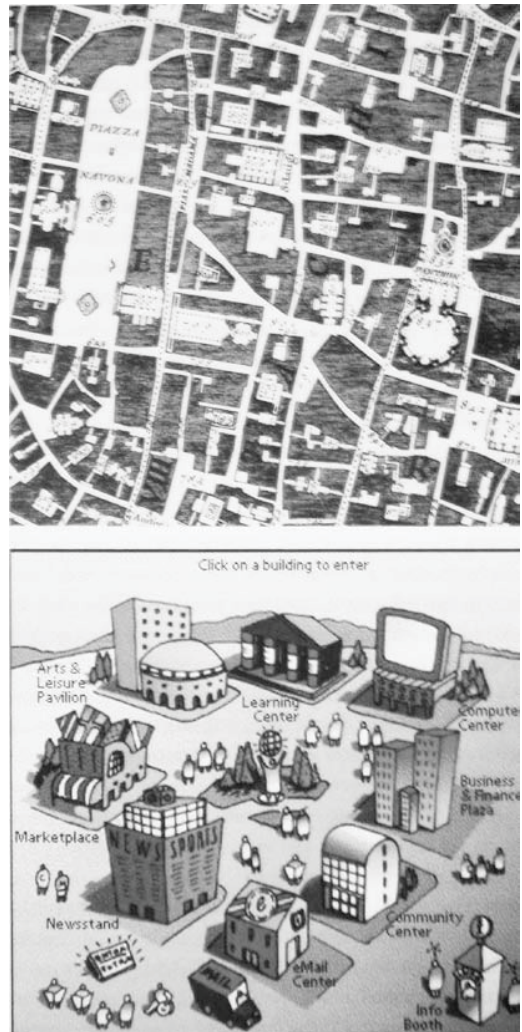
Vizualizacija topologije internet mreže prema Jong Hajunu (Young Hyun), CAIDA

<sup>182</sup> Pojam virtuelne realnosti ili VR (*Virtual reality*) se odnosi na kompjuterski simulirana okruženja koja direktno može biti povezana za senzorne modalitete kao što su vid, sluh dodir ili miris. Pomenuta tehnologija se počela razvijati krajem 60-tih godina XX veka, a 1989. godine Džeron Lanije (Jaron Lanier) prvi populariše termin *Virtuelna realnost*, a iste godine se prvi put javlja komercijalno dostupna senzorna kaciga (*Head-Mounted Display, HMD*)

<sup>183</sup> Videti detaljnije esej Brajana Mazumija (*Brian Massumi*) *Parables for the Virtual* (Massumi, 2003, str. 305-306)

svakodnevnih potreba i obaveza pomoću Interneta<sup>184</sup>. Margarit Virthajm (*Margaret Wertheim*) primećuje da sajberprostor nije sačinjen od čestica i atoma već od bitova, te stoga u njemu ne važe zakoni fizike<sup>185</sup>. Slična zapažanja i analogije između sajberprostora i realnog prostora iznosi u Vilijam Mičel (William J. Mitchell) u knjizi *City of Bits* 1995. godine. Mičel primećuje da je sajber-prostor konstituisan Internet mrežom eliminisao pojam *genius loci*-a, socijalne i društvene kodove koje definiše ljudsko poreklo u fizičkom geografskom prostoru<sup>186</sup>. Pol Virilio (*Paul Virilio*) predviđa da će struktura prostora u budućnosti biti istovremeno fizičke i virtuelne prirode<sup>187</sup>. Pol Virilio i Vilijam Mičel su nezavisno izneli stavove da će se pojam grada morati redefinisati, jer veliki broj ljudskih aktivnosti ne mora biti vezan za fizički prostor<sup>188</sup> (slika 82).

Na taj način su pojava virtuelnih okruženja i razvitak 3D softvera i mreže su postavili tehničko-tehnološke okvire za mogućnost razvoja ideje topološkog prostora. Istovremeno novi filozofski pristup Žila Deleza, jednog od najvećih filozofa XX veka, formirao je intelektualne temelje ideji topološkog prostora u arhitekturi. Filozofski pristup Delezovoj teoriji nabiranja, o kojoj će u narednom delu biti više reči, prepoznat je kao osnov za nov instrumentalni način mišljenja o topologiji u arhitekturi.



Slika 82

Ilustracija iz knjige Vilijam Mičela *City of Bits* koja prikazuje dva različita modela grada: tradicionalni (Mapa Rima Đanbatista Nolja iz 1748) i moderni-virtuelni (Korisnički ekran *E-World* servisa firme *Apple*) Mičel u u pomenutoj knjizi aludira na novu ulogu gradova u kojima je deo ljudskih aktivnosti vezan za virtuelni prostor

<sup>184</sup> Posmatran i u takvom kontekstu, pojam sajber-prostora je po svojoj strukturi topološki prostor. Sajber-prostor struktuiran internet mrežom počiva na vezi između objekata- digitalnih paketa informacija.

<sup>185</sup> Videti detljnije u eseju: *The Medevieal Return of Cyberspace* (Massumi, 2003, str. 47)

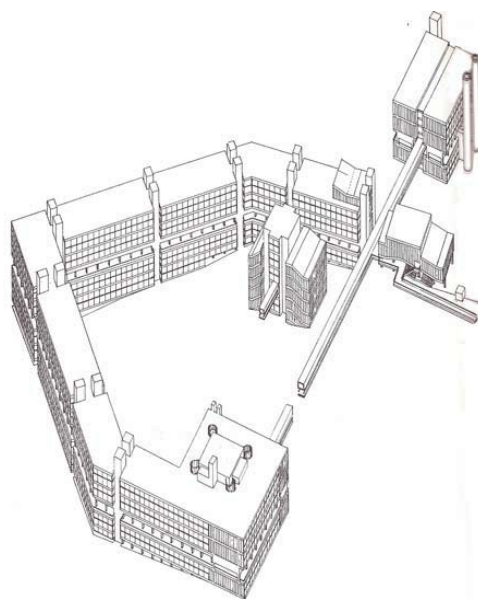
<sup>186</sup> (Mitchell, 1995, str. 10)

<sup>187</sup> Prema Intervjuu Pol Virilio sa Andreas Rabijem (Ruby, 1998, str. 181-187).

<sup>188</sup> Takva predviđanja su u prvoj deceniji XXI veka u velikoj meri i potvrđena. Prema svetskoj internet statistici (<http://www.internetworldstats.com/stats.htm> 5. feb. 2010) danas je svaki četvrti čovek na planeti korisnik interneta. Internet je uticao na nove forme društvenog organizovanja, interakcije i aktivnosti, a razvitak 3D weba pojavili su se prvi virtuelni svetovi koje korisnicima omogućavaju obavljanje svih ljudskih aktivnosti, osim egzistencijalnih. Jedan od trenutno najvećih virtuelnih 3D svetova je *Second Life* sa 20 miliona korisnika i 700 000 posetilaca mesečno. *Second Life* (SL) osim zabavnih koristi se i u naučne i kulturne svrhe: do sada je održano nekoliko predstava i muzičkih performansa, preko 300 univerziteta u svetu drži "onlajn" kurseve preko SL-a, a nekoliko zemalja, uključujući i Srbiju, otvorilo je virtuelnu ambasadu.

## 2.5.2. Instrumentalizacija ideje o topološkom prostoru u arhitekturi

Počeci instrumentalizacije topološkog mišljenja u arhitekturi javljaju se sredinom XX veka, ali tek u poslednjoj deceniji XX veka ona postaje važna tema u teorijskom diskursu i savremenoj arhitektonskoj praksi. Prvi put je termin topologija upotrebljen u kontekstu teorije arhitekture 1955. godine u eseju *Novi brutalizam* Rejnera Banama. U pomenutom eseju opisane su karakteristike novog pokreta koji se pojavio u Engleskoj. Novi brutalizam se razvio kroz kreativne napora članova *Nezavisne grupe (Independent Group)* intelaktualaca i umetnika okupljene oko Instututa savremene umetnosti (ICA) u Londonu. Članovi nezavisne grupe, kojima je i sam Banam pripadao, bili su pisci, teoretičari, umetnici i arhitekta, čiji je jedan od ciljeva bio preispitivanje tadašnjeg modernističkog pristupa kulturi i estetici. Proklamujući novi pristup u arhitekturi koji se oslikavao u radu arhitekata okupljenih oko Nezavisne grupe, Rejner Banam povlači paralele sa pojedinim umetničkim ostvarenjima tog doba. U umetničkoj izložbi *Parallel of life and art*<sup>189</sup> koja je obeležila početke novog pokreta, Banam uočava nefigurativan pristup koji prepoznaje u slikama Džekson Poloka (Jackson Pollock) i Alberto Barija (Alberto Burri) i poredi ga sa konkursnim rešenjem projekta arhitekata Alison i Piter Smitsona (Alison & Peter Smithson) za proširenje univerziteta u Šefildu. Prema Banamu, zajednički element za pomenuta umetnička ostvarenja jeste svođenje umetničkog koncepta na esencijalno. U kontekstu arhitekture, Banam upotrebljava pojam *topologija*



Slika 83

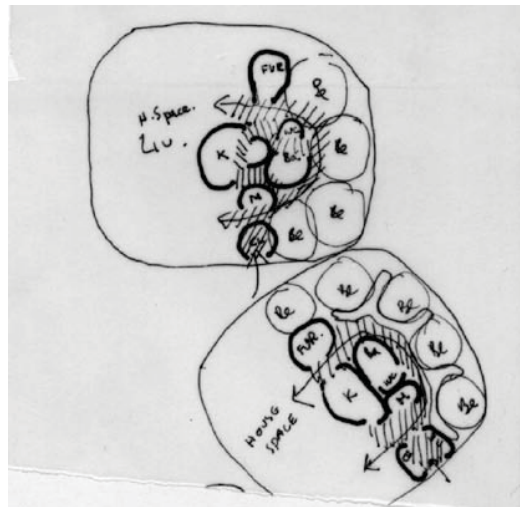
Aksonometrijski crtež konkurnog rešenja proširenja univerziteta u Šefildu Alison i Piter Smitsona.

<sup>189</sup> Izložbu *Parallel of Life and Art* organizovali su 1952. godine članovi *Nezavisne grupe*: Alison i Piter Smitson, Eduardo Paoloci (Eduardo Paolozzi) i Najdžel Henderson (Nigel Henderson). Pomenuta izložba imala je dosta sličnosti sa izložbom *Growth and Form* koju je godinu dana ranije organizovao Ričard Hamilton (Richard Hamilton) takođe član *Nezavisne grupe*. Interesantno je uočiti da je pomenuta Hamiltonova izložba nastala pod uticajem knjige Darsi Tomposona *On Growth and Form*, jedne od najuticajnijih naučnih knjiga XX veka, u kojoj je problem rasta i razvoja životinjskih vrsta posmatran kao topološki problem.

opisujući neformalni pristup organizacije prostora u kojem su programske veze a ne forma objekta od značaja: „Može biti pokazano da je projekat podređen kompoziciji, ali ne više bazirano na geometriji šestara i lenjira koji su i dalje osnova za mnoge arhitektonske kompozicije, već na intuitivnoj topološkoj senzitivnosti...U Smtisonovom projektu za Šefild uloge su zamenjene, topologija je postala dominantna a geometrija je podređena“<sup>190</sup> (slika 83). Za Rejnera Banama topologija je predstavljala način na koji se arhitektura može lišiti geometrijske forme i svesti na programsko-funkcionalne veze.

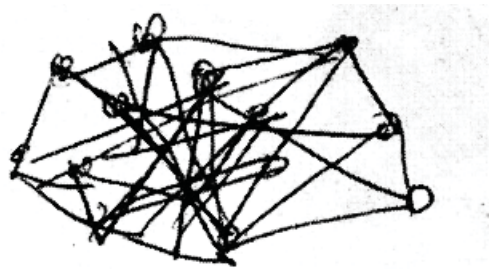
U takvom kontekstu, primena dijagrama dobija novi značaj u arhitektonskoj reprezentaciji projektantskih ideja. Taj zaokret se može uočiti upravo na primerima dijagrama Alison i Piter Smitsona kojima su generisali ideje tokom projektantskog procesa. Neki od tih dijagrama su bili potpuno ogoljeni od bilo kakvog figuralnog izraza, prikazujući samo veze između pojedinih elemenata. Takav pristup se može uočiti na dijagramu-crtežu Alison Smitson za projekat *Snowball Appliance* kuću iz 1957. godine, u kojem su prostorno-funkcionalne celine i pravci kretanja predstavljeni kružićima strelicama (slika 84). Tokom druge polovine XX veka dijagrami postaju prihvaćeni kao kreativni potencijal za istraživanje složenih problema apstraktnim strukturama (slika 85).

Kompleksno pitanje razvoja budućih gradova je krajem 50-tih i početkom 60-tih apstrahovano na dijagrame u kojima su pravci kretanja i saobraćajnih infrastruktura predstavljali veze, a blokovi i mega strukture čvorove jednodimenzionalnih topoloških mreža - grafova. Problemi saobraćajnih tokova svedeni su na probleme mreže, te se 60-tih godina javljaju različite koncepcije razvoja gradova: od trougaone, heksagonalne, radijalne



Slika 84

Skica Piter i Alison Smitsona za *Snowball Appliance* kuću iz 1957. godine. Crtež je sveden na dijagram u koji prikazuje programsko-funkcionalne veze.



Slika 85

Skica Pitera Smitsona, objavljena u Team10 Primeru koju je pratio propratni tekst: "Ideogram novih ljudskih odnosa P.D.S. Konstelacija sa različitim vrednostima i različitim delovima u neizmerno zamršenoj mreži.."

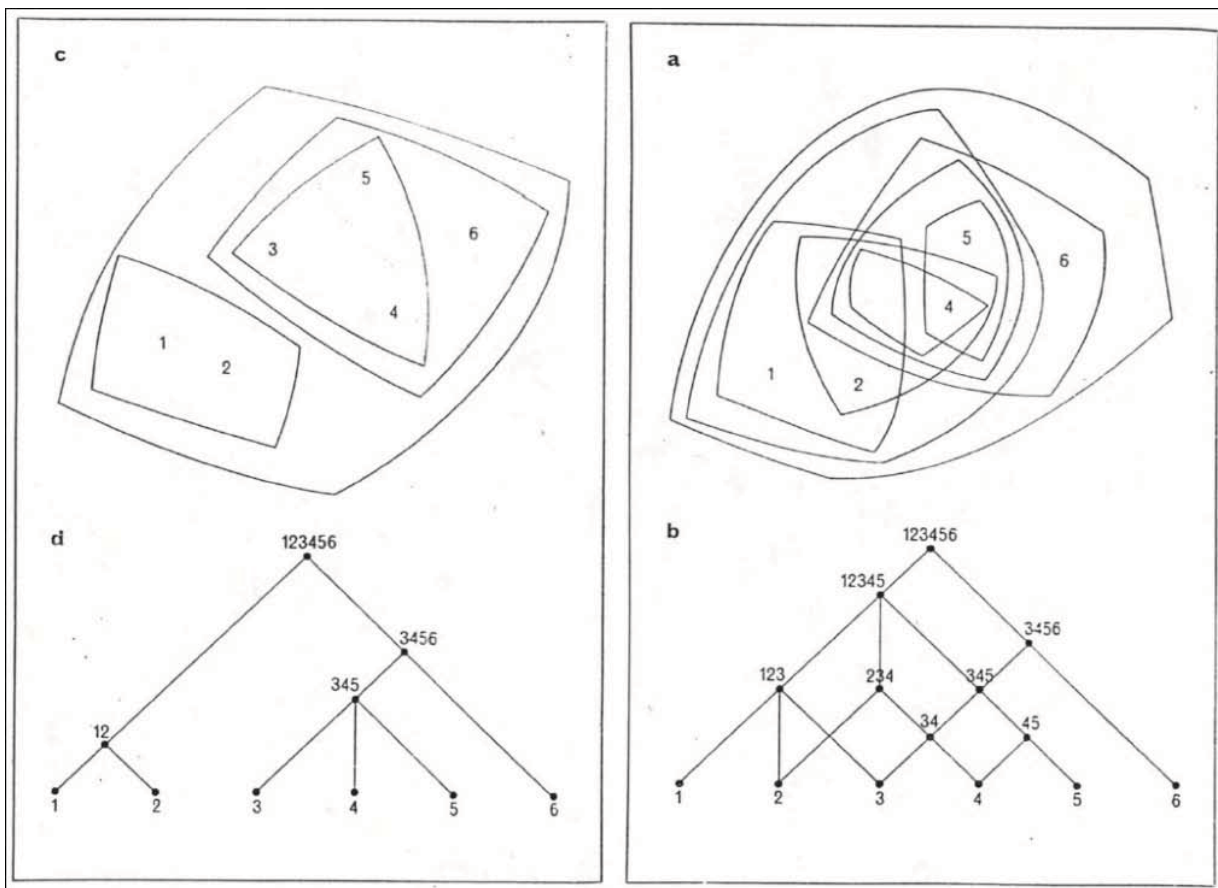
<sup>190</sup> Videti esej Rejndera Banama: *New Brutalism*, u: *A Critic Writes: Selected Essays* by Reyner Banham, 1997, str. 7-15. Banam je bio upoznat sa intrigantnim svojstvima nove grane matematike. Banam primećuje da se pojmovi lepote i geometrije (beauty & geometry) mogu posmatrati u mnogo opštijem smislu: slike i topologije (image & topology). Esej je originalno objavljen u: *Architecture Review* 118 december, 1955, str. 354-361.



ili modularne mreža saobraćajnica<sup>191</sup>. Baveći se pitanjem razvoja grada Kristofer Aleksander (Christopher Alexander) piše uticajan esej "Grad nije stablo" (A City is Not a Tree) 1965. godine, u kojem je problem strukture gradova sveden na problem grafova. U pomenutom eseju Aleksander pokazuje da se istorijski gradovi odlikuju većim brojem preklapanja sadržaja od modernih gradova kojima nedostaje raznolikost, koristeći se dijagramom polurešetke i krošnje. Aleksander pokazuje da postoji daleko veći broj veza kod polurešetke, odakle potiče raznolikost sadržaja u tradicionalnim gradovima (slika 86).

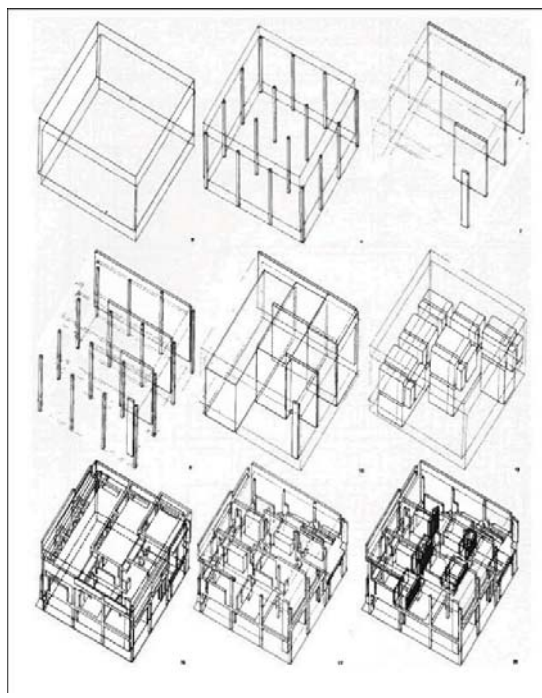
Slika 86

Dijagram Kristofera Aleksandra iz eseja *A City is Not a Tree*. Moderni gradovi (dijagram levo) poseduju hijerarhijsku strukturu grananja funkcionalnih veza (tree), dok tradicionalnim gradovima (dijagram desno) više odgovara struktura polurešetke (semi-lattice), u kojima postoji veće povezivanje različitih sadržaja. Aleksanderov tekst je kritika modernog načina planiranja gradova u kojima, za posledicu nedostaje raznolikost.



<sup>191</sup> Projekti Kenco Tangea (Kenzo Tange) za Tokijski zaliv (1960), Kandilis, Josić i Vuds (Candilis, Josic, Woods) Toulouse - le Mirall (1961), i za slobodni univerzitet u Berlinu (1963), ili teorijska razmatranja Le Rikolalsa (Le Ricolals) i Lajonel Marša (Lionel March) o parametarima oblika gradova (1967) nudile su različite načine struktuiranja sadržaja u gradovima oslanjajući se na topološke varijacije povezivanja saobraćajnih komunikacija. Odatle su proizašle neke od novih principa struktuiranja urbane forme: ideja stabla i tkanja (Kandilis Josić i Vuds), fleksibilni zglobni elementi (Kenco Tange), triheks i heksagonalne mreže ulica (Le Rikolals, Lajonel Marš) Konkursni projekat Alison i Piter Smitsona *Golden Lane* (1951), može se smatrati prethodnicom u takvom načinu struktuiranju urbane forme, koje je Rejner Banam prepoznaje kao "Aformalnim".

Tema dijagrama u arhitekturi postaje naročito značajna nakon serije teorijskih radova i arhitektonskih istraživanja arhitekta Peter Ajzenmana (Peter Eisenman). Za Ajzenmana dijagram je generator arhitektonske ideje koji ne mora nužno biti apstrakcija. Primena dijagrama kao teorijskog okvira i projektantskog alata bili su od suštinske važnosti kroz čitav stvaralački opus. Ajzenmanov pristup dijagramu u arhitekturi je istovremeno kompleksan i paradoksalan. Ajzenmanov pristup dijagramima je pod uticajem lingvističke teorije *Generativne gramatike* Noama Čomskog<sup>192</sup>. Prema pomenutoj teoriji duboka struktura koja čini osnovu jezika može uticati na površinske strukture. Slično, za Ajzenmana dubinska struktura arhitekture<sup>193</sup> jeste njen teorijski diskurs, istorija i generativni proces razvoja ideja (slika 87). Dijagrami su u tom kontekstu samo medijum između dubinske strukture i realnog objekta. Transformacije koje se pri tom primenjuju na elemente kao što su rotacija, translacija, preklapanje, dekompozicija su dubinska pravila koja bi trebalo da budu zabeležene u arhitektonskoj formi. Takav, generativan pristup istraživačkom procesu u arhitekturi bio je od suštinskog značaja za afirmaciju topologije u arhitekturi u digitalnoj epohi.



Slika 87

Peter Ajzenman aksonometrijska istraživanja za kuću II. Transformativni dijagrami shvaćeni su kao "generativna gramatika arhitektonskih oblika". U Ajzenmanovim projektima kuća I-X, geometrijski oblici su sintaksa a transformacije (rotacija, translacija, homotetija) gramatička pravila

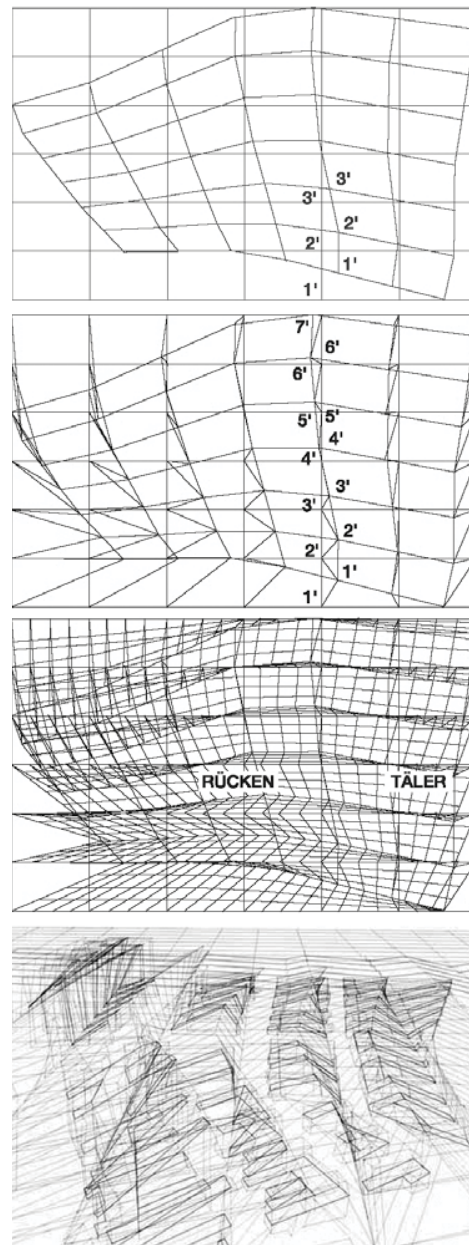
Važan pomak ka instrumentalizaciji ideje topološkog prostora u arhitekturi počinje početkom 90-tih godina XX veka i predvođen je upravo radom Pitera Ajzenmana, koji pravi zaokret u odnosu na prethodni teorijski diskurs koji je bio koncipiran na dekonstruktivističkoj filozofiji Žaka Deride (Jacques Derrida) i postmodernističkom pristupu defragmentacije elementa. Presudan momenat u tom smislu predstavlja Ajzenmanovo konkusno rešenje Rebstock parka u Frankfurtu 1990. godine. Novi teorijski pristup u arhitekturi koji počiva na ideji nastajanja, promene, kontinuiteta i diferencijacije arhitektonske forme razvijen je pod uticajem filozofskog dela "Prevoj: Lajbnic i barok", (Le pli - Leibniz et le baroque) velikog

<sup>192</sup> (Jencks, 2002, str. 208)

<sup>193</sup> Dubinsku strukturu arhitekture Ajzenman naziva unutrašnjost arhitekture. (Eisenman, 1999)

francuskog filozofa XX veka Žila Deleza iz 1988. godine. Pojam *Le pli*, odnosno *prevoj* ili *nabor*<sup>194</sup>, kao i izvedenice te reči preklapanje, nabiranje, umotavanje, savijanje, ključne su za razumevanje novog pristupa ideje prostora u arhitekturi. Delez se zalaže za novi koncept prostora, koji ima logiku kontinuiteta i diferencijabilnosti naspram diskretizacije i fragmentarnosti, koja je karakteristična za postmodernistički kartezijanski način mišljenja. U pomenutom delu postavljeni su novi epistemološki okviri za razumevanje prostora u filozofiji i umetnosti u kojem je *prevoj* a ne tačka, osnovni entitet prostora<sup>195</sup>. Delezov filozofski koncept nije zasnovan na Kartezijanskoj već Lajbnicovoj, diferencijabilnoj logici. Delezov prostor nije homogen, statičan i kartezijanski već elastičan, diferencijabilan, topološki. Tela u tako definisanom prostoru nisu definisana geometrijskim mestom tačaka, već stepenom elastičnosti i uticajima sila koja deluju na telo.

Piter Ajzenman je prvi arhitekta koji je prihvatio Delezovu teoriju *nabiranja* primenjujući ga na konkursno urbanističko rešenje Rebstock parka u Frankfurtu (slika 88). U pomenutom projektu koristi se idejom *nabiranja* kao način da za generisanje nove urbane strukture koja u sebi sadrži elemente prethodnog urbanističkog razvoja. Formalni pristup koji upotrebljava u procesu razvoja konceptualnog crteža projekta, Ajzenman preuzima iz dijagrama Rene Tomove (René Thom) teorije katastrofe, čiji je osnovni cilj da opiše ponašanje kompleksnih dinamičkih sistema u kontekstu topologije. Dijagrami katastrofe opisuju evoluciju promena u takvom sistemu gde male i kontinualne promene mogu dovesti do katastrofe, odnosno velikih promena u geometrijskoj topologiji. Upravo takav pristup primenjuje Ajzenman u projektu Rebstock parka savijajući i preklapajući raster u kojem je



Slika 88

linstrumentalni pristup teoriji nabiranja u konkursnom projektu Rebstock Parka u Frankfurtu arhitekta Pitera Ajzenmana

<sup>194</sup> Pojam *pli*, kao i engleski prevod *fold*, krije bogatstvo značenja koje su sauzane u samoj strukturi reči. Zil Delez, a potom pojedini teoretičari arhitekture igraju se sa izvedenicama reči *pli*. Videti na primer esej Greg Lina (Greg Lynn) *Architectural Curvilinearity: The Folded, the Pliant and the Supple*.

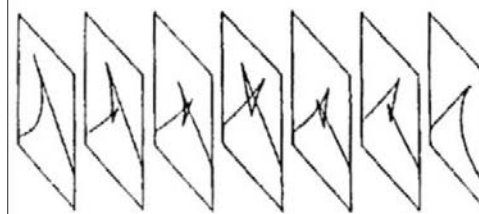
<sup>195</sup> "Jedinica materije, najmanji element lavirinta je prevoj, a ne tačka, koja nikad nije deo, već jednostavno ekstremitet linije". Gilles Deleuze, *The Fold: Leibniz and the Baroque*. Citat preuzet iz: *Architecture and Science*: (Di Cristina, 2001, str. 40)



upisana karakteristična modernistička urbana matrica višeporodičnog stanovanja (Siedlung) Ernsta Meja. Kako Greg Lin primećuje, sličan pristup i formalni jezik dijagrama katastrofe može se uočiti u još tri projekta krajem 80-tih i početkom 90-tih godina XX veka: u projektu Karsten Juel Kristijansena (Carsten Juel-Christiansen) *Die Anhlater Faltung*<sup>196</sup> (1988), konkursnom rešenju Baram Širdela (Bahram Shirdel) za kongresni centar u Nari-Japan (1992) i instalaciji Džefri Kipnisa u Unite Habitation (1992), u Brieju Francuska.

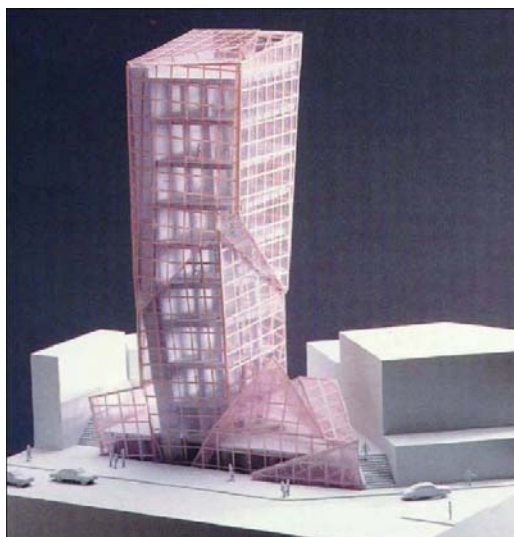
Ajzenmanov formalni pristup teoriji katastrofe stvorio je sopstvenu liniju generisanja formi. Momenat koji je Ajzenmanu naročito bio važan u dijagramima katastrofe jeste “događaj, momenat nestabilnosti kada dolazi do loma ili preklapanja”<sup>197</sup> (slika 89). Generisanje forme „lomljenjem i preklapanjem“ površi ili inicijalnog volumena može se uočiti u Ajzenmanovim projektima početkom 90-tih godina XX veka. Dok je takav pristup u Rebstock parku bio primenjen na površ u koji je upisana urbana matrica, u narednim projektima *Alteka* poslovna zgrada u Japanu (1991) (slika 90), *Emory* centru za umetnost (1991) i biblioteke *L'IHUEI* univerziteta u Ženevi (1996), savijanje, lomljenje i preklapanje, je primenjeno na čitavom objektu.

Mladi arhitekti koji su radili u Ajzenmanovom projektantskom krajem 80-tih godina XX veka Džefri Kipnis (Jeffrey Kipnis), Senford Kvinter (Sanford Kwinter) i Greg Lin (Greg Lynn), razvijaju dalje *teoriju nabiranja* u arhitekturi, a Delezova filozofija i ideja topološkog postora reflektovala se i na šire krugove arhitekata. Tekstovi Džefri Kipnisa i Greg Lina objavljeni u časopisu *Architectural Design* 1993. godine postali su svojevrsni manifest Nove arhitekture koja se oslanjala na teoriju *nabiranja*, ideju o kontinualnim deformacijama u topološkom prostoru. U tekstu “Arhitektonska zakrivljenost” (*Architectural Curvlinearity: The Folded, The Pliant and the Supple*)



Slika 89

Maketa za konkursni projekat Rebstockparka (gore) i dijagrami teorije katastrofe iz Ajzenmanovog eseja: *Unfolding Events: Frankfurt Rebstockpark and the Possibility of a New Urbanism* (dole). Ajzenman konceptualizuje Rene Tomovu teoriju katastrofe i povezuje je sa teorijom nabiranja u arhitekturi



Slika 90

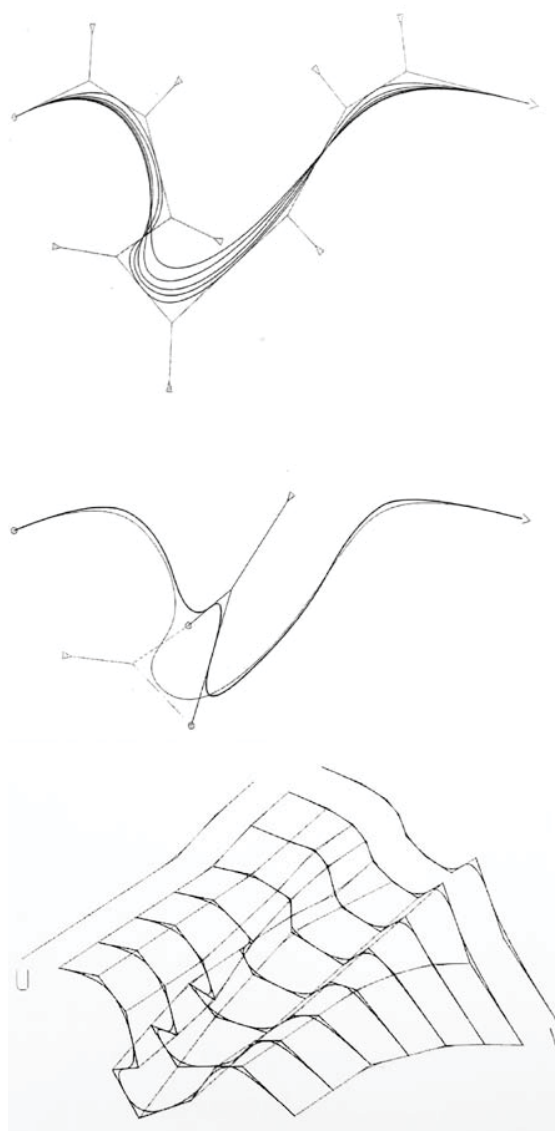
Maketa za projekat poslovne zgrade Alteka, Pitera Ajzenmana

<sup>196</sup> Kristijansenovom projekt *Die Anhlater Faltung* nastao je dve godine pre Ajzenmanovog Rebstock parka. Zbog toga je Kristijansen tvrdio da je prvi otkrio teoriju nabiranja u arhitekturi.

<sup>197</sup> Videti detaljnije u: (Eisenman, 1993)



objavljenom u časopisu *Architectural Design*, 1993. godine, Greg Lin postavlja nešto drugačiji pristup teoriji nabiranja od Ajzenmanovog, u kojem posmatra one deformacije sistema koje utiču na stvaranje kontinualnih i zakrivljenih površi. Lin u pomenutom članku primećuje da “S obzirom da je glatki (topološki) prostor senzitivn i kontinualan, deformacije topološke geometrije su moguće kao odgovor na spoljašnje događaje”<sup>198</sup>. Drugim rečima topološki prostor u arhitekturi je senzitivni medijum čije su kontinualne i fluidne deformacije reakcija na uticajne sile. Na takav topološki pristup istraživanju forme u arhitekturi uticala je knjiga Darsi Tompsona o Rastu i razvoju. Greg Lin pravi distinkciju između dva različita tipa kontinuiteta razvoja formalnih sistema: tradicionalnog, fragmentarnog i postmodernističkog naspram novog homogenog i dinamičkog. Poredeći problem mreže devet kvadrata Kolin Roua<sup>199</sup> (Colin Rowe) i Tompsonovu mrežu kontinualnih deformacija i diferencijacije životinjskih vrsta, Lin primećuje da su dijagrami Kolin Roua “fiksni, statični, egzaktni, identični i pravolinijski” dok su Tompsonovi, “dinamični, nepravilni, mekani, diferencijabilni”<sup>200</sup>. Greg Lin prepoznaje Tompsonov princip generisanja forme u kojem spoljne uticajne sile deformišu inicijalnu geometrijsku mrežu. Instrumentalni pristup kontinualnim i glatkim transformacijama geometrijske forme Lin pronalazi u mogućnostima softverskih alata za kompjutersku animaciju i simulaciju dinamičkih sistema (slika 91). Uočivši uticaje koje je digitalna morfing tehnika primenjena u filmskoj industriji imala na umetnost i kulturu početkom poslednje decenije XX veka, Lin i sam počinje da istražuje nove mogućnosti softverskih alata. U knjizi “Pokrenuta forma” (*Animate Form*) iz 1997. godine, Lin definiše tri osnovne karakteristike digitalnog medijuma reprezentacije



Slika 91

Ilustracije iz knjige *Animate Form* Greg Lina. Greg Linov pristup teoriji nabiranja u arhitekturi oslanja se na koncept kontinualnih, glatkih transformacija kriva i površi, a alati za modelovanje CGI softvera omogućavaju parametarsku kontrolu kontinualnih deformacija slobodnih krivih i površi.

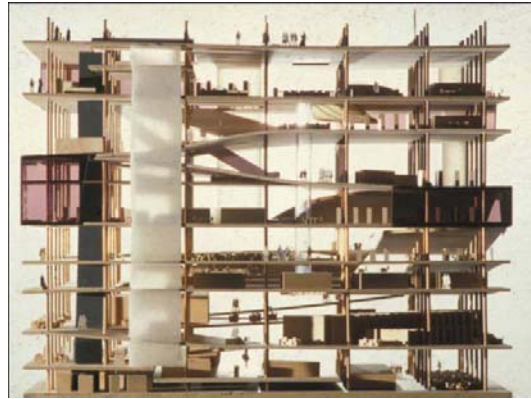
<sup>198</sup> (Lynn, 1993, str. 12)

<sup>199</sup> Dijagram devet kvadrata odnosi se na uporednu analizu Paladijevih i Le Korbizjevovih vila Rudolfa Vitkavera i Kolin Roua. Duboka unutrašnja struktura koja povezuje Paladijeve i Korbizjeove vile zasnovana na matematičkim principima, imala je veliki uticaj na konceptualni pristup u arhitekturi koji se može prepoznati u radu Pitera Ajzenmana i Džona Hejduka (John Hejduk) 60-tih i 70-tih godina XX veka.

<sup>200</sup> (Lynn, 1993, str. 12)

prostora: *topologija, vreme i parametri*<sup>201</sup>. U *Pokrenutoj formi* prikazani su potpuno novi načini generisanja arhitektonskih oblika softverskim alatima za kompjutersku animaciju, oslanjajući se na ideju uticajnih sila koje generišu oblike topološkog prostora. Ti alati biće kasnije objašnjeni detaljnije.

Teorija nabiranja u arhitekturu i interes za kontinualne, glatke, pokrenute topološke oblike, za kakve se zalagao i Greg Lin u svom eseju "Arhitektonska zakrivljenost", postaje sve značajniji u radu arhitekata od 1993. godine. Rem Kolhas (Rem Koolhaas) poziva se na sopstveno tumačenje Delezofe filozofije integrišući teoriju nabiranja sa teorijom kompleksnih sistema<sup>202</sup>. U konkursnom projektu za biblioteku Žisio u Parizu (Bibliothèques Jussieu) Rem Kolhas izvija podove, zidove i tavanice u jednu kontinualnu površinu. Čitav objekat je rampa u neprekinutom pokretu, u kome spratovi predstavljaju samo polja sa različitim aktivnostima (slika 92). Ideja o kontinualnom *fluidnom* prostoru u kome su isključeni tradicionalni odnosi između horizontalnog i vertikalnog, podova i zidova postala je naročito uticajna, među krugovima mladih holandskih arhitekata. Već na konkursu za međunarodni lučki terminal u Jokahomi, 1995. godine pojavilo se nekoliko radova<sup>203</sup> među kojima i pobjednički iz studija FOA (Foreign Office Architects) koncipiran kao „topološki pejzaž“ sa kontinualnom i pokrenutom formom poda i tavanice i gde ne postoji zid kao klasičan element (slika 93). Sličan pristup može se uočiti i u projektima mladih holandskih arhitekata krajem poslednjih godina XX veka: Lars Spajbruka (Lars Spuybroek) iz *NOX-a*, Kas Oosterhuisa (Kas Oosterhuis) iz *Oosterhuisassociatsa*, Ben van Berkela (Ben van Berkel) i Kerolin Bos (Caroline Bos) iz UN Studia i studio Vini Masa (Winy Maas) i Jakob fan Rajsja (Jacob van Rijs) iz MVRDV-a.



Slika 92

Maketa za projekat biblioteka Žisio, Rem Kolhasa. Podovi i tavanice različitih etaža stopljeni su u jedinstvenu kontinualnu formu



Slika 93

Konkursno rešenje projekta međunarodnog lučkog terminala u Jokahomi, FOA studija. Nivo poda nije horizontalna ravan, već pokrenuta forma, bez jasne granice između zidova poda i tavanice

<sup>201</sup> (Lynn, 1999, str. 20)

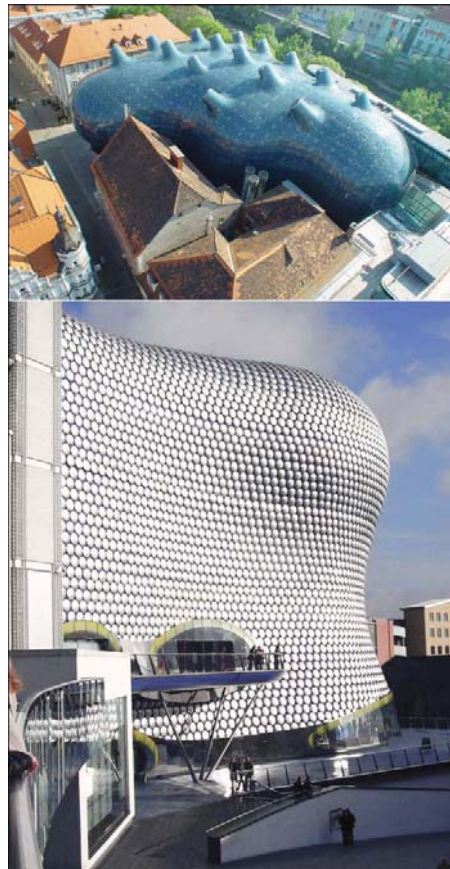
<sup>202</sup> (Berressem, 2005, str. 99)

<sup>203</sup> Pre svega se misli na konkursna rešenja studia Kolatan/Mekdonald (Kolatan/Mac Donald) i Vinke Dabeldam/Arhi-tektoniks (Winka Dabbeldam/Archi-tectonics)

U poslednjih sedam godina XX veka, a zatim i u prvoj deceniji XXI veka, nastao je čitav niz projekata i izvedenih objekata sa zakrivljenim površima generisani pomoću digitalnih alata. Peter Zelner (Peter Zellner) objavljuje knjigu *Hibridni prostor: Nove forme u arhitekturi*, u kojoj su bili prikazani novi, avangardni projekti i pristupi generisanju arhitektonske forme pomoću digitalnih tehnologija. Jedan deo uvodnog poglavlja u knjizi bio je posvećen definisanju pojma topologije kao i njene uloge u novom, digitalnom arhitektonskom dizajnu. Pojam *blob arhitekture* koji je skovao Greg Lin 1995. za jedan od svojih generativnih pristupa modelovanju forme, postaje uobičajen naziv za nove oble i „mehuraste“ objekte koji su se javili širom planete u poslednje dve decenije. Blob oblici postali su toliko česti u novijoj arhitekturi da oni postaju nova arhitektonska paradigma, sinonim za digitalno generisane topološke forme (slika 94).

Razvoj digitalnih tehnologija i arhitektonsko-filozofski pristup teoriji nabiranja bili su ključni momenti ka novom i razgranatom pristupu ideji topologije u arhitekturi. Preklapanje, savijanje i deformisanje geometrije arhitektonskih formi, je jedna od dve evolutivne linije instrumentalnog topološkog mišljenja u arhitekturi, čiji je razvoj omogućen primenom digitalnih tehnologija.

Druga linija razvoja ideje topološkog prostora u arhitekturi može se posmatrati u odnosu na istraživanje i implementacije kvalitativnih karakteristika topoloških formi u arhitekturi. Topološke površi prepoznate su kao način da se implementiraju nove ideje o prostoru. U tom smislu Mobijusova traka, Klajnova boca, ili torus nude važna topološka svojstva koja mogu promeniti tradicionalni pristup strukturi, organizaciji i percepciji prostora u arhitekturi. Intrigantna svojstva neorijentabilnih površi, a pre svega Mobijusove trake, već su bili postali prisutna tema u umetnosti sredine XX veka u različitim umetničkim interpretacijama, kao simbol ciklične i kontinualne forme. Takav pristup umetničkoj formi, koja nema početak niti kraj,



Slika 94

Pojam blob arhitekture vezuje se za objekte sa kontinualnim glatkim sferoidnim formama kao što je Kunsthaus u Gracu (gore) ili Selfidžis tržni centar u Birminghamu. Pomenute forme nastale su primenom softvera koji podržavaju modelovanje NURBS površima ali ne nužno i alatima za generisanje meta-lopti tj. blobova.

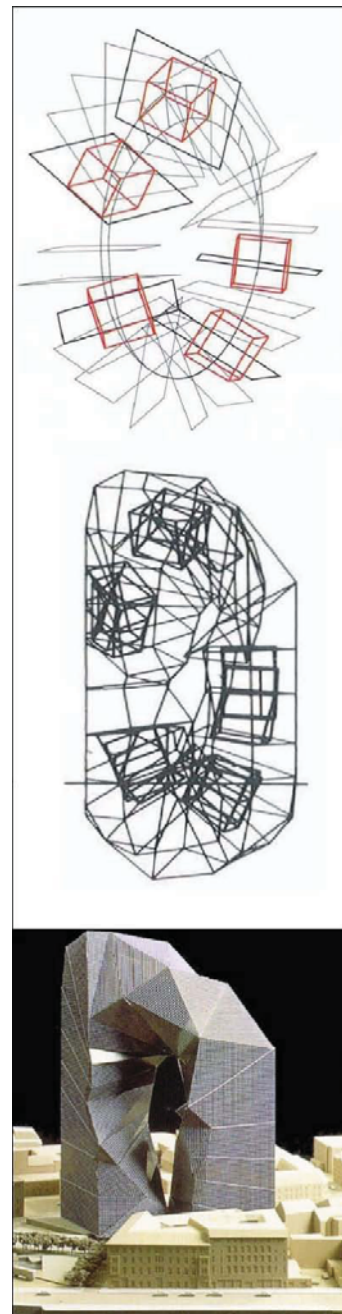


Slika 95

Maketa projekta kuće *Endless House* Fridrih Kislera. Kislerov projekat se često citira kao objekat koji je anticipirao koncept bloba u arhitekturi.

spoljašnjost niti unutrašnjost, prvi je pokušao da integriše u arhitekturu Fridrih Kisler (Friedrich Kiesler), austrijski umetnik i arhitekta (slika 95). Kisler je u periodu od 30-tih godina XX veka do 1959. godine razvijao ideju za projekat *Beskrajne kuće (Endless House)*, koja nikad nije realizovana, ali je imala uticaja na pojedine arhitekta sa kraja XX veka, kao što su Ben van Berkel i Kerolin Bos iz UN studia<sup>204</sup>. Oblik kuće ima ovalnu biomorfnu formu anticipirajući *blob* arhitekturu više od tri decenije kasnije. Površina kuće je kontinuirana, bez jasnih granica između poda, zidova ili tavanice. Takva prostorna koncepcija ima podudarnosti sa umetničkim interpretacijama mobijusove trake sredinom XX veka kroz teme kontinuiteta, cikličnosti i neorijentabilnosti.

Mobijusova traka ima nekoliko interesantnih svojstava koje se mogu interpretirati u arhitekturi. Ona je simbol beskonačne ali ograničene površi, na kojoj kretanjem u jednom pravcu se dolazi do početne tačke. U arhitektonskoj interpretaciji Mobijusove trake simboliše prostorni relativizam između spoljašnjosti i unutrašnjosti. Tema Mobijusove trake u arhitekturi može se pratiti kroz nekoliko arhitektonskih projekata i ostvarenja. Mobijusu traku u arhitekturu prvi put uvodi Piter Ajzenman kao vrstu matematičkog dijagrama kojim se na nivou ideje istražuju pojedine osobine arhitektonskih prostora. Prvi projekat u kojem se Ajzenman koristi idejom Mobijusove trake je urbanistički projekat Kanaređo (Cannaređo) u Veneciji iz 1978. godine, kao i u kući 11a koja je bila deo tog projekta. U pomenutim projektima ne postoji formalna veza između Mobijusove trake i samog projekta, već samo kao koncept kojim se preispituju odnosi između spoljašnjeg i unutrašnjeg prostora. U projektu zgrade Maks Rajnhart (Max Reinhardt Haus) u Berlinu iz 1992. godine (slika 96), Ajzenman upotrebljava Mobijusovu



Slika 96

Prikaz geneze arhitektonske forme u projektu *Max Reinhardt Haus* Pitera Ajzenmana. Mobijusova traka korištena je kao generatrisa po kojoj se kreće kocka

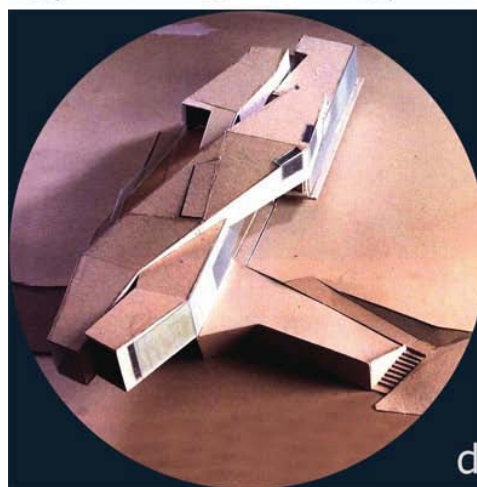
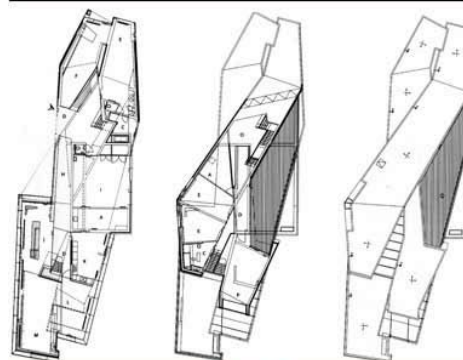
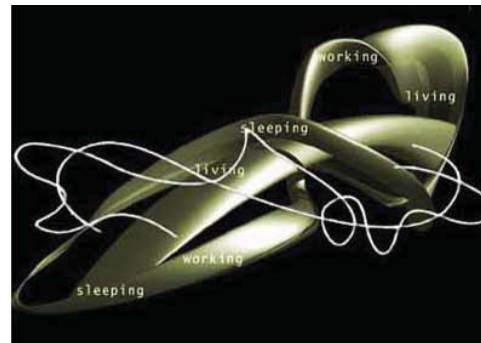
<sup>204</sup> Endless House | Frederick Kiesler. (2009, Septembar 21). Preuzeto januara 22, 2010, sa dpr-barcelona: <http://dprbcn.wordpress.com/2009/09/21/endless-house-frederick-kiesler/>



traku kao element u procesu generisanja forme. Forma objekta grubo izvedena iz tragova kretanja kocke po putanji generisanoj Mobijusovom trakom (slika 97).

Korak dalje u tom pravcu napravili su arhitekta UN studija Ben van Berkel i Kerolin Bos, koji su uveli pristup posmatranja topoloških površi kao *matematičkih modela*, koji omogućavaju implementaciju različitih ideja i organizacionih šema u arhitekturu. U tom kontekstu UN studio je uveo različite topološke figure kao matematičke modele u procesu razrade projekta. Prvi projekat u kojem je na taj način upotrebljen model topološke površi je *Mobius kuća* u Het Gooi (Het Gooi), u Holandiji. U projektu UN STudia za kuću u Het Gui iz 1993. godine, "Mobijusova traka nije uzeta u striktnom matematičkom smislu već kao dijagram organizacione strukture elemenata arhitekture kao što su prostor, svetlost, materijali, vreme i kretanje. Mobijusovom trakom integrisan je program, kretanje i konstrukcija u kontinualnu i neprekinutu celinu"<sup>205</sup> (slika 97). Na sličan način upotrebljen je model klajnovne boce u projektima Arnhem centrale (1996) u Arnhemu privremenog paviljona *Living Tomorrow* (2000) u Amsterdamu. U projektu paviljona *Living Tomorrow*, klajnova boca korištena je kao model za rešavanje kontinuiranog kretanja do pojedinih funkcionalnih celina pri čemu se istovremeno manipuliše sa odnosima spolja i unutra (slika 98). Karakteristične topološke figure, a naročito neorijentabilne površi Mobijusova traka i Klajnova boca, prihvaćene su vrlo brzo kao konceptualni modeli i kod drugih arhitekata današnjice kao što su Steven Perela (Steven Perella), Zaha Hadid, Mekbrajd Čarls Rajan studio (McBride Charles Ryan), Akilalberg studio (Aquillalberg studio) i BIG Architects studio.

Ideja topološkog prostora uticala je na stvaranje jednog nove paradigme u arhitekturi. Početkom druge polovine XX veka, ona je uticala na posmatranje problema građenja na nivou esencijalnih, programsko-



Slika 97

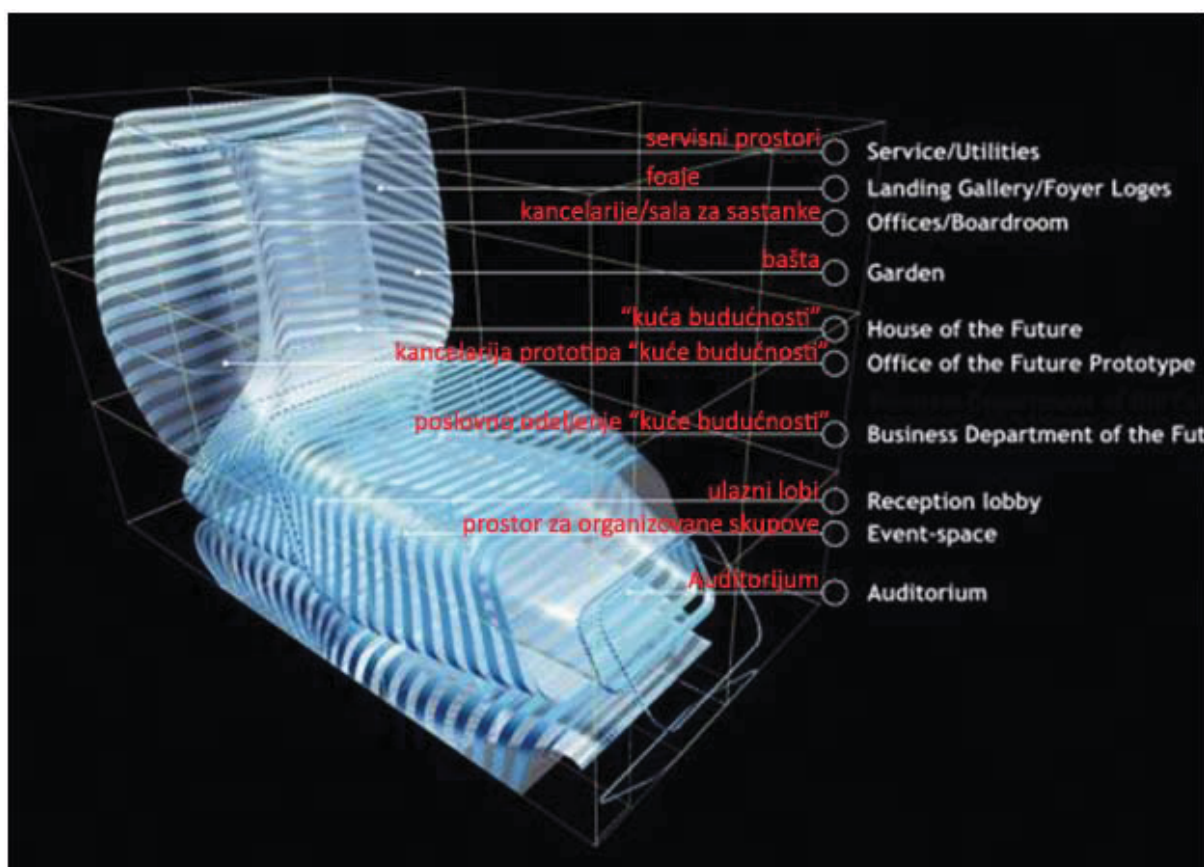
Mobiusova traka kao dijagram organizacione strukture elemenata u projektu *Mobius House*, UN Studija. Osnova kuće (sredina) i maketa (dole)

<sup>205</sup> (van Berkel & Bos, 2006, str. 150)

funkcionalnih veza, lišene formalnih elemenata, da bi u digitalnoj epohi dobila potpuno nove okvire. Predviđanja arhitekata, filozofa i naučnika sa kraja XX veka da će se ljudska egzistencija u budućnosti istovremeno vezati za fizički prostor i virtuelni prostor su sve očiglednija, što je uticalo na redefinisane nekih osnovnih doktrina u arhitekturi. Na prelazu dva milenijuma arhitektura je ponudila prve odgovore na pitanje fleksibilnosti i prilagodljivosti arhitektonskih programa, a neki od odgovora odrazili su se i na arhitektonsku formu. Digitalno radno okruženje prepoznato je kao topološki prostor u kojem su omogućene modulacije arhitektonskih oblika u zavisnosti od uticajnih sila i vremena. Istovremeno sa interesom arhitekata ka generativnom pristupu projektovanju, dovedene su u fokus i brojne naučne teorije koje se bave fenomenom kompleksnih adaptivnih sistema, što je uticalo na dalji razvitak ideja o prostorima u arhitekturi, što je detaljnije prikazano u sledećem poglavlju.

Slika 98

Klajnova boca kao model organizacione šeme u projektu privremenog paviliona *Living Tomorrow* u Amsterdamu, UN studija.



## 2.6. Kompleksni adaptivni sistemi: teorijski okviri za formulisanje nove ideje o prostoru u arhitekturi

U dosadašnjem radu prikazan je način na koji su matematičke koncepcije prostora transponovane u nauku, kulturu ili filozofiju posredno ili neposredno uticale na razvitak savremene arhitekture. Osim pomenutih matematičkih koncepcija, u poslednjih nekoliko godina novi načno-filozofski diskurs koji se oslanja na teorije i fenomene kompleksnih sistema ima veliki uticaj na ponovno redefinisavanje ideja o prostoru u arhitekturi. Oslanjajući se na neke od osnovnih karakteristika kompleksnih sistema kao što su samoorganizovanost i emergencija jedan od pravaca razvoja arhitekture XXI veka orijentisan je ka primeni novih matematičko-informatičkih modela i otkrića u geometriji kojima se kompleksni sistemi mogu opisati.

Pojam kompleksnosti je relativno mlad u nauci i odnosi se na skup elemenata koji su u međusobnoj korelaciji, a čije je zajedničko ponašanje netrivialno i neočekivano. Pojam kompleksnog sistema podrazumeva bilo koji sistem koji se sastoji od velikog broja interaktivnih komponenti (agenata, procesa itd.) čija je zajednička aktivnost nelinearna, odnosno nije jednaka zbiru svih aktivnosti individualnih komponenti<sup>206</sup>. Razvitku nauke o kompleksnosti prethodio je nastanak kibernetike 40-tih, generalne teorije sistema 50-tih i teorija haosa, katastrofe i dinamičkih sistema 60-tih i 70-tih godina XX veka<sup>207</sup>. Danas se pod pojmom *nauke o kompleksnosti* obično misli na one teorije kompleksnih sistema koje se bave problemima adaptacije i samo-organizacije sistema odnosno *kompleksnim adaptivnim sistemima*. U tom smislu pojam adaptivnosti se odnosi na mogućnost promene i prilagođavanja usled uticaja okruženja ili samih elemenata u okviru sistema. Drugim rečima kompleksni adaptivni sistemi se mogu definisati kao skup međusobno interaktivnih agenata ili elemenata, koji poseduju mogućnost da se razvijaju i prilagođavaju promenama u okruženju.

Termin kompleksni adaptivni sistem (CAS) je prvi put upotrebljen na naučnom institutu za kompleksna istraživanja Santa Fe u Americi, 80-tih godina XX veka<sup>208</sup>. U pomenutom institutu, ovu teoriju razvili su Džon Holand (John H. Holland), Marej Gel-Men (Murray Gell-Mann) zajedno sa drugim naučnicima. Sve veća upotreba računarskih simulacija i algoritama kao i povećan interes za pitanja morfogeneze u biologiji, uticali su na razvitak teorije kompleksnih adaptivnih sistema, simulacije veštačkog života (artificial life) i računarskih simulacija adaptivnog ponašanja tokom 90-tih godina XX veka. Nauka o kompleksnosti zahteva multidisciplinarni pristup. Za razliku od klasičnog specijalizovanog pristupa rešavanju određenih naučnih hipoteza, fenomen kompleksnosti pokušava da se sagleda kao univerzalni prirodni fenomen.

---

<sup>206</sup> (Rocha, 1999)

<sup>207</sup> Studying Complexity Science. (n.d.). Preuzeto 27 februara 2010, sa: *Complexity Science Focus*: <http://www.complexity.ecs.soton.ac.uk/index.php?page=q1>

<sup>208</sup> (Waldrop, 1993)

Ogroman broj pojava u prirodi i ljudskom društvu mogu se posmatrati kao primeri kompleksnih adaptivnih sistema: živa bića, ekosistemi, kolonije mrava, imuni sistem, mozak, nervni sistem, klimatske promene, bilo koji tip društveno organizovane grupe ili vrste tržišnog poslovanja. Zbog toga je teorija kompleksnih sistema istovremeno važna za prirodne, društvene i fundamentalne nauke. Neke od osnovnih koncepcija i karakteristika kojima se opisuju osobine i struktura CAS-a su:

- *kompleksnost,*
- *samosličnost,*
- *adaptivnost (homeostasis),*
- *specijalizacija,*
- *samo-organizovanost i*
- *emergencija.*

Teorijski okvir za novu paradigmu u arhitekturi kao i matematičko-informatički modeli kojima se simulira ponašanje CAS-a, oslanjaju se upravo na pomenute karakteristike, zbog čega će one dalje biti ukratko opisane.

*Kompleksnost* podrazumeva organizaciju velikog broja komponenti ili agenata u jedan, nelinearan sistem. Agenti u kompleksnom adaptivnom sistemu su međusobno *samoslični* i oni sami zapravo čine pojedinačne kompleksne adaptivne sisteme. Stoga se može reći da je struktura CAS-a *fraktalna* (slika 99). *Adaptivnost* ili *homeostasis* je karakteristika koja se obično pripisuje živim organizmima, a odnosi se na regulisanje unutrašnjeg okruženja sistema na takav način da se on nalazi u konstantno stabilnom stanju. Karakteristika adaptivnosti u odnosu na živi svet se može posmatrati u zavisnosti od tri različita vremenska ciklusa: u okviru određenog događaja, kroz učenje u okviru čitavog životnog ciklusa i kroz više generacije, kao proces evolucije. *Specijalizacija* kao i adaptivnost su karakteristike koja se najčešće vezuju za živi svet u kontekstu CAS-a i mogu se posmatrati na različitim nivoima: od ćelijskog, do nivoa organizama.



Slika 99

Rimski brokoli: primer samoslične fraktalne strukture u prirodnom sistemu



*Samo-organizovanost* i *emergencija* su karakteristike od posebnog značaja koje, kako će dalje biti pokazano, imaju važnu ulogu u kreiranju okruženja simulirajući strukturu, morfologiju i ponašanje kompleksnih adaptivnih sistema.

*Samo-organizovanost* se može definisati kao adaptivni i dinamički proces u kojem se sistem menja, prilagođava i održava bez spoljašnjih uticaja ili kontrole<sup>209</sup>. Pojam *emergencije* odnosi se na nastanak i pojavljivanje novih i koherentnih struktura, paterna ili karakteristika na makro-nivou, usled interakcije komponenata i agenata na mikro-nivou<sup>210</sup> (slika 100). Pomenuta dva koncepta *Samo-organizovanosti* i *emergencije* su međusobno komplementarni i najčešće se posmatraju zajedno, iako se nekada ovi fenomeni mogu ispoljiti nezavisno. Postoje brojni primeri samo-organizujućih sistema kojima se bave različite naučne discipline: ponašanje jata ptica ili riba (slika 101) u biologiji, spontani magnetizam i kristalizacija u fizici, ponašanje mase i kolektivno mišljenje u sociologiji, kao i mnogi drugi. Slično, *emergenciju* je moguće prepoznati u različitim prirodnim fenomenima: talasaste forme peščanih dina, kristali zamrznute vode, osinja gnezda ili razvitak gradova.

Pomenute karakteristike čine osnovni pojmovni okvir u proučavanju fenomena kompleksnosti, koji se mogu nezavisno proučavati u različitim naučnim oblastima. Razvitak savremene matematike i računarstva razvio je nove modele i metodologije kojim se mogu proučavati takvi sistemi. Nova otkrića i oblasti u matematici i računarstvu posmatraju pojedine probleme CAS-a sa aspekta geometrije, što je uticalo na preispitivanje ideje prostora u filozofiji i arhitekturi. Teorijski okviri u matematici fundamentalni za proučavanje CAS-a, a koji su uticali na razvoj novih ideja o prostoru u arhitekturi biće dalje detaljnije prikazani.



Slika 100

Primer *emergencije* u fizičkom sistemu: razvoj vodenih kristala na staklu. Visoki stepen organizovanosti strukture nastao je pod uticajem nasumičnog kretanja molekula vode.



Slika 101

Primer *samo-organizujućeg* sistema u prirodi: fotografija jata čvoraka. *Samo-organizujući* sistem jata poseduje "kolektivnu inteligenciju" koju karakteriše ne postojanje hijerarhijske strukture između entiteta.

<sup>209</sup> (de Wolf & Holvoet, 2004)

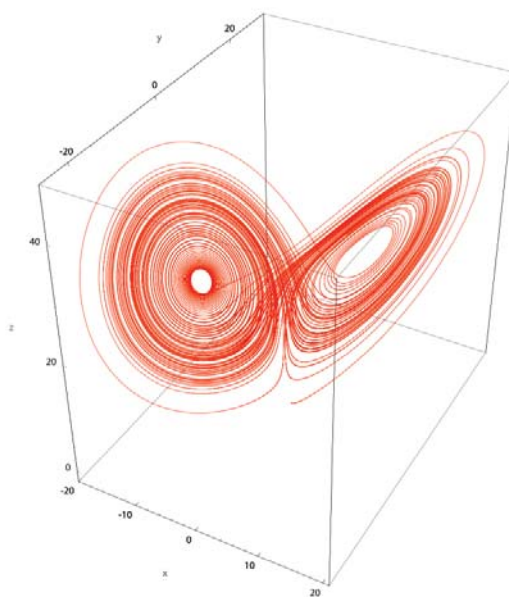
<sup>210</sup> Ibid.

## 2.6.1. Matematički okviri za formulisanje ideje prostora kompleksnih adaptivnih sistema u arhitekturi

Matematika i informacione tehnologije su imale veliku ulogu u razvitku teorija kompleksnosti. Sredinom XX veka dogodilo se nekoliko naučnih otkrića iz oblasti matematike i informatike koji su uticali na razvoj teorije kompleksnosti. Džon fon Nojman (John von Neumann) 50-tih godina XX veka razvija diskretni model *celularnih automata* kojima se mogu simulirati karakteristike samo-organizovanih sistema. Istovremeno počinju prva istraživanja na polju veštačke inteligencije i kompjuterske simulacije evolucije. U sledećoj deceniji Edvard Lorenc (Edward Lorenz) dao je veliki doprinos u razvoju teorije haosa i nelinearnih dinamičkih sistema (slika 102), a Benoa Mandelbrot (Benoît Mandelbrot) se počinje baviti problemima samosličnosti u geometriji. Tokom 70-tih godina Mandelbrot razvija novu vrstu geometrije, *fraktalnu geometriju*. Fraktalna geometrija razvijena je na logici samosličnosti geometrijskih oblika, fraktala, kojima se mogu bolje nego euklidskom geometrijom opisati pojedini geometrijski oblici koji se javljaju u prirodi<sup>211</sup>. Paralelno sa razvojem fraktalne geometrije u informatici se počinju razvijati *genetski algoritmi* i *veštački život* (artificial life).

Pomenute matematičko-informatičke teorije i modeli čine osnovne teorijske okvire ključne za dalje razumevanje evolucije novih ideja i instrumentalnom pristupu u arhitekturi. Oni su istovremeno od suštinske važnosti i za nauku o kompleksnosti i za nastanak i instrumentalizaciju ideje prostora CAS-a u arhitekturi. Osnovni teorijski okvir u matematici koji se odnose na kompleksne sisteme i istovremeno čine temelje za dalje razumevanje novih ideja prostora u arhitekturi su: *teorija haosa* i *fraktalna geometrija*.

**Teorija haosa** opisuje ponašanje onih dinamičkih sistema koji su veoma osetljivi na male promene



Slika 102

Trajektorije u Lorencovog sistema koje ispoljavaju haotično ponašanje. Trajektorije sistema dobijene su iz diferencijalnih jednačina korištenih za proračune u meteorološkim predviđanjima. Rešavanjem jednačina iterativnim procesom pomoću računara, Edvard Lorenc je uočio da je sistem koji je definisao diferencijalnim jednačinama senzitivna na mala odstupanja te je zbog toga nemoguće predvideti ponašanje sistema u odnosu na duži vremenski period. Lorencovo otkriće imalo je velikog uticaja na razvoj teorije haosa.

<sup>211</sup> Govoreći o fraktalnim karakteristikama geometrijskih oblika u prirodi, Mandelbrot u uvodu svoje čuvene knjige "Fraktalna geometrija prirode" piše: "Oblaci nisu sfere, planine nisu kupe, obale nisu krugovi i kora drveta nije glatka niti svetlost putuje pravolinijski". (Mandelbrot, 1983, str. 1)

inicijalnih uslova. U takvim sistemima male promene u inicijalnim uslovima mogu dovesti do različitih ishoda čiji je dalji tok nepredvidiv. Haotično ponašanje je karakteristično za nelinearne kompleksne sisteme i karakteristično je za brojne prirodne fenomene. Anri Poenkare je prvi matematičar koji se počeo baviti problemom ponašanja haotičnih sistema, ali je tek pojavom računarskih procesora koji su omogućili jednostavno računanje parcijalnih difirencijalnih jednačina, omogućen moderan razvoj ove teorije. Važnost teorije haosa ogleda se u činjenici da je ona prepoznata kao početak nove revolucionarne epohe u nauci<sup>212</sup>. Teorija haosa zamenila je Laplasov (Pierre-Simon Laplace) kauzalni naučni determinizam<sup>213</sup>, nudeći novi pristup posmtranju univerzalnih problema prirode. Teorija haosa je našla primenu u brojnim naučnim disciplinama u kojima su prepoznati sistemi sa haotičnim ponašanjem.

Haos u takvom kontekstu ne podrazumeva potpunu entropiju, već kompleksnost sistema koji poseduje određena pravila, a čija pojava deluje nasumična. Ponašanje haotičnih sistema se može proučavati određenim analitičkim tehnikama ili matematičkim modelima kojima se mogu uočiti određene pravilnosti u sistemu. U tom kontekstu važno je spomenuti *neobične atraktore* (slika 103), oblasti u kojima dinamički sistem pokazuje haotično ponašanje. Neobični atraktori imaju fraktalnu strukturu, zbog čega se još kaže da je geometrija haosa *fraktalna*.

**Pojam fraktala** se često vezuje za teoriju haosa, jer se fraktalnom geometrijom može opisati struktura haotičnih sistema. Fraktal je geometrijski oblik, koji se može razložiti na manje delove, tako da je svaki od njih,



Slika 103

Vizualna reprezentacija neobičnog atraktora, geometrijskog skupa tačaka fraktalne strukture ka kojem dinamički sistem evoluira tokom dužeg vremenskog perioda. Geometrijska slika neobičnog atraktora generisana je pomoću softvera *Chaoscope*.

<sup>212</sup> Teoriju haosa nekad nazivaju i trećom revolucijom u nauci XX veka. (Krippner, 1994, str. 49)

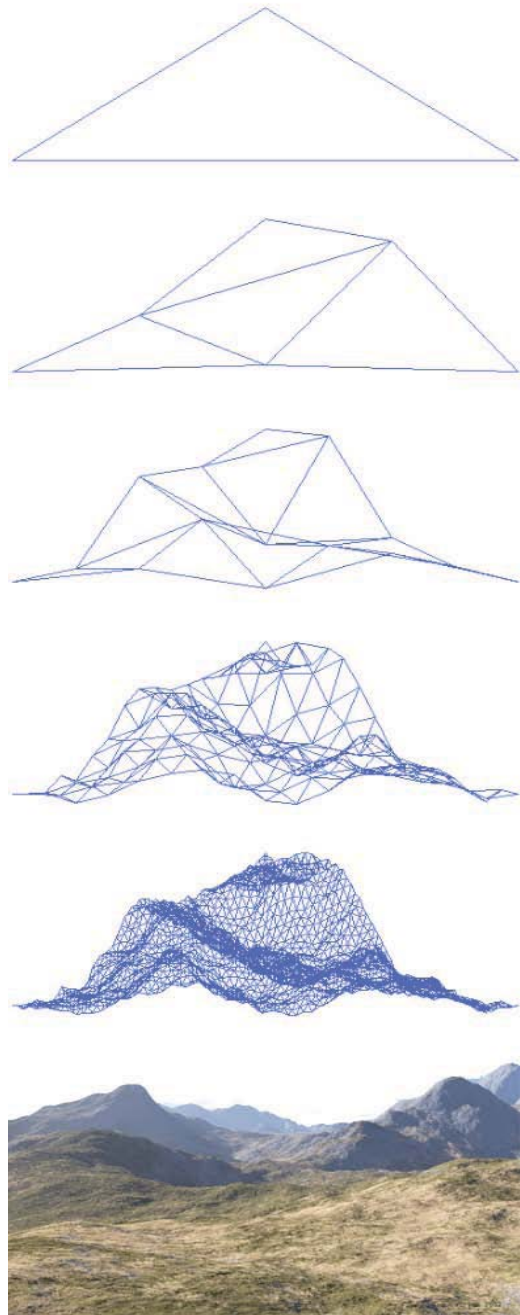
<sup>213</sup> Laplasov kauzalni determinizam izražen je sledećim citatom iz uvoda Eseja koji je publikovao 1814. godine: " Možemo posmatrati stanje univerzuma kao rezultatu njegove prošlosti i uzroka budućnosti. Um koji bi u nekom momentu mogao sagledati sve sile koje pokreću prirodu, kao i njihove pozicije, pravce i brzine, i ukoliko bi um mogao biti dovoljno širok da te podatke analizira, bilo bi moguće obuhvatiti jednom formulom sva dešavanja u prirodi, čime bi budućnost postala izvesna, baš onako kao što nam je i prošlost poznata". Pierre Simon Laplace, *A Philosophical Essay on Probabilities*. Dostupan izvor online eseja: <http://www.archive.org/details/philosophicaless00laplala>

barem približno umanjena kopija celine<sup>214</sup>. Drugim rečima, fraktali na različitim nivoima pokazuju stepen sličnosti, te se za njih još može reći da su samoslični oblici. Fraktalni oblici su isuviše kompleksni da bi se mogle opisati euklidskom geometrijom. Jedan od načina na koji se mogu generisati fraktali jeste iterativni postupak, odnosno primena određene funkcije ili algoritma na rezultat koji je već prethodno dobijen na identičan način. Iterativni funkcionalni sistem (IFS) zahteva inicijalne uslove tj. geometrijski lik, set pravila i broj iteracija. Upotrebom iterativnih funkcionalnih sistema na geometrijske likove, mogu se dobiti fraktalne forme, koje mogu izgledati veoma kompleksno, ali su zapravo definisani veoma jednostavnim pravilima.

Fraktalna geometrija je osim jednostavnog načina za opisivanje kompleksnih geometrijskih struktura ponudila i nove okvire za ideju prostora i prostornih dimenzija. Za razliku od euklidskih ili topoloških prostora, dimenzije prostora fraktala određen je numeričkom vrednošću koja ne mora biti prirodan broj. Fraktalnom dimenzijom određuje se „mera ispunjenosti“ nekog prostora posmatranom fraktalnom figurom. Fraktalna dimenzija je uvek veća od broja dimenzija kojom se fraktalna figura definiše, a manja ili jednaka od broja dimenzija prostora koji fraktal zauzima.

Istraživanje razgranatih formi fraktalnih oblika direktno je vezan za razvoj računarstva i računarskih algoritama. Računarskim algoritmima koji sadrže rekurzivnu funkciju je moguće veoma jednostavno istraživati različite mogućnosti generisanja novih geometrijskih oblika. Računarski algoritmi za generisanje fraktalnih formi našli su primenu u kreiranju oblika iz prirode kao što su planinski venci, oblaci ili biljke (slika 104).

Razvoj matematičko-informatičkih teorija razgranao je lepezu pojmova za opisivanje strukture i karakteristika prostora kompleksnih adaptivnih sistema. Pojmovi kao



Slika 104

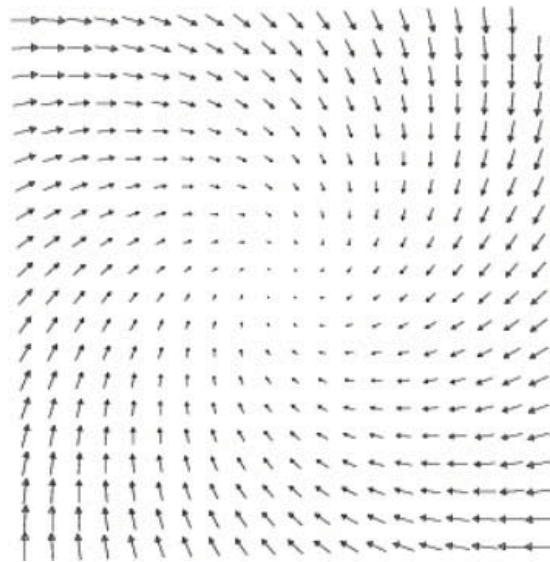
Proces generisanja fraktalnih formi planinskih venaca računarskim algoritmima iterativnom procedurom. Kompleksne geometrijske forme mogu se dobiti iterativnom procedurom primenjenom na jednostavan set pravila. Slika dole: Fraktalni pejzaž generisan pomoću softvera *Terragen*.

<sup>214</sup> (Mandelbrot, 1983)



što su diskretni prostor, ambijentalni prostor, nekomutativni prostor, fraktalni prostor, fazni prostor su neki od termina u matematici, informatici ili fizici, koji se mogu upotrebiti opisivanju pojedinih modela kompleksnih sistema. U tom smislu je najvažniji pojam *faznog prostora* koji se koristi za opisivanje bilo kog dinamičkog sistema. Svaki dinamički sistem (u koje spadaju i kompleksni adaptivni sistemi) čini *fazni prostor* čije koordinate prikazuju stanje sistema u svakom momentu i *dinamičko pravilo* kojom se definiše neposredna budućnost svake varijable u sistemu, za datu vrednosti varijabli u posmatranom vremenskom momentu<sup>215</sup>. Za svaki dati vremenski momenat postoji određeno stanje dinamičkog sistema koje je definisano skupom vrednosti koordinata za svaku tačku. Broj dimenzija faznog prostora je jednak broju varijabli u dinamičkom sistemu. Fazni prostori se mogu algebarski predstaviti kao rešenja parcijalnih diferencijalnih jednačina ili geometrijski predstaviti pomoću *vektorskih polja*. Vektorsko polje je funkcija kojom se definišu pravci i intenzitet vektora za svaku tačku faznog prostora. Vektorskim poljima mogu se vizualizovati različiti problemi simulacija dinamičkih sistema (slika 105).

Pojam faznog prostora i vektorskih polja zajedno sa matematičkim teorijama i modelima koje se bave fenomenom i karakteristikama kompleksnih sistema uticali su na redefinisavanje uloge geometrijske reprezentacije i stvaranju nove paradigme u arhitekturi koja se oslanja na teoriju kompleksnih sistema, što je dalje u tekstu detaljnije prikazano.



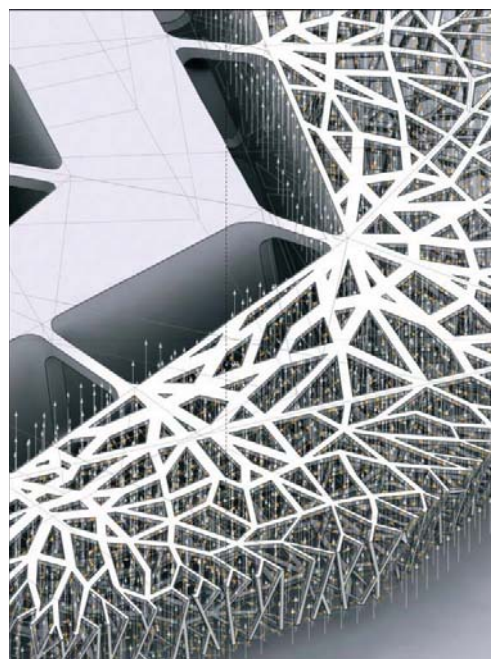
Slika 105

Primer vizualizacije dinamičkog sistema vektorskim poljima. Vektorskim poljem definisan je pravac i brzina svake tačke faznog prostora.

<sup>215</sup> James Meiss (2007) Dynamical systems. Scholarpedia, 2(2):1629

## 2.6.2. Geneza ideje prostora kompleksnih adaptivnih sistema u arhitekturi

Geneza ideje kompleksnosti u arhitekturi može se pratiti kroz dva razvojna pravca koje dobijaju zajedničke okvire tokom 90-tih godina XX veka. Koreni oba pravca nastala su krajem 60-tih godina XX veka, ali njihov razvoj započinje tek nešto više od dve decenije kasnije. Prvi pravac uticao je na formiranje teorijskih okvira ideje kompleksnosti u arhitekturi, a drugi pravac na razvijanje generativnog pristupa razvoju arhitektonske forme oslanjajući se na biološku paradigmu. Te dve razvojne linije evoluirale su u novi instrumentalni pristup u arhitekturi koji se oslanja na nauku, teoriju i modele kompleksnih adaptivnih sistema. *Evolutivna arhitektura, emergentne tehnologije i dizajn, morfo-ekološki dizajn, genetski dizajn*, su neki od termina koji opisuju nove tendencije u arhitekturi prve decenije XXI veka. Primena novih strategija dizajna koji se oslanjaju na nauku o kompleksnosti kao što su genetski algoritmi, celularni automati, generativno modelovanje, kao i primena novih tehnologija i *smart-materijala* pokrenuli su još jednom pitanje prostora u arhitekturi, čiji odgovor nije još uvek u potpunosti uokviren. Najcelovitiji odgovor ponuđen je na samom kraju prve decenije XXI veka u koncepciji *heterogenog prostora* koju su uobličili arhitekta Majkl Hensel (Michael Hensel), Kristorfer Hajt (Christopher Hight) i Ahim Menges (Achim Menges) u svojoj knjizi *Space Reader: Heterogeneous space in Architecture* 2009. godine (slika 106). Ideja heterogenog prostora razvijena je na osnovu nekoliko tekstova-eseja arhitekata filozofa i biologa oslanjajući se na fenomene kompleksnosti u nauci i filozofiji. Iako je ideja kompleksnosti u arhitekturi evoluirala kroz period od četiri decenije, ideja heterogenog prostora je prvi pokušaj da se fenomen kompleksnosti uobličiti u jednu



Slika 106

Detalj konkursnog projekat za nacionalnu biblioteku Češke (2006) kojim su Ahim Menges i Majkl Hensel ilustrovali Morfo-ekološki pristup dizajnu i ponudili ideju heterogenog prostora u eseju *Designing Morpho-Ecologies: Versatility and Vicissitude of Heterogeneous Space* (2008) u časopisu *Architectural Design*. Godinu dana kasnije koncept heterogenog prostora koji se oslanja na ideju kompleksnosti u arhitekturi nasuprot homogenom prostoru moderne, uobličeni je u knjizi *Space Reader*.

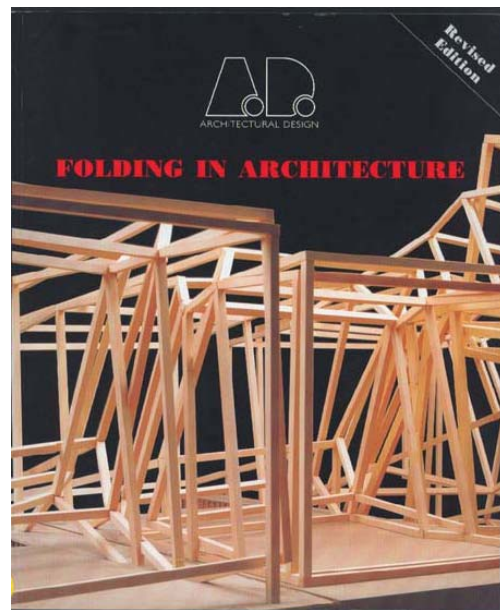
prostornu koncepciju<sup>216</sup>. U narednom delu teksta biće prikazan evolutivni put takve ideje čiji razvoj još uvek nije završen i predstavlja osnov za buduća teorijska istraživanja prostora u arhitekturi.

Krajem 60-tih godina XX veka započete su dve razvojne linije koje su uticale na nastanak i razvitak ideje prostora kompleksnih sistema u arhitekturi. Prva linija razvoja ponudila je teorijske okvire ideji kompleksnosti u arhitekturi pod uticajem pojedinih filozofskih rasprava Žila Deleza i Feliksa Guatarija. Filozofska dela Žila Deleza „Razlika i ponavljanje“ (*Différence et Répétition*, 1968), "Logika smisla" (*Logic of Sense*, 1969) kao i kapitalno delo "Hiljadu ravni" (*A Thousand Plateaus*, 1980) koje je uradio zajedno sa Feliks Guatarijem ponudila su ontološki okvir za fenomene kompleksnosti koja postaju aktuelna u nauci XX i XXI veka<sup>217</sup>. Prvo filozofsko delo čija se logika može poistovetiti sa fenomenom kompleksnosti u nauci bila je doktorska disertacija, a potom i filozofsku raspravu *Différence et Répétition* Žila Deleza. Delez razvija koncept razlike i ponavljanja u filozofiji, praveći distinkciju između razlike, raznovrsnosti, diferencijacije, razlike u meri i razlike u vrsti. Za Deleza razlika se može postići ponavljanjem. Razmatranje pojmova različitost, ponavljanje, diferencijacija u Delezovoj filozofskoj raspravi arhitekta na prelazu dva milenijuma prepoznaju kao teorijski okvir za fenomen kompleksnosti u arhitekturi. Istovremeno, Delez uvodi niz pojmova kao što su implikacija, komplikovanje, kompleksnost, koje će pojedini predstavnici arhitektonske avangarde poslednje decenije XX veka uvrstiti u svoj teorijski diskurs.

Prvi teorijski radovi u arhitekturi koji su na taj način povezali ideju kompleksnosti u arhitekturi objavljeni su u već pomenutom izdanju časopisa *Architectural Design* pod nazivom *Folding in Architecture* iz 1993. godine u tekstovima Džona Rajhmana i Grega Lina (slika 107). Greg Lin nudi alternativu značenja kompleksnosti u odnosu

<sup>216</sup> (Hensel, Hight, & Menges, 2009, str. 9)

<sup>217</sup> (Protevi, 2006)



Slika 107

Naslovna strana časopisa *Architectural Design* pod nazivom *Folding in Architecture* iz 1993. Tekstovi Rajhmana i Lina u pomenutom izdanju časopisa bili su ključni za razvoj ideje topologije i kompleksnosti u arhitekturi.

na Venturijev postmodernistički ili Džonson-Viglijev dekonstruktivistički<sup>218</sup>. U pomenutom eseju Lin objašnjava: "Kompleksnošću se najbolje može nazvati komplikacija pleksusa: ona proizilazi iz nemogućnosti svođenja na bilo koju jedinstvenu organizaciju. Kompleksni sistem ne može biti redukovan na matematičku tačnost, on mora biti strogo opisan zakonima verovatnoće"<sup>219</sup>. Ipak, za Greg Lina pojam kompleksnosti i topologije ostaju usko vezani i neodvojivi pojmovi. Uzrok tome može se objasniti pokušajem da se razume i objedini ontologija Delezove filozofije<sup>220</sup>. U knjizi „Pokrenuta forma“ Greg Lin definiše prostor kao medijum kretanja i sila<sup>221</sup>. Lepezu novih formi koje se mogu dobiti tehnikama modelovanja zasnovanim na kompjuterskoj animaciji, Lin naziva *topološkim pejzažima*. Zajednički element za pomenute tehnike su vektori uticajnih sila koje definišu oblik tela za dati vremenski trenutak<sup>222</sup>. U tom smislu Lin podjednako koristi različite alate za modelovanje od onih, karakterističnih za kontinualne (topološke) deformacije do alata za simulaciju dinamičkih sistema. Istovremeno, Lin u svoju raspravu uvodi niz termina karakterističnih za fenomen kompleksnosti, kao što su nelinearni dinamički sistemi, vektorska polja, fazni prostori (slika 108). Razmatrajući alate za simulaciju dinamičkih sistema Lin primećuje da je kompleksnost takvih sistema posledica interakcije između komponenti.

Početakom 90-tih godina, skoro u isto vreme kada su objavljeni tekstovi Lina i Rajhmana u već pomenutom izdanju časopisa *Architectural Design*, Rem Kolhas i Feliks Guatari istovremeno dolaze na ideju da



Slika 108

"Topološki pejzaži" generisani vektorskim poljima. Linov teorijski diskurs anticipirao je primenu vektorskih polja kao tehniku za generisanje forme.

Na slici: istraživanje forme primenom vektorskih polja, gde je svakoj tački dodeljen objekat koji je rotiran u zavisnosti od pravca vektora. Digitalni dizajn: Skajlar Tibic (Skylar Tibbits) 2007. godine

<sup>218</sup> Greg Lin pre svega misli na Venturijevo uticajno delo "Complexity and Contradiction in Architecture" i kustoskog izlaganja Filip Džonsona i Mark Viglija povodom izložbe *Deconstructivist Architecture* u muzeju Moderne umetnosti u Nju Jorku, MoMA, 1988. godine.

<sup>219</sup> (Lynn, *Architectural Curvlinearity: The Folded, the Pliant and the Supple*, 1993, str. 11)

<sup>220</sup> U predgovoru za Delezovo delo *Le pli - Leibniz et le baroque* koje je imalo ključnu ulogu u definisanju teorijskih okvira topologije u arhitekturi, Džon Rajhman (John Rajchman) istražuje etimologije reči koji su ključne za Delezovu filozofiju: Le pli, Com-pli-cation, Im-pli-cation, multi-pli-city, zajedno sa plexus, com-plex-ity, per-plex-ity. Greg Lin citira Rajhmanova zapažanja i iznosi sopstvena razmatanja u tom kontekstu. Videti detaljnije tekstove Džona Rajhmana i Greg Lina u: *Folding in Architecture* (Architectural Design Profile), Academy Press, 2004.

<sup>221</sup> (Lynn, *Animate Form*, 1999, str. 11)

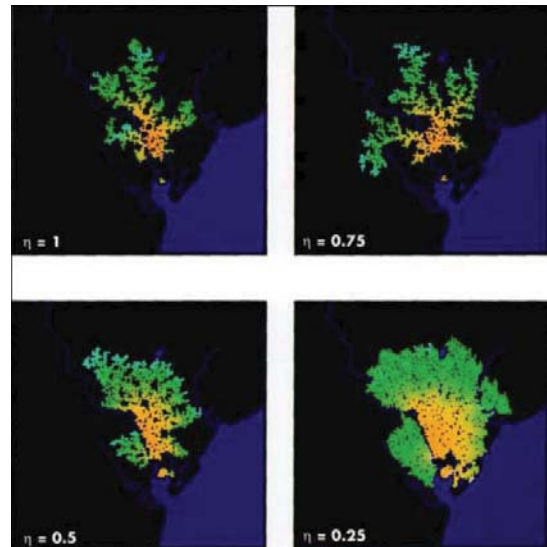
<sup>222</sup> Ibid. str. 30.



posmatraju grad kao kompleksan sistem<sup>223</sup>. Prema Beresemu jedna od centralnih referenci u Kolhasovom delu "S,M,L,XL" je teorija kompleksnih i nelinearnih dinamičkih sistema, što dovodi do bliskosti sa stavovima Feliksa Guatarija<sup>224</sup>. Obojica su grad videli kao autopoetični, samoorganizujući sistem (autopoiesis) sistem. Guatari primećuje da: "možda pripada arhitektama i urbanim planerima da misle o kompleksnosti i haosu kao novim pravcima (...) Urbani objekat je veoma kompleksan sistem i zahteva pristup i metodologiju koja odgovara njegovoj kompleksnosti. Socijalni eksperimenti usmereni su ka specifičnim vrstama „neobičnih atraktora“ uporedivih sa onim iz fizike haosa"<sup>225</sup>. Tokom 90-tih i u prvoj deceniji XXI veka odnos između fenomena kompleksnih sistema i razvoja gradova postaje važna tema u urbanizmu. Majkl Beti (Michael Batty) i Pol Longli (Paul Longley) prikazuju i istražuju fraktalnu logiku razvoja gradova u svojoj knjizi "Fraktalni gradovi: geometrija forme i funkcije" 1994. godine<sup>226</sup> (slika 109), a tokom prve decenije XXI veka počinju se intenzivnije koristiti celularni automati i multiagentni sistemi kao novi modeli za predviđanje rasta i planiranje razvoja gradova<sup>227</sup>.

Filozofski diskurs Deleza i Guatarija kao i pomenuti tekstovi Rajhmana, Lina i Kolhasa su na taj način otvorili put ka novom teorijskom pristupu sagledavanja problema arhitekture i urbanizma oslanjajući se na fenomen kompleksnosti. Istovremeno sa razvojem ideje kompleksnosti u arhitekturi, nastala je druga razvojna linija koja se oslanjala na biološku paradigmu i generativni pristup istraživanju arhitektonske forme.

Drugi linija razvoja pokrenula je istraživanje procesa generisanja formi u arhitekturi oslanjajući se na genetske algoritme i generativne skriptove kojima se mogu dobiti objekti sposobni da se adaptiraju na dato



Slika 109

Fraktalni razvoj Kardifa u Velikoj Britaniji prema Majkl Betiju i Pol Longliju.

<sup>223</sup> (Berressem, 2005, str. 99-100)

<sup>224</sup> Ibid.

<sup>225</sup> (Guattari, 1992)

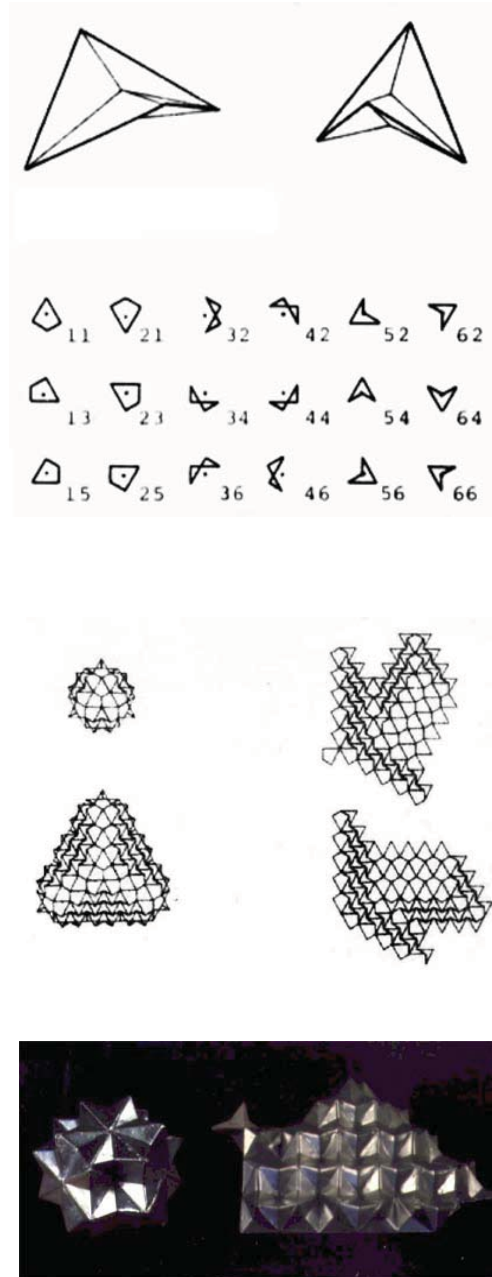
<sup>226</sup> (Batty & Longley, 1994)

<sup>227</sup> (Batty, Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals, 2005)

okruženje. Genetski algoritmi i računarski modeli samo-organizujućih sistema su prvobitno upotrebljeni za proučavanje i posmatranje problema kompleksnih sistema u biologiji, ali su pojedine arhitekture kao što su Džon Frejzer (John Frazer) i Karl Ču (Karl Chu) u njima prepoznali razvojni potencijal.

Pionirska istraživanja u tom pravcu započinje Džon Frejzer 1968. godine radeći na *Rep-tile* konstruktivnom sistemu u Laboratoriji na Kembridžu (slika 110). Pomenuti sistem sastoji se od dve različite strukturalne jedinice bazirane na oktaedarskoj/tetraedarskoj geometriji čijim ponaljanjem i varijacijama mogu da se dobiju složene strukture u različitim varijantama u zavisnosti od 18 mogućih orijentacija elemenata. Na taj način bilo je moguće dobiti na stotine različitih varijacija formi. Frejzerov interes ka evolutivnim tehnikama i genetskim algoritmima u daljoj karijeri nije slučajna. Radeći na svom istraživanju *Rep-tile* sistema, Frejzer je provodio vreme i delio računarske resurse u istoj matematičkoj laboratoriji Kembridža, u kojoj je Džon Konvej razvijao dvodimenzionalni celularni automat „Game of Life“<sup>228</sup>. Krajem 70-tih godina Frejzer razvija grafičke program GPPP (General Purpose Pattern Program) a tokom 90-tih razvija evolutivni pristup generisanju arhitektonskih formi u okviru istraživanja na AA školi u Londonu. Prema Frejzeru, arhitektonski koncept može biti opisan kao skup generativnih pravila, a njihova evolucija i razvoj može biti digitalno kodirana. Generativnim skriptovima moguće je napraviti serije modela koji se dalje mogu valorizovati u odnosu na svoje performanse i simulirano okruženje<sup>229</sup>. Malim varijacijama i mutacijama genetskog koda mogu se dobiti neočekivane, emergentne forme.

Nezavisno od Frejzera, Karl Ču u isto vreme istražuje generativne alate u arhitekturi na američkom kontinentu. Karl Čuova proto-bionička arhitektura, kako je sam naziva, zasnovana je na generativnoj logici L-



Slika 110

*Rep-tile* konstruktivni sistem Džon Frejzera. Gore: dve strukturalne jedinice i 18 kodiranih prostornih orijentacija elemenata *Rep-tile* konstruktivnog sistema. Sredina: Primeri generisanja prostorne rešetke *Rep-tile* sistema. Dole: Maketa prostorne rešetke *Rep-tile* sistema.

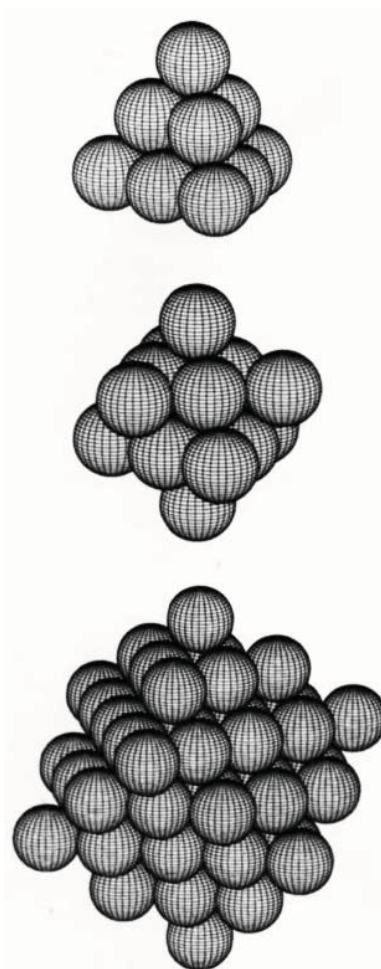
<sup>228</sup> (Frazer, 1995, str. 55)

<sup>229</sup> Ibid. 65.

sistema (Lindenmayer sistem), koji se često koristi kao alat za simulaciju rasta biljaka<sup>230</sup>. Forme koje se na taj način dobijaju su samoslične, fraktalne, nastale rekurzijom jednostavnih pravila primenjenih na osnovni oblik.

Frejzerov i Čuov metod generisanja formi uveo je novu logiku u proces arhitektonskog dizajna. Logika geneze oblika identična je onim koje postoje u kompleksnim sistemima, u kojima jednostavna i lokalna pravila koja važe između agenata ili elemenata utiču na stvaranje emergentnih, kompleksnih i samoorganizujućih formi. I Frejzer i Ču imali su potrebu da svoj evolutivni (generativni) princip razvoja arhitektonske forme uokvire u novi koncept prostora. Ču upotrebljava pojam *genetskog prostora* kao „oblast skupa svih mogućih stanja generisanih i ublaženih neorganskom evolucijom (machinic phylum)“<sup>231</sup>. Frejzer koristi termin *prostor stanja* (state space) aludirajući na matematičku koncepciju kojom se opisuju dinamički sistemi. U Frejzerovom prostoru tačke ili *motes* su bezdimenzionalni elementi koje mogu postojati u velikom broju različitih stanja i sadrže informacije o svojoj lokaciji i odnosu prema drugim tačkama<sup>232</sup> (slika 111). Prema Frejzeru, geometrija takvog prostora je *rekurzivno-samoslična, fraktalna*<sup>233</sup>.

Uvođenje fraktalne geometrije u nova teorijska razmatranja prostora u arhitekturi postaju naročito značajna kroz uticajno filozofsko delo „Hiljadu Ravni“ Žil Deleza i Feliksa Guattarija. U pomenutom delu Delez i Guattari razmatraju prostor kao fenomen koji počiva na različitosti dve koncepcije: „glatkih“ i „prugastih“ prostora (smooth/striated space) i koje postoje samo u međusobnoj povezanosti i konstantnoj mešavini<sup>234</sup>.



Slika 111

Dijagram *data-strukture* iz Frejzerove knjige *Evolutionary Architecture*. Svaka logička jedinica, *mote*, data-strukture u prostoru stanja sadrži informaciju o lokaciji i relacijama u odnosu na druge jedinice. Slično celularnim automatima, geneza forme nastaje pod uticajem lokalnih pravila koje važe između jedinica.

<sup>230</sup> (Kolarevic, 2003, str. 24)

<sup>231</sup> Chu, K. (n.d.). Genetic Space. preuzeto marta 23, 2010, sa Synworld playwork:hyperspace: [http://synworld.t0.or.at/level2/soft\\_structures/allgemein/genetic.htm](http://synworld.t0.or.at/level2/soft_structures/allgemein/genetic.htm). Pojam neorganske evolucije je slobdan prevod termina Machinic phylum koji je jedan od ključnih u esejima Karl Čua. Pomenuti prvi uvode Delez i Gattari u delu *A Thousand Plateaus* 1980. godine, jednom od ključnih filozofskih dela za razumevanje savremenih interperetacija prostora u arhitekturi.

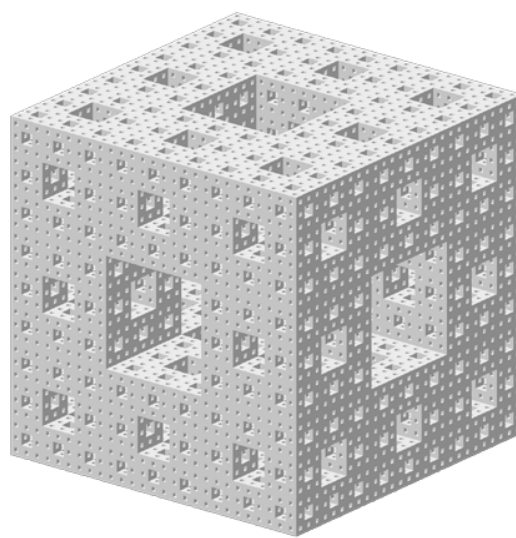
<sup>232</sup> (Frazer, 1995, str. 83-86)

<sup>233</sup> Ibid.

<sup>234</sup> (Deleuze & Guattari, 1987, str. 524)

Ideja prostora Delez-Guatarija koja počiva na antagonizmu *smooth/striated* imala je snažan uticaj na teorijski diskurs u arhitekturi i ona je jedna od ključnih za razvoj ideje prostora kompleksnih sistema u arhitekturi<sup>235</sup>. Prema Delez-Guatariju pomenute dve koncepcije prostora su fundamentalno različite, ali u prirodi postoje samo u zajedničkoj koegzistenciji. Delez i Guatari posmatraju takvu ideju u odnosu na različite modele u matematici, fizici, esteticima. Razmatrajući model glatkog prostora u matematici autori uvode pojam fraktala i fraktalne dimenzije u filozofsko razmatranje. Prema Delez-Guatariju model prugastog prostora se može posmatrati kao euklidski, homogen, izomorfan. Nasuprot prugastom prostoru, glatki prostori opisuju se jezikom fraktalne geometrije, a njegove osnove karakteristike su heterogenost, amorfnost, i broj dimenzija različitih od celog broja. Takvi prostori poput mnogih fraktalnih figura "mogu biti više od linije, manje od površi ili više od površi a manje od volumena"<sup>236</sup> (slika 112). Delez-Guatarijev glatki prostor ponudio je heterogen, porozan model prostora čija se geometrijska struktura može poistovetiti sa brojnim prirodnim materijalima organskog i neorganskog porekla. Istovremeno, fenomen poroznosti i heterogenosti postaje značajna tema u radovima pojedinih arhitekata prve decenije XXI veka, o čemu će u narednom delu biti detaljnije reči.

Osim pomenutog Delez-Guatarijevog filozofskog dela, teorijski okvir za ideju prostora u arhitekturi koja se oslanja na paradigmu kompleksnosti postaje naročito uobličen nakon nekoliko veoma uticajnih tekstova Sten Alena (Stan Allen) koji su prvi put publikovani u periodu od 1997. do 1999. godine. U najznačajnijem tekstu „Od objekta ka polju“ (From Object to Field) objavljenom 1997. godine u časopisu Architectural Design, Sten Alen u fokus svojih razmatranja postavlja pojam polja nasuprot objektu, koje je dominiralo u modernim i



Slika 112

Mengerov sunder, fraktalna figura koja je više od površi ali manje od volumena. Zapremina figure teži nuli, dok površina teži beskonačnosti.

Mengerov sunder iskorišten je kao ilustracija u knjizi *Space Reader* u kojoj je formulisan koncept heterogenog prostora. Ilustracija je priložena uz jedan od ključnih eseja Delez-Guatarija reprodukovana iz knjige *Mille Plateaux*, u kojem je opisan matematički model *glatih prostora*, oslanjajući se na koncept fraktala i fraktalne dimenzije.

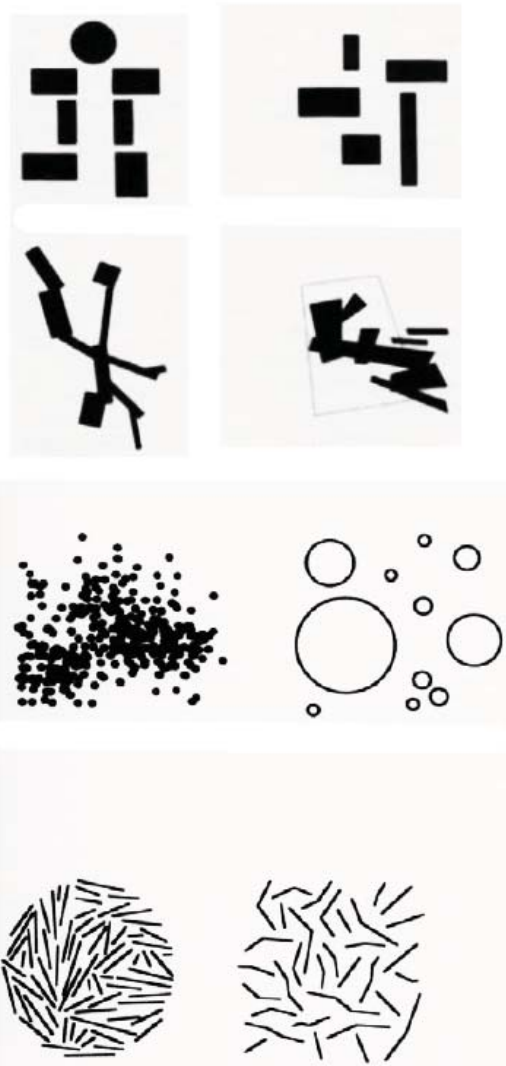
<sup>235</sup> Dualizam pojmova *smooth/striated* space je prvo razmatran u kontekstu odnosa topološki/kartezijanski, deformabilan/rigidan, dinamičan/statičan prostor, zbog čega je ne retko bio citiran i u tekstovima o arhitektonskoj topologiji 90-tih godina XX veka.

<sup>236</sup> (Deleuze & Guattari, *The Smooth and the Striated - The Mathematical Model*, 2009, str. 50)



postmodernim mišljenjem u arhitekturi<sup>237</sup>. Teorijski pomak od objekta ka polju, nosi čitav niz novih značenja i tumačenja koja se mogu posmatrati sa različitih aspekata i u različitim oblastima od matematike do arhitekture. Pojam polja Alen povezuje sa vektorskim poljima u matematici kao način interpretacije dinamičkih promena i evolucije sistema. Konceptiju polja u muzici Alen identifikuje sa muzički događajima koji ne mogu biti podeljeni na konstitutivne elemente kao što je Ksenakisov oblak tonova, i stohastička muzika. U prirodnim ekosistemima, polja poistovećuje sa različitim tipovima prostornih grupacija živih bića kao što su jata ptica ili riba. U arhitekturi, polja predstavljaju prostorna stanja definisano uticajnim silama (slika 113). Za Sten Alena takva arhitektura u mogućnosti je da fluidno i senzitivno odgovori na lokalne razlike, zadržavajući celokupnu stabilnost<sup>238</sup>.

Prema Sten Alenu, stanje polja je slobodno ograničena skupina entiteta, čije su karakteristike poroznost i lokalna međupovezanost<sup>239</sup>. Ono može biti bilo koja formalna ili prostorna sredina koja može da objedini različite elemente uvažavajući identitet svakog elementa. Okvirni izgled i granice polja su fluidne, promenljive i od manjeg značaja od lokalnih i unutrašnjih veza koja utiču na njegovo ponašanje. Alenov pomak od objekta ka polju ponudio je novi princip struktuiranja prostora u arhitekturi. Arhitektonski objekat u tom smislu više nije diskretni objekat već rezultat uticajnih linija sila u okruženju, adaptivan, promenljiv i neodvojiv od okoline. Model kojima se na taj način može posmatrati arhitektura, identičan je onom kojim se simulira ponašanje kompleksnih sistema.



Slika 113

Ilustracija iz Sten Alenovog eseja " Od objekta ka polju" koji ilustruje dva različite organizacione strategije. Gornje četiri slike ilustuju kompoziciju baziranu na međusobnoj organizaciji objekata (aksijalna, centripetalna, povezivanje i preklapanje) dok je sa četiri donje ilustrovano stanje polja.

<sup>237</sup> Sten Alen nije prvi arhitekta koji u svoj teorijski diskurs unosi pojam polja. Sanford Kwinter (Sanford Kwinter) 1986. godine definiše polje „kao prostor propagacija i efekata. On ne sadrži supstancu niti materijalne tačke, već sile vektore i brzine“. Videti: Sanford Kwinter, 'La Citta Nuova: Modernity and Continuity', u Zone 1 / 2 (New York, 1986), str 88-89. Kwinterov citat publikovan je u reprintu Alenovog teksta *From Object to field* 2009. godine.

<sup>238</sup> (Allen, *From Object to Field*, 1997, str. 27)

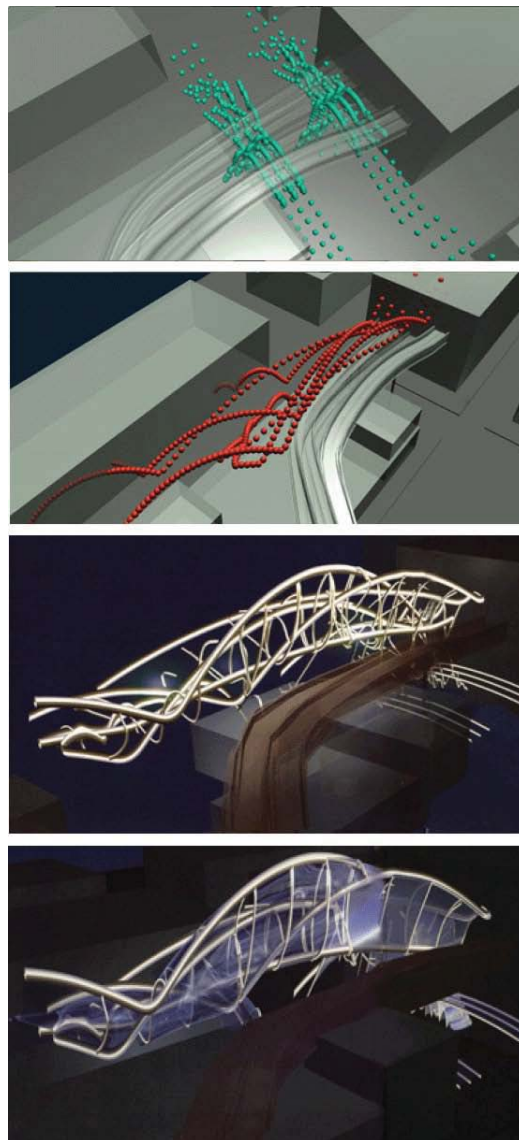
<sup>239</sup> *Ibid.* str. 24.

Sten Alenovi tekstovi napravili su značajan pomak ka definisanju nove koncepcije prostora u arhitekturi koji teži da obuhvati različite fenomene kompleksnosti kao što su lokalna međupovezanost, samoorganizovanost, adaptivnost, samosličnost i evolucija.

Teorijski okviri ideji kompleksnosti u arhitekturi su zajedno sa generativnim tehnikama modelovanja uticale na razvitak novog instrumentalnog pristupa u prvoj deceniji XXI veka. U tom smislu arhitektonski prostor je posmatran kao kompleksan sistem čiji oblik nastaje kao rezultat evolucije i adaptacije na okruženje i uticajne sile. Različiti modeli korišteni kao alat instrumentalnog pristupa ideji kompleksnosti biće detaljnije opisani u narednom poglavlju. Posmatrajući različite modele kompleksnih sistema koji se javljaju u prirodi, razvijena su dva osnovna pravca istraživanja i generisanja arhitektonske forme, koja se može posmatrati kao *dinamički i/ili strukturalni (materijalni) sistem*.

**Instrumentalni pristup ideji kompleksnosti kao dinamičkom sistemu** razvijen je u odnosu na ideju o evoluciji arhitektonske forme kao odgovoru na dinamične promene i uticajne sile. Greg Linov konkursni projekat za *Port Authority Bus Terminal* iz 1995. godine je jedan od prvih u kojem je korišten softver za simulaciju kretanja čestica u nelinearnim dinamičkim sistemima, kao generator arhitektonske forme (slika 114). Generativni pristup modelovanja koju primenjuje Ali Rahim u nekoliko projekata početkom prve decenije XXI veka dalje razvija instrumentalni pristup baziran na modelima dinamičkih sistema identifikujući ih sa fenomenima kompleksnosti<sup>240</sup>.

U projektu za *Reebok*-ovu centalnu prodavnicu u Šangaju 2004. godine osnovni projektantski cilj je bio da se stvori jedinstveni dizajn koji će zadovoljiti reprezentativne potrebe predstavništva velike kompanije Reebok, stvoriti prepoznatljivi imidž i u isto vreme ponuditi odgovor za dizajn drugih prodavnica



Slika 114

Geneza forme u konkursnom projektu Greg Lina za *Port Authority Bus Terminal*. Softveri kompanija Alias/Wavefront korišteni su za simulaciju kretanja čestica u dinamičkom sistemu. Trajektorije kretanja čestica u sistemu iskorištene su za generisanje oblika nastrešnice terminala

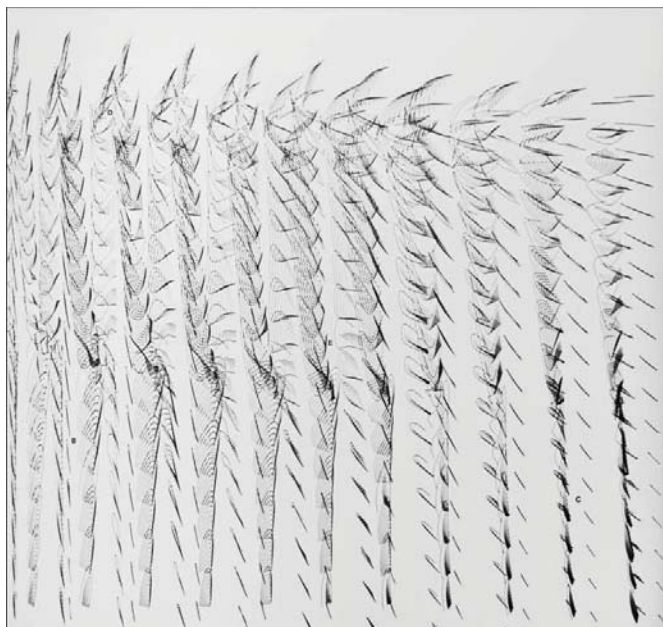
<sup>240</sup> U svoj teorijski diskurs o kvalitativnim karakteristikama digitalnih alata za modelovanje i animaciju, Rahim uvodi pojmove emergencije i nelinearnosti dinamičkih sistema. (Rahim, 2007, str. 23)

koje bi novim specifičnim okolnostima odgovorile različitim prostornim invarijantama. Takvi zahtevi naveli su Ali Rahima ka apliciranju simulacije dinamičkog sistema kao načina generisanja arhitektonske forme (slika 115). Rahim koristi sisteme čestica čije trajektorije nastaju pod uticajima različitih sila-parametara u sistemu. Sile koje utiču na sisteme čestica su različitog intenziteta u zavisnosti od funkcije. Viši intenzitet sila koje utiču na kretanje čestica u dinamičkom sistemu vezan je za pravce kretanja ljudi. Kretanje čestica u dinamičkom sistemu predstavljen je trajektorijama koje grafički simuliraju različite intenzitete sila i kretanje u okviru prostora. Trajektorije kretanja su dalje generisane u splajnovve koji definišu budući prostor. Tako dobijeni dinamički sistem sila i čestica može dalje biti zamenjen i reprogramiran za potrebe različitih prodavnica.

Slika 115

Projekat Ali Rahima za *Reebok*-ovu centralnu prodavnicu u Šangaju.

Levo: Trajektorije čestica u dinamičkom sistemu, korištene za modulaciju površi različitog intenziteta. Desno: Finalan izgled enterijera *Reebok*-ove centralne prodavnice u Šangaju

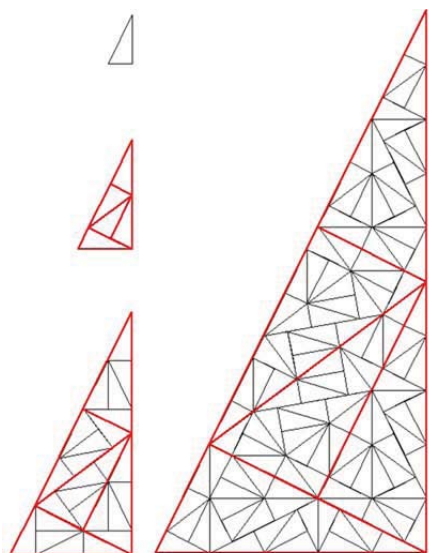


**Instrumentalni pristup fenomenu kompleksnosti u kontekstu strukturalnih (materijalnih) sistema** razvijen je kao metod istraživanja arhitektonske forme kroz različite geometrijske modele samo-organizujućih i adaptivnih sistema koji se mogu uočiti u materijalima u prirodi organskog ili neorganskog porekla, posmatrani

na molekularnom, ćelijskom ili makroskopskom nivou. Jedan od prvih primera objekata na kojima je primenjena fraktalna logika geometrijske teselacije je projekat Ešton Ragat MekDugala (Ashton Raggatt McDougall) za *Storey Hall* 1996. u Melburnu. Arhitekta su za pomenuti objekat upotrebili Penrouzov metod aperiodičnog popločavanja, koji je prepoznat kao geometrijski model strukture kod kvazikristala<sup>241</sup>. Nekoliko godina kasnije, arhitektonski studio *Lab Architecture* koristi sličnu logiku, primenjenu i na trodimenzionalnu geometrijsku strukturu u konkursnom projektu za Trg Federacije (Federation Square) u Melburnu sa pripadajućim objektima kulturnog i komercijalnog sadržaja. Izgradnja kompleksa završena je 2002. godine. Osnovni geometrijski modul u strukturi objekta je trougao, čijim aperiodičnim slaganjem (*pinwheel* metod aperiodičnog popločavanja) se mogu dobiti paneli sačinjeni od 5 trougaonih elemenata, a zatim i mega paneli sačinjeni od 5 panela (slika 116). Takvim grupisanjem trougaonih elemenata razvijena je fraktalna struktura fasade, a "primenjenim metodom slaganja dopušta fasadi da bude tretirana kroz kontinualne, dinamične promene"<sup>242</sup>.

Slika 116

Levo: način generisanja ploča *pinwheel* metodom (osnovni element popločavanja je pravogli trougao sa katetama 1 i 2), korišten u projektu za objekte na Trgu Federacije. Desno aperiodično popločavanje u projektu objekata na Trgu Federacije, Melburn



<sup>241</sup> Steinhardt, Paul J., "A New Paradigm for the Structure of Quasicrystals", 1996.

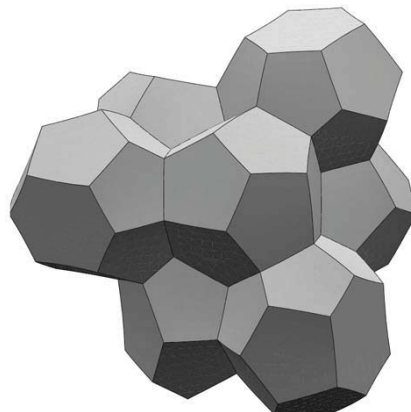
<sup>242</sup> Slobodan prevod citata arhitekata studija Lab Architecture o svom projektu sa zvanične web prezentacije na: <http://www.labarchitecture.com/> (preuzet 10. maja 2010)



Geometrijski modeli samo-organizujućih sistemima u materijalima kao što su kvazikristali, kopopolimeri ili prirodni polimeri postaju važna koncepcija u istraživanju novih strukturalnih rešenja. Objekat nacionalnog plivačkog centra (Watercube) u Pekingu iz 2008. godine je najpoznatiji izvedeni objekat koji se oslanja na geometriju stabilnih konfiguracija samo-organizujućih sistema (slika 117). U pomenutom projektu arhitektonski studio *PTW Architects* upotrebio je *Vejr-Felan (Weaire-Phelan)* model koji je poznat kao najbolje poznato rešenje Kelvinovog problema, odnosno načina za optimalnu defragmentaciju prostora na ćelije jednakih zapremina i minimalne površi koja ih deli. Pomenuti metod defragmentacije prostora je čest način samoorganizacije kompleksnih sistema u prirodi koji se na makro nivou može uočiti kod pakovanja mehurova sapunice. Struktura bazena *deluje proizvoljno i nepredvidivo poput prirodnih sistema, a istovremeno odražava ponavljanje i matematičku rigoroznost*<sup>243</sup>.

Integrisan pristup fenomenu kompleksnosti istovremeno kao dinamičkom i materijalnom sistemu je jedan od mogućih daljih pravaca razvoja koji je već započet kroz niz istraživanja u okviru programa *Emergence Technologies and Design* u školi *Architectural Association* u Londonu. Jedna od osnovnih ideja istraživačkog rada u okviru pomenutog master programa jeste sintezni pristup posmatranju strukture, hijerarhije i performansi materijala u prirodi kao i njihovom dinamičkom odgovoru na uticaje okruženja (slika 118). Neki od osnivača i nosioca ovog programa Majkl Hensel i Ahim Menges su prve arhitektae koji su paradigmu kompleksnosti u arhitekturi pokušali da povežu sa koncepcijom prostora.

Pokušaj da se formuliše nova jedinstvena teorija prostora u arhitekturi kojom bi se u potpunosti obuhvatila paradigma kompleksnih adaptivnih sistema u arhitekturi je prvi put ponuđena u knjizi Majkl Hensela,



Slika 117

Gore: Polieadske tela koja čine Vejr-Felan strukturu. Pakovanje prostora ćelijama poliedarske strukture iskorišteno je kao strukturalni model za objekat nacionalnog plivačkog centra u Pekingu.

Dole: nacionalnog plivačkog centra u Pekingu u fazi izgradnje gde se vidi konstrukcija sa Vejr-Felan strukturuom

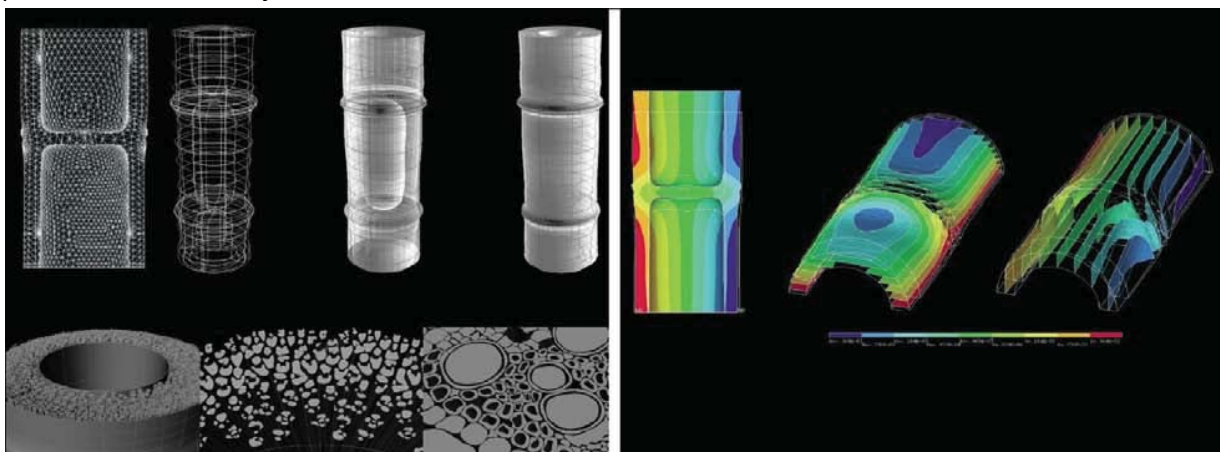
<sup>243</sup> Andrew Frost, Direktor PTW Architects, prema članku online magazina *arcspace* na web adresi: <http://www.arcspace.com/architects/ptw/index.html> (preuzet 10. maja 2010)

Kristofer Hajta i Ahim Mengesa, „Tumač prostora: heterogeni prostor u arhitekturi“<sup>244</sup>, 2009. godine. Autori su izneli okvire nove koncepcije prostora u uvodnom eseju svoje knjige, koja je sačinjena od tekstova eseja arhitekata, filozofa i biologa. Kako autori smatraju, publikovani eseji u pomenutoj knjizi pružaju ključne pravce ka konstruisanju teorijskog diskursa *heterogenog prostora* u arhitekturi. U tom smislu Sten Alenov pomak *od objekta ka polju*, kao i Delez-Guatarijeva filozofija ponavljanja, diferencijacije „prugastih“ i „glatkih“ prostora su neke od ključnih referenci u koncipiranju ideje heterogenog prostora u arhitekturi. Novi teorijski diskurs o prostoru je pokušaj da se odgovori na tehničko-tehnološke potrebe i performativne tehnike dizajna koje je nametnula paradigma kompleksnih adaptivnih sistema u arhitekturi<sup>245</sup>. U tom kontekstu, Hensel, Hajt i Menges posmatraju pojam heterogenosti kao stanje povezanosti proizvedeno procesom diferencijacije<sup>246</sup>. Kako sami autori tvrde, ideja heterogenog prostora koju nude, nema jasne granice, već samo teorijski okvir koji treba da odredi dalje pravce razvoja koncepcije prostora u arhitekturi. Nove ideje o prostoru u matematici, fizici i filozofiji nauke će u budućnosti imati veliku ulogu u ponovnom redefinisaju tih okvira.

Slika 118

*Morfo-ekološka* istraživanja bioloških kompleksnih adaptivnih sistema u okviru studijskog programa na kursu *Emergence Technologies and Design* u školi *Architectural Association* u Londonu. Slika ilustruje integrisan pristup analizi stabljike bambusa kao kompleksnom dinamičkom i materijalnom sistemu. Strukturalne performanse bambusa koje podrazumevaju mali poprečni presek i visinu do 30 metara uz veliku otpronost na opterećenje vetra analizirane su sa ciljem da se integrišu u nove strategije projektovanja arhitektonskih konstrukcija

Gore levo: globalna morfologija sa preciznom reprodukovanom geometrijom stabljike bambusa. Dole levo: prikaz strukture vlakana nejednake gustine u odnosu na poprečni presek stabljike. Desno: analiza deformacija pod uticajem dinamičkog opterećenja oko unutrašnjih dijafragmi stabljike.



<sup>244</sup> (Hensel, Hight, & Menges, 2009)

<sup>245</sup> Autori primećuju da, iako su u poslednjih 40 godina, pojmovi *kompleksna forma* i *raznovrsnost arhitektonskog programa* bili česti u arhitektonskoj literaturi, ekvivalentni pojmovi poput kompleksnih ili heterogenih prostora nisu se pojavljivali. (Hight, Michael, & Menges, 2009, str. 9)

<sup>246</sup> Ibid. str.13.

### **3. Uticaj medijuma, tehnika i alata geometrijske reprezentacije na savremenu arhitekturu**

Istorijski razvoj arhitekture obeležila su dva osnovna metoda arhitektonske reprezentacije: fizički model i crtež. Upotreba modela bio je dominantan način arhitektonske reprezentacije sve do perioda renesanse, ali primena crteža u procesu arhitektonskog stvaralaštva postaje intenzivna paralelno sa razvojem kartezijanske logike i načina mišljenja o prostoru. Kao što je već pokazano, razvitak i sistematizacija tehnika crtanja imale su jednu od ključnih uloga u razvoju instrumentalnog pristupa ideji kartezijanskog prostora. Istovremeno, kartezijanska logika i ideja prostora postavilo je okvire za formiranje instrumentalnog mišljenja u arhitekturi kroz crtež.

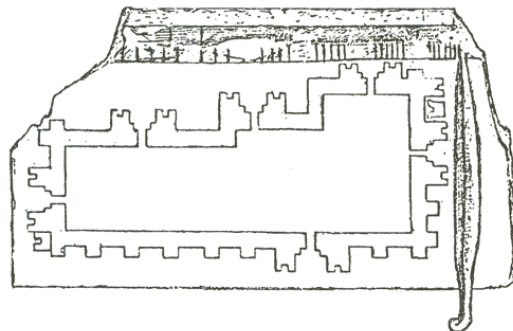
Osnovni problem geometrijske reprezentacije prostora u arhitekturi jeste način predavljanja vizuelnih informacija o nekom prostornom obliku putem dvodimenzionalnog medijuma, pergamentu, papiru ili računarskom monitoru. Arhitektonski crtež predavlja jasan i nedvosmislen odgovor na pomenuti problem. Jezik, metode i konvencije crtanja razvijale su se uporedo sa arhitekturom i koncepcijama prostora. Neki od metoda i tehnika crtanja kao što je upotreba plana ili trodimenzionalnih prikaza su suštinski ostali nepromenjeni tokom više od dva milenijuma. Da bi se pokazalo da li je upotreba crteža kao načina geometrijske reprezentacije imala uticaja na razvoj savremene arhitekture, neophodno je uočiti kakvu su ulogu imale metode, tehnike, alati i konvencije crtanja na proces generisanja forme u širem vremenskom razdoblju. Nakon toga moguće je uočiti promene u konvencijama i tehnikama crtanja u odnosu na period savremene arhitekture.

Istovremeno upotreba maketa u procesu arhitektonskog stvaralaštva je i danas dalje prisutna. Nastanak pojedinih arhitektonskih remek-dela savremene arhitekture nastali su kroz sintezni proces istraživanja formi kroz makete i crteže istovremeno. Objekti kao što su Sagrada Familia Antoni Gaudija, kapela Ronšan Le Korbizjea ili Gugenhajmov muzej Frenk Gerija, su vrhunska dela savremene arhitekture, u kojem je integrisan pristup primeni makete i crteža uticao na genezu arhitektonske forme. U tom smislu važno je istražiti ulogu crteža u razvojnom procesu tih objekata.

Digitalne tehnologije su unele niz promena u proces arhitektonskog dizajna. Sa jedne strane, digitalni alati omogućili su instrumentalni pristup različitim koncepcijama prostora i otvorili su nove mogućnosti u generisanju forme. Sa druge strane odnos između arhitekta i crteža je zauvek promenjen. Arhitektonski crtež na analognom medijumu je uvek sa sobom nosio i lični identitet i karakter specifičan za rad svakog arhitekta. Crtež na digitalnom medijumu izgubio je tu vrstu proizvoljnosti i autorskog identiteta. Uticaj medijuma i tehnika geometrijske reprezentacije će biti istražen u narednom delu u odnosu na svaki od pomenutih aspekata

### 3.1. Istorijski osvrt na alate metode i tehnike crtanja pre XVIII veka.

Tokom čitave istorije arhitekta su se služili vizuelnom imaginacijom u procesu projektovanja. Ne može se sa preciznošću tvrditi kada su se pojavili prvi arhitektonski crteži i kojim jezikom i konvencijama geometrijske reprezentacije su bili načinjeni, jer postoje vrlo malo sačuvanih dokaza. Prvi sačuvani arhitektonski crtež potiče iz 3 milenijuma pre nove ere iz drevnog mesopotamskog grada Lagaša. Jedna od statua Gudee, drevnog vladara Lagaša, ovekovečila je najstariji sačuvan crtež arhitektonskog plana (slika 119). Egipatska kultura imala je veliki uticaj na razvitak geometrije i grafičkog jezika izražavanja. Prema Sprio Kostofu (Spiro Kostof) egipatske arhitekta su koristile kožu i papirus kao podlogu za crteže, dok je ostraka, plan objekta uklesan u krečnjačkom kamenu-ploči, korišten kao „izvođački crtež“ na samom gradilištu<sup>247</sup>. Egipatski graditelji koristili su se planovima i osnovama koji su više predstavljali šematske okvire koji ukazuju na određene prostorne veze. Graditelji u drevnoj Kini su se takođe koristili ortogonalnim projekcijama osnovi i izgledu crtanim na svili ili papiru kao i bojenjem i graviranjem u bronzi u periodu između V i III veka p.n.e. Papir, jedan od velikih pronalazaka Kine iz perioda oko prvog veka nove ere stigao je u Evropu preko Španije tek milenijum kasnije da bi početkom XIV veka postao pristupačan u mnogim krajevima. Drevni Asteci su takođe koristili upotrebu crteža u graditeljske svrhe. U periodu između XIII i XV veka astečki graditelji su se u svojim crtežima na amate papiru koristili geometrijskom reprezentacijom koja je kombinovala izgled, osnovu sa trodimenzionalnim prikazom koji podseća na perspektivu<sup>248</sup>. Antički grci upotrebljavali su fizičke modele kao i pisane specifikacije za pravljenje zgrada, a poznavali su tehniku trodimenzionalne reprezentacije prostora, *scaenographia* (slika 120). Vitruvijevi tekstovi svedoče o grafičkim konvencijama koje su postojale u Rimskoj epohi. Termini *ichnographia* i *ortographia* našle



Slika 119

Plan hrama na tabli koju drži Gudea, vladar Lagaša. Gudeina statua sa tablom i crtežom napravljena je oko 2141-2122. godine p.n.e.



Slika 120

Rekonstrukcija crteža sa grčke vaze iz Tarenta oko 360-350- godine p.n.e. Crtež pokazuje da su se grci koristili tehnikom trodimenzionalnog prikazivanja prostora.

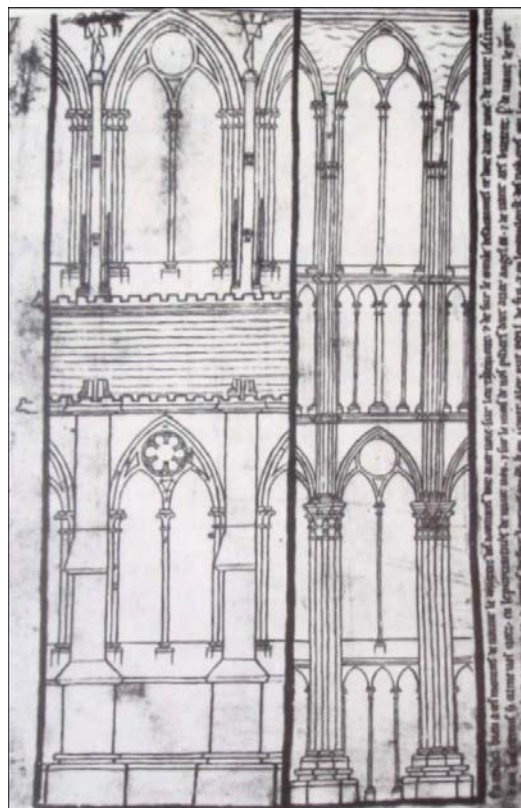
<sup>247</sup> (Kostof, 2000, str. 5-7)

<sup>248</sup> (Schank Smith, 2005, str. 12)



su moderne pandame u današnjim terminima plan i izgled fasade, dok je termin *scenographia* izazivao brojne debate, a odnosi se na tehniku crtanja kojom se prikazuje dubina prostora.

Postoji veoma malo sačuvanih arhitektonskih crteža koji potiču iz perioda gotike ili prethodnih vrmenskih epoha. Materijal na kome su crteži izrađivani nije bio trajan, te najveći deo crteža do početka renesanse nije ni sačuvan. Arhitektonski crteži iz gotike kao i prethodnih perioda retko su izrađivani, jer je izrada podloge bio skup i složen proces. Do XIV veka se kao podloga za crtanje najčešće koristio pergament od ovčije ili gušćije kože, koji nije bio jeftin i pogodan za svakodnevnu upotrebu. Često se jedan komad pergamenta više puta upotrebljavao za crtanje. Upotrebljeni pergament obično bi se ponovo ostrugao, da bi se po njemu moglo ponovo crtati ispočetka. To pokazuju crteži katedrale u Remsu Vilar d'Onkura (Villard de Honnecourt) sačuvani na pergamentu (slika 121). Na njima se vide slojevi prethodnih crteža koji su brisani sa pergamenta. Iako je ideja o geometrijskim projekcijama postojala vekovima, uloga i primena crteža se bitno razlikovala od današnjeg. Koncept crteža u razmeri nije postojao, tako da su se obično crtali pojedini delovi, detalji objekta ili direktno na terenu u pravoj veličini. Prema pojedinim srednjevekovnim tekstualnim izvorima, osnove velikih građevina, katedrala, crtani su u punoj veličini na samom terenu, detalji poput prozora-rozeta urezivani su ili gravirani u punoj veličini na same zidove objekta. Arhitekta-klesari su svoje ideje prethodno proveravali pomoću maketa<sup>249</sup> Prema Akermanu, izgledi fasada katedrale u Rimsu Vilar d'Onkura su nastali kopiranjem originalnih crteža arhitekata-masona koji nisu sačuvani<sup>250</sup>. Njihov značaj je veliki jer ukazuje na



Slika 121

Crtež katedrale u Remsu Vilar d'Onkura oko 1230. godine, koji prikazuju detalj izgleda fasade zida sa unutrašnje i spoljne strane.

<sup>249</sup> (Ackerman, 2002, str. 31)

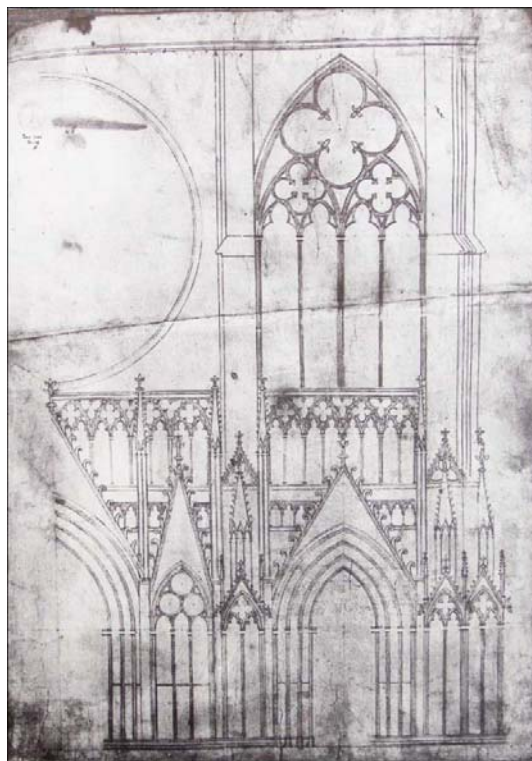
<sup>250</sup> Ne postoje dokazi da su postojali "izvođački" crteži katedrale u Remsu. Prema Robertu Branneru (Robert Branner) originalni izgledi fasada katedrale u Remsu nisu ni postojali i bilo bi teško za objasniti kako bi se oni koristili. Villard de Honnecourt je bio obučen crtač ali nije bio arhitekta-klesar. James Ackerman dokazuje suprotno, navodeći da je Villardov crtež na kome se vidi unutrašnji i spoljni izgled fasade nastao u trenutku kada je zgrada bila izgrađena do samo do visine triforijuma, (Branner, 1963, str. 129-146; Ackerman, 2002, str. 28-44).

konvencije u crtanju koje su tada postojale. Tokom XIV veka, arhitekta-klesari su još više razvili tehniku crtanja izgleda fasade, u kojima je pokazan mnogo veći nivo detalja nego kod d'Onkurovih crteža. Najbolji primer su crteži frontalne fasade katedrale u Strazburu (slika 122).

Arhitektura u periodu gotike je bila pretežno konstruktivni postupak, pretežno rukovođena utvrđenim tradicijom građenja i geometrijskim pravilima, koji su bili direktno primenjivi na terenu. Ideja o čitavom izgledu objekta nije postojala od početka projekta, već se ona stvarala tokom građenja, vrlo često kao rezultat različitih generacija arhitekata i metoda građenja. Tokom XV veka, arhitektura u renesansnoj Italiji se počela smatrati slobodnom umetnošću, a arhitektonske ideje su zamišljane kroz geometrijske *lineamente*<sup>251</sup>, crtežima u ortogonalnim projekcijama. Prema Albertiju, *lineamenti* su omogućili punu geometrijsku ideju buduće zgrade, da bude zamišljena<sup>252</sup>.

Dostupnost novih medijuma reprezentacije kao što je papir, imalo je uticaja na intenzivniju primenu crteža u arhitekturi. Do početka XV veka, fini pergament, pravljen od životinjske kože bio je medijum za crtanje. Papir se pojavljuje u Evropi u periodu renesanse i bio je jeftiniji i pristupačniji zbog čega je i postao omiljen za upotrebu kod arhitekata. Za crtanje je upotrebljavano gušćije pero, omogućavajući povlačenje različitih tipova i debljina linija. Prirodna kreda crvene, bele i crne boje bila je takođe u upotrebi za izradu brzih skica. Grafit je bio dostupan u Bavariji još od XIII veka, ali postaje popularan za crtanje među arhitektama tek u XVI veku<sup>253</sup>.

Arhitektura bazirana na korelacijama između horizontalnih i vertikalnih projekcija postojala je i vekovima ranije, ali u kontekstu geometrijskih pravila u



Slika 122

Izgled fasade katedrale u Strazburu iz XIV veka. Crtež pokazuje znatno veći nivo detalja nego kod d'Onkurovih crteža.

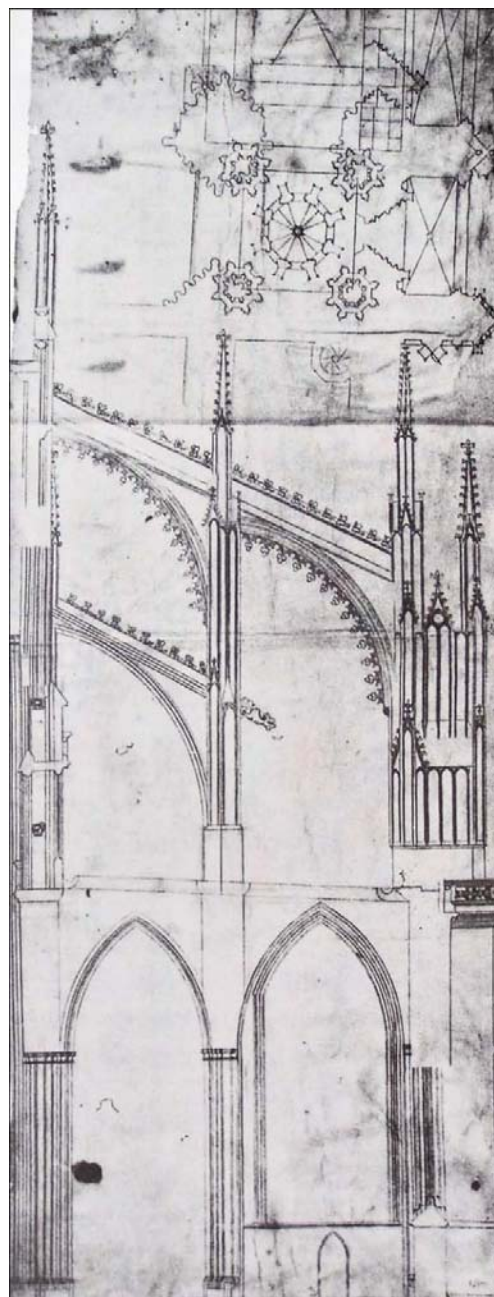
<sup>251</sup> Pojam Lineamenti, Alberti definiše kao "preciznu i korektnu konturu, nastalu ljudskim umom, sačinjenu od linija i uglova, i usavršen i uobličen intelektom i imaginacijom". Prema engleskoj verziji Albertijeve *De Re Aedificatoria*, knjiga1: Lineamenti, publikovanom u: *On the Art of Building in ten books*, 1988, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts (USA)

<sup>252</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 23)

<sup>253</sup> (Schank Smith, 2005, str. 22)

službi tradicije i principa građenja. Renesansni *lineamenti* označili su početak prakse opšte prihvaćen i u savremenoj arhitekturi, a koji je u vezi sa novom matematičkom i geometrijskom racionalizacijom slike koja je radikalno udaljena od klasične (Grčko-Arapske) teorije vizije<sup>254</sup>. Perspektiva je delila svoju geometrijsku prirodu sa novo definisanim lineamentima, crtežima koji su preokrenuli renesansnu arhitekturu od srednjevekovnih konstrukcija u slobodnu umetnost. Homologija ortogonalnih projekcija objekta i perspektive u procesu arhitektonskog projektovanja nije bila odmah ostvarena u renesansi. Alberti u svojoj knjizi *De Re Aedificatoria* (1450), naglašava razliku između crteža slikara i arhitekta, smatrajući da crtežima oboje otkrivaju dubinu ali na različite načine. Dok slikar ulaže napor da prikaže objekat pomoću senki i perspektivnih skraćivanja, arhitekta reprezentuje dubinu prostora pomoću seta crteža *ichnographia* i *ortographia* (plan i izgledi fasade) iz kojih se mogu izvesti prave mere objekta<sup>255</sup>. Alberti se takođe zalagao za upotrebu modela, jednostavnih i grubih za generisanje ideja o arhitektonskoj formi.

Nasuprot opštem ubeđenju, sistem tehničkog arhitektonskog crtanja se nije mnogo razvio tokom perioda renesanse. U koliko se posmatraju arhitektonski crteži u razmeri, mogu se uočiti „greške“ u reprezentaciji prostora koji su tipični za srednjevekovni period: zgrada je retko kad celovito definisana crtežima, osnove i izgledi nisu uvek dobro usaglašeni, razmera nije uvek definisana<sup>256</sup>. Skoro da nepostoji razlika u crtežu između gotskog arhitekta XV veka i Firentinskog arhitekta renesanse (slika 123). Ovaj fenomen je potpuno razumljiv iz antropološke tačke gledišta, sa obzirom da su običaji i navike uključivale čitav niz procesa u produkciji, promene na planu tehnike arhitektonskog crtanja tekle su veoma sporo. Postavka renesansnih arhitekata o specijalizaciji zadataka između



Slika 123

Ideja kombinovanja preseka sa izgledom fasade na crtežu katedrale Svetog Vita u Pragu oko 1430. godine, ukazuju da je takva ideja postojala i pre renesanse. Konvencije arhitektonskog crtanja kasne gotike nisu se značajno razlikovale od renesansnih.

<sup>254</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 9)

<sup>255</sup> Ibid. str. 27.

<sup>256</sup> (Potie, 2008, str. 105)



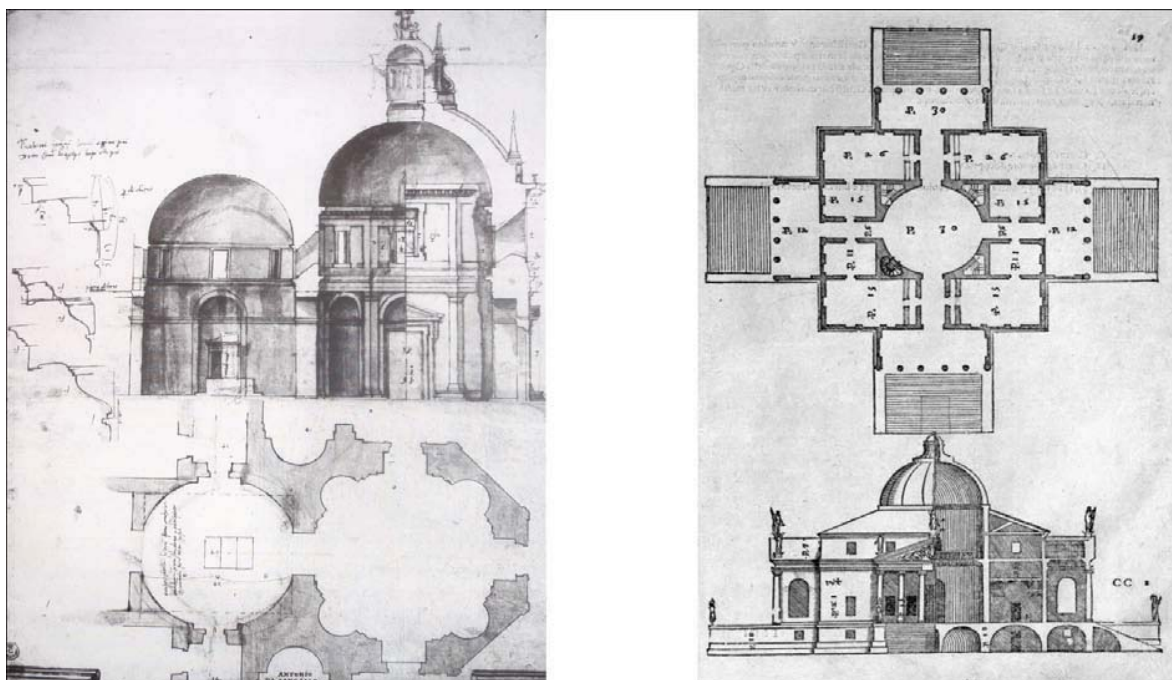
projektanta-crtača i majstora-izvođača postala je operativna i u potpunosti funkcionalna tek dva veka kasnije. Tako se arhitektonski crtež razvio iz instrumenta reprezentacije u standardizovani kod komunikacije prilagođenom izvođenju objekta ili arhitektonskih detalja i elemenata. Na taj način postalo je moguće da se projekat urađen na jednom mestu izvede na drugom mestu, što se odrazilo i na arhitekturu novih kolonijalnih zemalja.

Renesansni majstori koji su bili obučavani pre svega kao arhitekta, poput Antonia de Sanjala (Antonio da Sangallo) mlađeg i Andrea Paladia (Andrea Palladio) prvi su uspeli da posmatraju izgled fasada kao vertikalne projekcije, bez elemenata subjektivne perspektive i da ih simultano povezuju sa presecima i osnovom<sup>257</sup> (slika 124). Crtež Antonia de Sanjala crkve Monte Moro ukazuje na sintezu različitih elemenata reprezentacije kombinujući na istom crtežu unutrašnje i spoljašnje izgled, presek, koji su projekcijski povezani sa planom. Izuzev senčenja, de Sanjalov pomenuti crtež direktno je reflektovao Albertijeve principe arhitektonskog crtanja<sup>258</sup>.

Slika 124

Simultana veza između ortogonalnih projekcija na crtežima renesansnih arhitekata.

Levo: projekat crkve Monte Moro Antonia da Sanjala mlađeg, oko 1526. godine. Desno: Crtež Vile Rotonde u Vičenci, Andre Paladia iz 1569. godine



<sup>257</sup> (Ackerman, 2002, str. 56)

<sup>258</sup> Ibid.



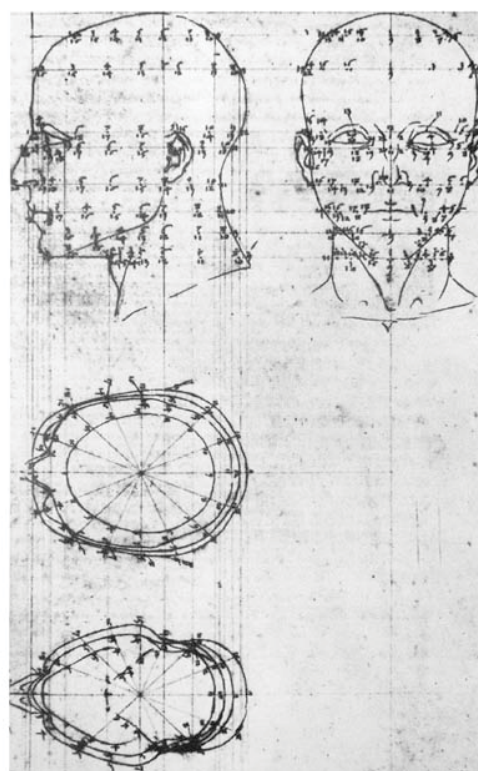
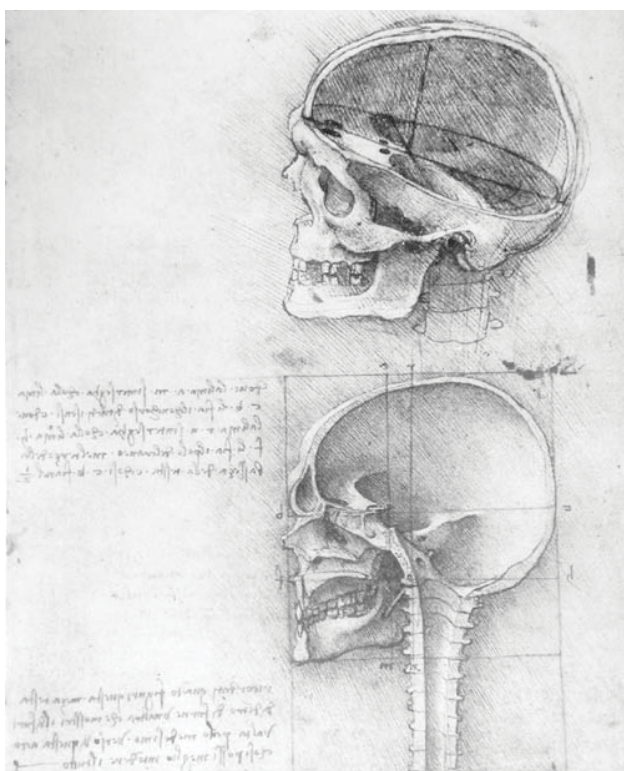
Kako slika 125. pokazuje, crteži preseka postojali su i u kasnoj gotici, ali se oni počinju intenzivnije koristiti tek početkom XVI veka kod italijanskih renesansnih majstora. Crteži preseka su bili odraz novog, analitičkog načina mišljenja i često su kombinovani sa drugim vidovima reprezentacije. Leonardo da Vinči (Leonardo da Vinci) u svojim naučnim studijama ljudskog tela je često kombinovao horizontalne i vertikalne preseke kroz anatomske crteže, „secirajući“ ih pomoću olovke<sup>259</sup> (slika 125). Takav primer je crtež iz 1489. godine, koji kombinuje horizontalni i vertikalni presek, izgled lobanje. Iako takvi crteži nisu bili uvek predmet posmatranja već Leonardove imaginacije i vežbe tehnike crtanja, oni su napravili put ka novoj konvenciji arhitektonskih crteža koji prikazuju „anatomsku“ strukturu zgrade. Na sličan način mogu se posmatrati crteži Pjera dela Frančeske (Piero della Francesca), koji upotrebljava preseke i međusobno povezuje ortogonalne projekcije, analizirajući proporcije ljudske glave (slika 125).

Slika 125

Anatomske i umetničke studije preseka figure kod renesansnih umetnika.

Levo: Crtež preseka profila ljudske lobanje, Leonarda da Vinčija iz 1489- godine.

Desno: crtež glave, Pjera dela Frančeske u raspravi o perspektivi (De Prospectiva pingendi) oko 1490. godine

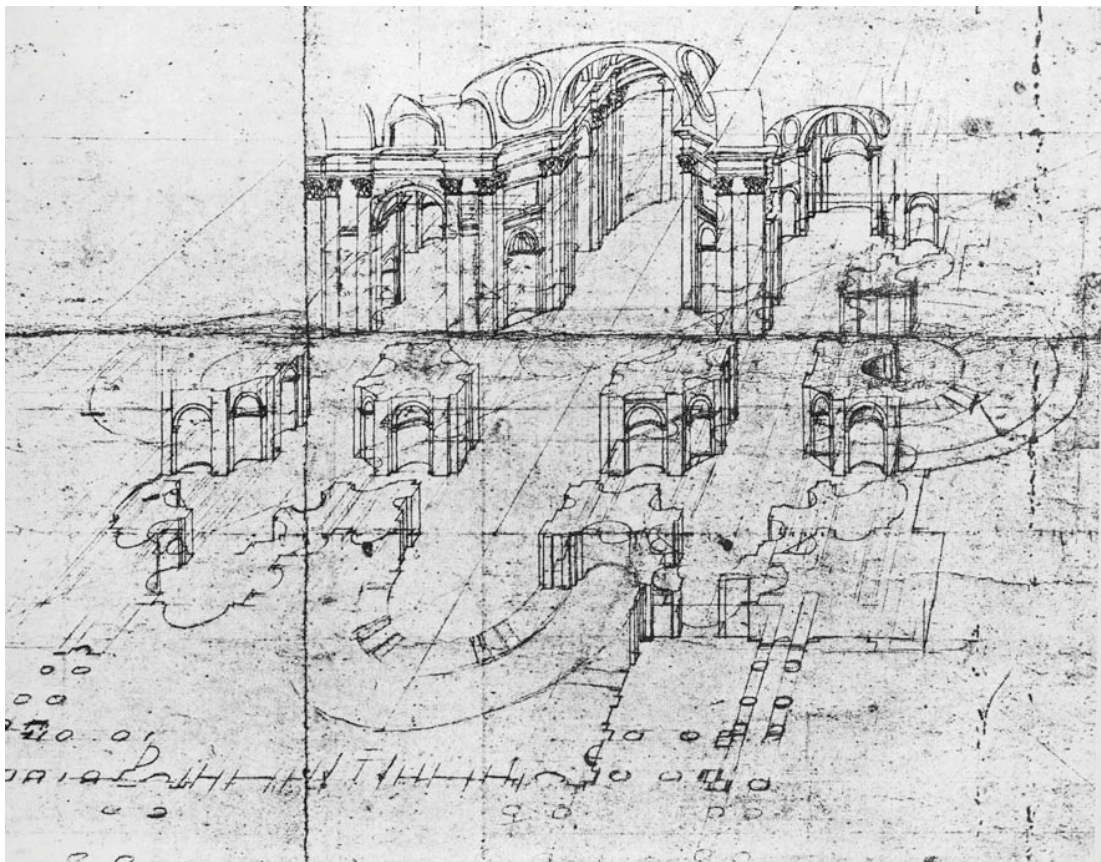


<sup>259</sup> U tom smislu, Leonardov pristup bio je pionirski. Opsesija otkrivanja unutrašnjosti tela, seciranje i uveličavanje kao put ka naučnom saznanju, odigrala se u Evropi tokom XVII veka.

Sličan analitički pristup istraživanja "anatomije" zgrade ukazuje nekoliko crteža početkom XVI veka. Perspektivni crtež preseka crkve svetog Petra u Rimu (oko 1534-1535) Baltazar Perucija (Baldassare Peruzzi), pokazuje najviši stepen razvoja kombinovanja preseka sa drugim tehnikama reprezentacije prostora (slika 126). Peruci je pomenutim crtežom ima za cilj da prikaže delove crkve koji su već bili izgrađeni kao i neke koji su bili dalje planirani<sup>260</sup>.

Slika 126

Perspektivni crtež preseka crkve svetog Petra u Rimu Baltazar Perucija (oko 1534-1535). Za perspektivnu konstrukciju, Peruci koristi metod Pjera de la Frančeske u kome je tačka nedogleda proizvoljno izabrana van okvira crteža.



Otkriće linearne perspektive i perspektivni način mišljenja o prostoru uticao je na razvoj trodimenzionalnog prikazivanja prostora u periodu renesanse. Trodimenzionalni prikazi bili su karakteristični i za prethodne epohe kao što su *skenographia* u antičkoj grčkoj, kao i lažne, subjektivne i inverzne perspektive u rimskoj i u srednjovekovnoj umetnosti. Otkriće linearne perspektive uticalo je na

<sup>260</sup> (Ackerman, 2002, str. 60)

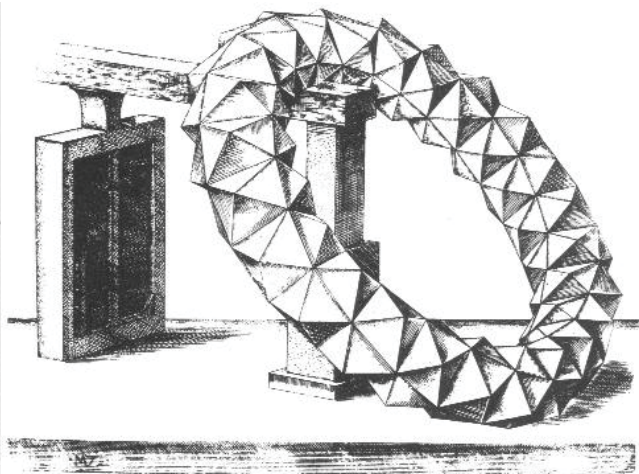
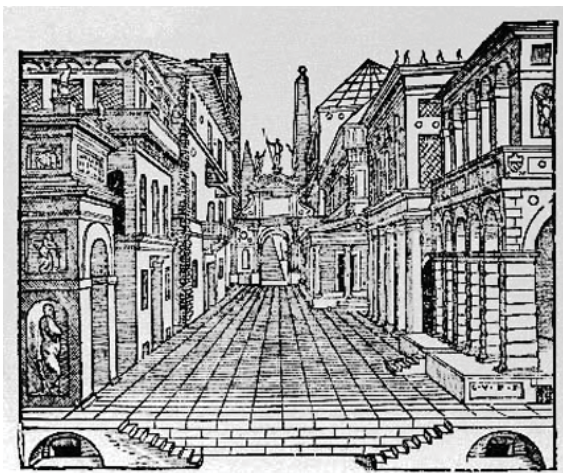


čitavu kulturnu istoriju Evrope. Kao što je već ranije pomenuto, Filarete je u svom traktatu o perspektivi prvi sugerisao upotrebu perspektive u proces stvaranja arhitektonske ideje. Sebastijan Serlio (Sebastiano Serlio) bio je prvi pisac arhitekta koji posvetio čitavo poglavlje o perspektivi (pet knjiga o arhitekturi, druga knjiga, 1545. godine) pišući kako su najbolje arhitekture tog vremena karijeru započeli kao slikari, i da je stoga *costruzione legittima*<sup>261</sup> od suštinske važnosti za arhitekture. On takođe iznosi da *perspectiva artificialis* pre svega koriste slikari i arhitekture u scenskom dizajnu<sup>262</sup> (slika 127). Zlatar Hans Lenker (Hans Lencker), autor knjige *Perspectiva Literaria* (1571) jedan je od prvih koji je uočio prednosti perspektivne reprezentacije prostora naspram modela, koje su do tada arhitekti uglavnom koristili da bi mogli sebi vizuelno predstaviti zgradu. Lenker zapaža da je arhitektama jednostavnije i brže crtanje perspektivnih slika od pravljenja modela od drveta ili voska<sup>263</sup> (slika 127).

Slika 127

Levo: Primena Albertijevog metoda konstruisanja perspektive *costruzione legittima* u scenskom dizajnu Sebarstijan Serlia. Gravura za tragičnu scenu potiče iz 1545. godine

Desno: Ilustracija iz knjige *Perspectiva Literaria* (1545) Hans Lenkera, jednom od prvih perspektivista koji je uočio prednosti perspektivnih slika u odnosu na izradu maketa



Osim novog, perspektivnog načina mišljenja o prostoru, na razvoj crteža kao metoda arhitektonske reprezentacije prostora u periodu renesanse su uticali i razvoj medijuma i tehnika crtanja. U renesansi započinje intenzivnija primena skica u procesu razrade projekta.

<sup>261</sup> Pojam *costruzione legittima* odnosi se na Albertijev metod konstrukcije perspektive.

<sup>262</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 22)

<sup>263</sup> (Peifer, 2008, str. 71)

Većina arhitekata bila je obučavana u slikarskim radionicama, u kojima su razvili tehnike skiciranja kao i crtanja perspektive. Postojale su određene razlike ali i sličnosti između različitih stilova crtanja i skiciranja. Leonardo Da Vinči je imao analitički i istraživački pristup, kombinujući sopstvenu opservaciju prirodnih pojava i predmeta sa imaginacijom. Crtajući detalje, Leonardo vodi računa o slogovima kamena ucrtavajući njihove spojeve. Baltazar Peruci, (Baldassare Peruzzi), Antonio Da Sanjalo i Đakomo Vinjola (Giacomo Vignola) su koristili skice za razrađivanje arhitektonskih detalja, kontrolišući crtež i linije veoma precizno, dok je Mikelandelov pristup bio mnogo fluidniji, vrlo često istraživajući simultano elemente arhitekture i ljudskog tela na istom papiru, pa čak i crtežu. Crtajući bazis stuba za crkvu San Lorenzo Mikelandelo stvara od elemenata bazisa karikaturu ljudskog profila<sup>264</sup> (slika 128).

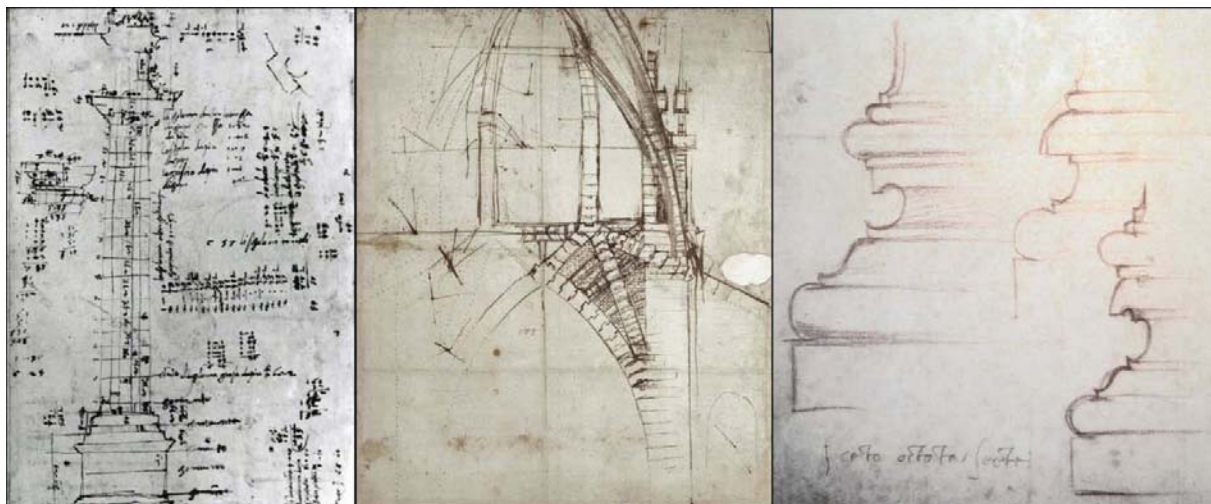
Slika 128

Razvoj različitih pristupa izradi skica tokom perioda renesanse.

Levo: dimenzionisanje arhitektonskih detalja Antonio Da Sanjala, početak XVI veka

Sredina: Studija detalja za Milansku katedralu Leonarda da Vinčija iz 1485. godine, gde su ucrtane i spojnice slogova opeke i kamena

Desno: Mikelandelova skica za bazis stuba crkve San Lorenzo oko 1520-1525. Razvijajući profilaciju stuba, Mikelandelo je uočio sličnost sa profilom ljudske glave, te je profilu desno "dodato oko i korigovana krivina nosa". Na Mikelandelovim skicama arhitektonskih detalja, motivi ljudskih figura bili su veoma česti.

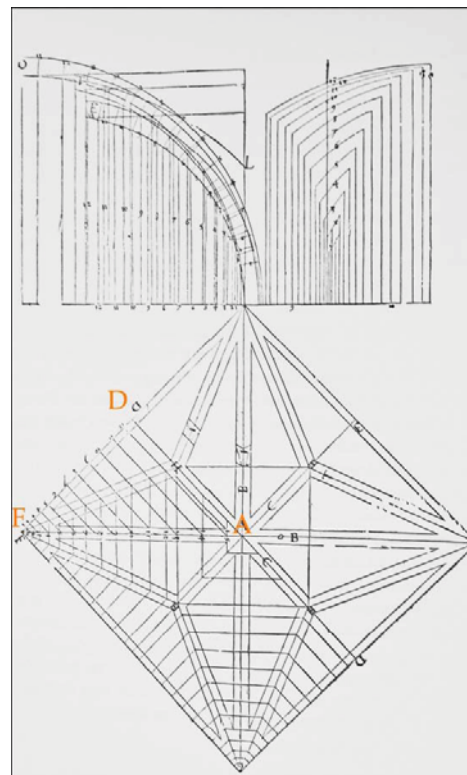


Paralelno sa razvojem reprezentacije koja se zasnivaju na izgledu i osnovi objekta, nastaju i novi kompleksniji vidovi reprezentacije najpre u južnoj Francuskoj, koja je srednjevekovnim romaničkim graditeljima omogućavala prikazivanje konstruktivnih dijagrama (trait) za nepravilne površi poput spiralnih stepeništa. Ovaj metod uključivao je i treću projekciju, nagoveštavajući presek kroz kompleksni volumen. Pomenuti metod geometrijske reprezentacije koji je bio ograničen na

<sup>264</sup> (Schank Smith, 2005, str. 21)



južnu Francusku počeo je da se širi na ostale delove države zajedno sa dolaskom Renesanse tokom XVI veka. Jedan od najznačajnijih pobornika ove tehnike je bio Filiber de' l Orme (Philibert de l'Orme) nadgledajući uvođenje prvih trompi, spiranih stepenica i kupola na objektima rađenim za kraljevsku porodicu<sup>265</sup>. Umetnost crtanja *cerces rallongées* (crtanje preseka rotacionih površi u oborenim ravnima) koje su prvobitno upotrebljavali francuski srednjevekovni graditelji, uticalo je na stvaranje novih tipologija geometrijskih tela koja su najavila period baroka. Koristeći se pomenutim veštinama crtanja, srednjevekovni graditelji Francuske mogli su precizno obeležiti i iseći kamene blokove nepravilnih oblika, koje je zatim trebalo uklapati u delove objekta složenih geometrijskih formi kao što su spiralne stepenice. Pomenute nacрте koristili su graditelji-zidari (klesari) a ne graditelji-arhitektae, a knjiga francuskog arhitekta-majstora Filibera de' l Ormea *Le premier tome de l'Architecture* (1567) je jedna od najranijih knjiga o stereotomiji, umetnosti sečenja kamenih blokova (slika 129), u kojoj je opisan način pravljenja crteža za čuveni trompe<sup>266</sup> na dvorišnoj strani zamka *Château d'Anet*<sup>267</sup> (slika 130). Nastanak oblika u arhitekturi baroka direktno je povezan novim metodama geometrijske reprezentacije prostora, o čemu svedoči istorija stereotomije i nacртne geometrije.



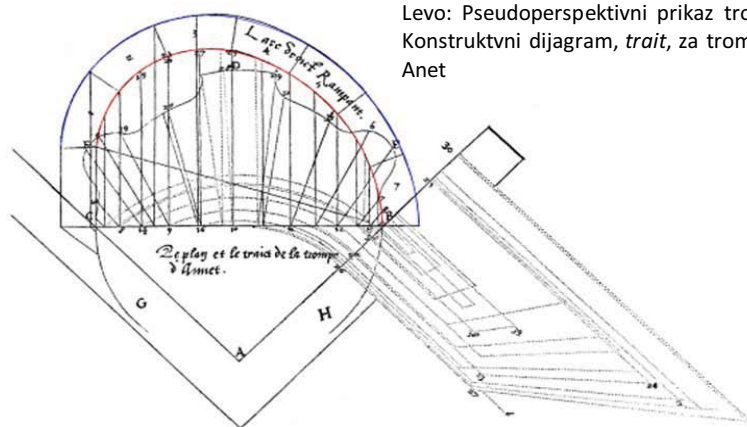
Slika 129

Konstrukivni dijagram, *trait*, za zvezdasti svod ilustrovanom u *Le premier tome* (1567) Filibera de' l Ormea, prikazan kroz tri projekcije.

Slika 130

Filiber de' l Ormeov, prikaza trompe za zamak Anet objavljen u *Le premier tome*.

Levo: Pseudoperspektivni prikaz trompe. Desno: Konstrukivni dijagram, *trait*, za trompe na zamku Anet



<sup>265</sup> (Potié, 2008, str. 108)

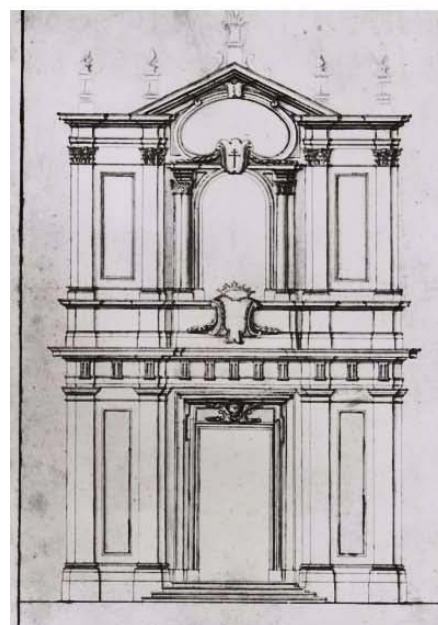
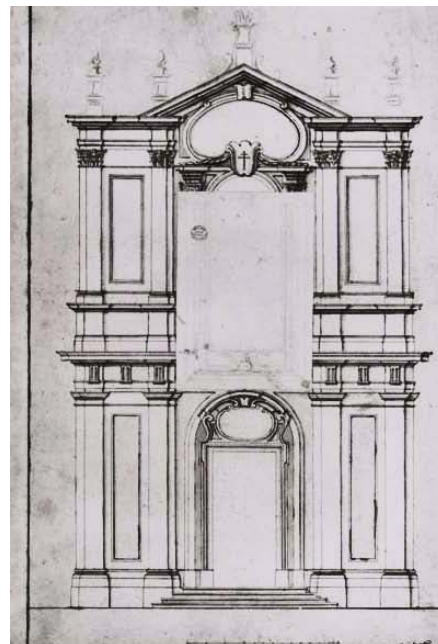
<sup>266</sup> Trompe je kosa konična površina koja obično služi kao oslonac na kulama

<sup>267</sup> (Evans, 2000, str. 180-189)

U periodu baroka, tehnike medijumi i alati arhitektonskog crtanja se još intenzivnije razvijaju nego u renesansi. Tokom XVI i XVII počinju se upotrebljavati T lenjiri sa crtaćim tablama<sup>268</sup>. Grafit postaje veoma popularan za izradu crteža naročito nakon 1662. godine kada se pojavljuju grafitne olovke sa drvenim držačem. Za razliku od grafika sa srebrnom iglom, grafitna olovka nije zahtevala nikakve pripreme za crtež, a greške u crtanju su se mogle brisati. Mnogi od Borominijevih crteža su bili izrađeni sa grafitom. Mastilo sa gušćijim perom je i dalje ostalo u upotrebi zbog jakih crnih linija koje su se tako mogle proizvesti, kao i zbog trajnosti linija koje se nisu mogle brisati.

Upotreba skica se neprestano širila među arhitektama s obzirom da su pravila proporcija postala mnogo slobodnija nego u ranijim epohama. Papir je postao još pristupačniji, a u arhitekturi su se pojavili mnogo kompleksniji arhitektonski programi, što je takođe uslovalo veću upotrebu skica, iako su se i dalje intenzivno koristile makete. Pored maketa crteži za prezentaciju su postali neophodan instrument, komunikacije između arhitekata i naručioca projekta. Takav primer je crtež Karlo Fontane (Carlo Fontana), predlažući dve alternative za dekoraciju fasade, koje su mu služile da uključi klijenta u proces odlučivanja<sup>269</sup> (slika 132).

Primena aksonometrije kao načina geometrijske reprezentacije nije bila karakteristična za evropski kontinent sve do perioda renesanse, a i tada je bila vrlo retko u primeni. Pomenuti način trodimenzionalnog prikazivanja je bio karakterističan za daleki istok<sup>270</sup>, a prvi primeri primene u Evropi pojavljuju se u periodu renesanse. Najraniji primeri takvih crteža potiču iz perioda kineske dinastije Han<sup>271</sup> (2 vek p.n.e.- 2 vek n.e.). Aksonometrijski način prikazivanja dominirao je



Slika 131

Dve varijacije za frontalnu fasadu crkve Santi Faustino e Giovita (Santi Faustino e Giovita) Karla Fontane između 1652-1714.

<sup>268</sup> (Booker, 1963, str. 38)

<sup>269</sup> (Schank Smith, 2005, str. 48)

<sup>270</sup> Drevna istočnjačka kultura i filozofija se nije vezivala za probleme optike i perspektivnih skraćivanja, za razliku od evropske. Kineski naziv za aksonometrijski crtež *dengjiao toushi* može se prevesti kao "gledanje kroz jednake uglove". Na drevnim istočnjačkim crtežima slikama i panoramama objekti su prikazivani bez optičkih skraćivanja.

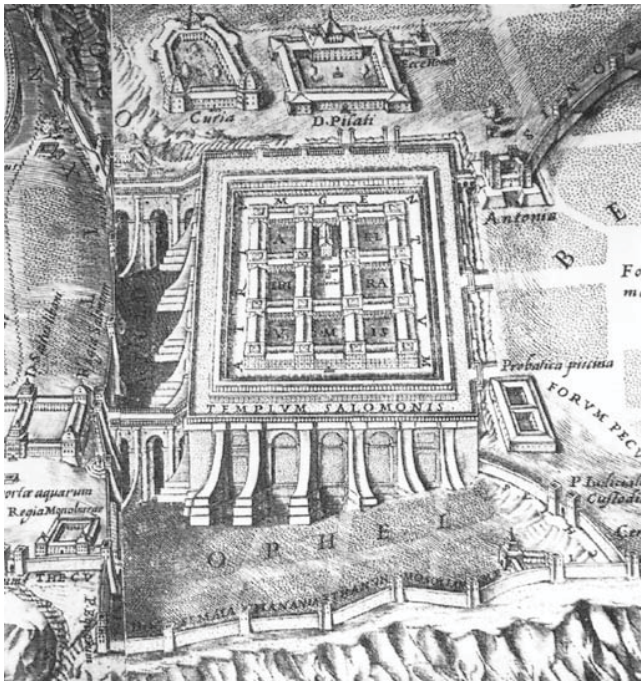
<sup>271</sup> (Needham, 2000, str. 114)

kulturom dalekog istoka vekovima (slika 132), a postoje takvi i primeri u arapskoj umetnosti XV veka. Prema J. Krikeu<sup>272</sup> (Jan Krikke), jezuitski misionari su uticali na širenje aksonometrijski način prikazivanja u Evropi. Prve aksonometrijske reprezentacije prostora u periodu renesanse i vezivane imale su simboličku konotaciju i za božansko viđenje sveta. O tome svedoče brojni crteži platonovih geometrijskih tela, kod renesansnih slikara i arhitekata, kao i čuveni crtež Solomonovog hrama španskog jezuite matematičara i arhitekta Huan Bautiste Vilalpandoa (Juan Bautista Villalpando) (1596-1604), koji je predstavljen u aksonometriji, božanskoj viziji kakva se vidi posmatrajući svet odozgo, sa neba (slika 133). Tek tokom XVII veka, nakon Dezargove perspektivne teorije, aksonometrija se može posmatrati u drugačijem svetlu. Vojni inženjeri i balističari su iz spostvenih potreba za preciznim crtežima koji daju trodimenzionalni pregled objekta počeli koristiti aksonometrijske projekcije. Krajem XVII veka javile su se različite varijante aksonometrijskih prikaza koje su imale za cilj da kompletno prikažu fortifikacijski objekat i da u isti mah omoguće precizno merenje i dimenzionisanje<sup>273</sup>.



Slika 132

Ilustracija iz kineske knjige Romansa tri kraljevstva, iz XV veka, u kojoj se vidi primena aksonometrijskog načina prikazivanja



Slika 133

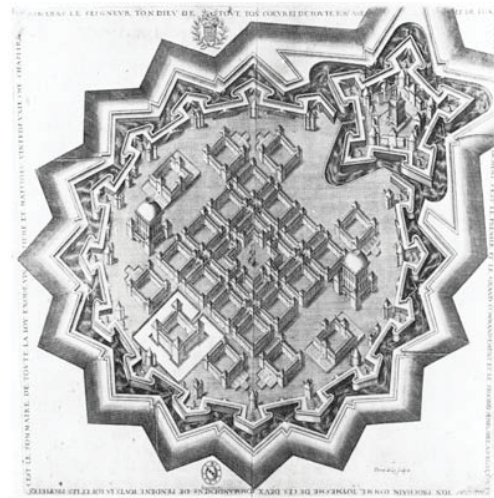
Crtež Solomonovog hrama Huan Bautiste Vilalpandoa iz 1604. godine u aksonometriji.

<sup>272</sup> (Krikke, 1996)

<sup>273</sup> (D'Orgeix, 2008, str. 127-140)

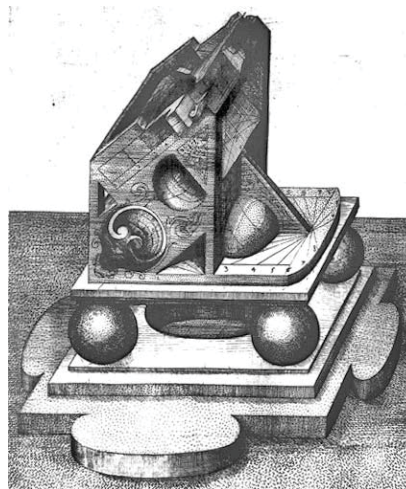


Krajem XVI i tokom XVII veka, problemi balistike i izgradnje utvrđenja bila je od velikog značaja za matematičare koji se bave problemima perspektive i geometrije. Promene u veštinama ratovanja zahtevale su nove načine izgradnje utvrđenja, u čemu je uloga geometrije i geometrijske reprezentacije imala važnu ulogu. U tom periodu nije bilo neobično da se pisci rasprava o perspektivi bave projektovanjem fortifikacija. Simon Stevinov traktat "Umetnost fortifikacija" (1594) jedan je od prvih u kojima je izgradnja utvrđenja posmatrano sa strateškog aspekta, ogoljeno od bilo kakvih simboličkih vrednosti<sup>274</sup>. U pomenutoj knjizi Stevin navodi da „utvrđenja moraju najpre biti isprojektovana, pre nego što počne izgradnja, zato je važno praviti crteže, dok se ne napravi najbolji odgovarajući plan objekta"<sup>275</sup>. Tek sa francuskim maršalom Sebastijanom Vobanom (Sébastien Le Prestre de Vauban) izgradnja fortifikacija postaje vojno-inženjerski problem zasnovan na naučnim principima balistike, geometrije, matematike, građevinarstva i veštine ratovanja, ogoljeno od bilo kakvih tradicionalnih simboličkih implikacija. Takav pristup zahtevao je precizne i tehnike crtanja i nove modele geometrijske reprezentacije, zbog čega se aksonometrija počinje intenzivnije upotrebljavati (slika 134). Aksonometrija je omogućavala jednostavno crtanje trodimenzionalnih prikaza objekta a da se pri tom lako mogu odrediti prave veličine pojedinih elemenata. Pojam *prospettiva soldatesca* (vojna perspektiva) pojavio se prvo u Italiji krajem XVI veka i odnosio se na metod trodimenzionalnog prikazivanja objekta paralelnim projiciranjem zraka<sup>276</sup>. Pojam vojne perspektive je bio dalje prihvaćen u francuskoj i engleskoj literaturi<sup>277</sup>, kao specifičan i pragmatičan način trodimenzionalnog



Slika 134

Crtež sistema fortifikacija iz Žak Peretovog (Jacques Perret) traktata *Des Fortifications* (1601). Iako napisana sedam godina nakon Stevinovog traktata, Peretova geometrijska struktura je i dalje vezana za teološke doktrine. Crtež je nacrtan veoma precizno u aksonometriji ali je geometrijska kompozicija i dalje "idealizovana" a ilustracija je uokvirena tekstom iz biblije.



Slika 135

Vojna (kavaljerska) perspektiva u studiji *Le timon* (1587) Ambroaza Bašoa (Ambroise Bachot)

<sup>274</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 268)

<sup>275</sup> Simon Stevin, *The Principal Works*, [IV] *The Art of War*, str. 65, preuzeto iz digitalne biblioteke Kraljevske Holandske akademije umetnosti i nauke na: <http://www.historyofscience.nl/>

<sup>276</sup> Jedan od prvih primera upotrebe pojma *prospettiva soldatesca* upotrebljen je u raspravi *Delle fortificazioni della cita* (1564) Điolamo Mađija (Girolamo Maggi) i Jakopo Kastriotoa (Jacopo Castriotto). (D'Orgeix, 2008, str. 129-131)

<sup>277</sup> Pojam kavaljerske perspektive (perspective cavalière) se odnosi na poseban tip paralelnog kosog projiciranja koji su koristili francuski vojni inženjeri od XVI do XIX veka.

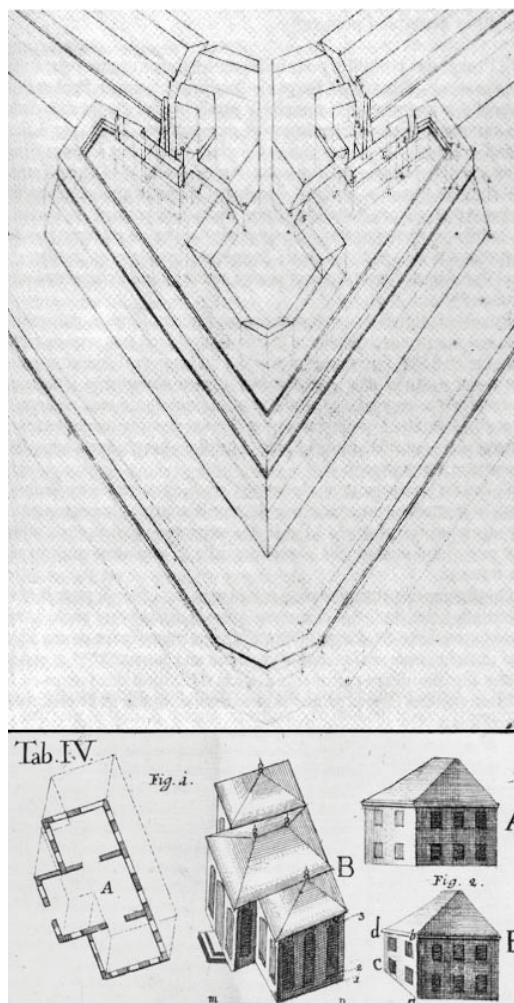


prikazivanja objekta u kojima nema perspektivnih skraćenja (slika 135).

Planometrija kao specifičan tip aksonometrije u kojem i veličina uglova u osnovi ostaje nepromenjena pojavljuje se među mnogim drugim brojnim načinima aksonometrijskog prikazivanja krajem XVI veka. Planometrija se prvo pojavila u okviru fortifikacijskih crteža poput Ambroaz Bašovog (*Ambroise Bachot*) *Le Timon* (1587) (slika 136) ili u različitim matematičkim traktatima poput Teodorik Ludersove (Theodoric Luders) *La première Partie de la Perspective Militaire* (1680). Prva u Evropi poznata takva aksonometrija sa arhitektonskim kontekstom je crtež Leonard Kristof Sturma (Leonhard Christoph Sturm) 1699. godine u Amsterdamu<sup>278</sup>. Veza između arhitekture i planometrije je bila eksplicitno izražena u radu Kristijan Riger (Christian Rieger), autora rasprave *Perspectiva militaris* (1758). Riger u svom delu ne samo da demonstrira upotrebu planometrije već se zalaže za njenu upotrebu u arhitekturi<sup>279</sup> (slika 136).

Na prelazu iz XVII u XVIII vek počinje se razvijati moderan način mišljenja o kartezijanskom prostoru istovremeno šireći okvire dotadašnjih metoda geometrijske reprezentacije. Nekoliko knjiga koje su se pojavile u tom periodu pomerile su dotadašnje granice instrumentalnog pristupa reprezentacije prostora. Uticaj nekih knjiga kao što su Klod Peroov prevod Vitruvija (1673) i *Perspectiva pictorum et architectorum* Andree Pocoa (1693), je već prikazan u kontekstu razvoja instrumentalnog pristupa ideji kartezijanskog prostora. Osim pomenutih knjiga na razvitak novih tehnika trodimenzionalnog prikazivanja uticali su vojno-inženjerski traktati XVII veka kao i nova forma perspektivnog prikazivanja koja se pojavljuje u baroknoj pozorišnoj scenografiji početkom XVIII veka.

Početak XVIII veka Ferdinando Gali Da Bibiena (Ferdinando Galli da Bibiena) je izumeo novu formu



Slika 136

Gore: Planometrijski prikaz bastiona iz studije *Le timon* (1587) Ambroaz Bašoa

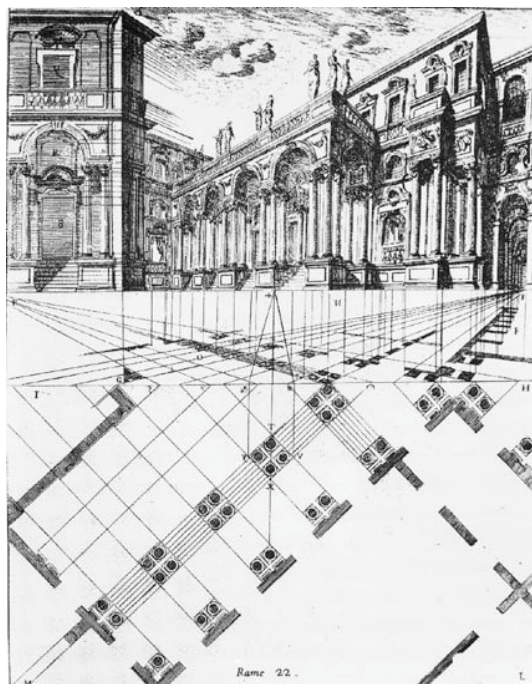
Dole: Planometrijski prikaz u studiji *Perspectiva militaris* (1758) Kristijan Riger. U pomenutom delu, Riger je pokazao na koji način primena planometrije može biti korisna arhitektama

<sup>278</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 274)

<sup>279</sup> Ibid.

perspektivnog prikazivanja. Perspektivu s ugla odnosno *vedute per angolo* Bibiena je prvi put predstavio u knjizi *Architettura Civile* (1711) kao novi način za postavku pozorišne scene (slika 137). Za razliku od prethodnih perspektivnih postavki koje su bile prikazivale iluzionističke postavke ekstenzija auditorijuma, novi metod teži diskontinuitetu. U tradicionalnim baroknim pozorišnim postavkama, scenom je dominirala centralna osa, a elementi scenografije pravili su iluziju linerane perspektive. Glumci su morali konstantno biti svesni svoje pozicije na sceni, krećući se samo u ograničenoj zoni da nebi remetili iluziju dubine koju je činila scenografija. Bibienina perspektivna postavka smanjila je ta ograničenja, istovremeno povećavajući iluzionistički efekat perspektive. Barokna pozorišta i perspektivne scenografije do XVIII veka pravljena su tako da je perspektivna iluzija scene bila prilagođena specifičnoj tački u auditorijumu, namenjena kralju, i postavljena na centralnoj osi. Iz bilo koje druge tačke, taj efekat bi bio umanjen. Bibienina urbana scenografija sa planom oblika V ili X, omogućila je da doživljaj perspektivne iluzije na sceni bude podjednak većini gledalaca<sup>280</sup>.

Kako D. Veseli uočava<sup>281</sup>, diskontinuitet u perspektivnoj iluziji Bibienine scenografije jedan je od ključnih momenata u kojem se odigrala transformacija iz simboličke u estetsku reprezentaciju prostora. Prema Veseliju, razdvajanje barokne iluzije od svog konteksta razorilo je kontinuitet od koga zavisi simboličko značenje<sup>282</sup>. Početkom XVIII veka prvi put se perspektiva počinje koristiti kao instrumentalni metod u istraživanju prostora, najpre primećen u crtežima Piranezija, a zatim prihvaćen i u procesu istraživanja forme u arhitekturi.



Slika 137

Scena sa ugla Ferdinando Gali Da Bibiene iz knjige *Architettura Civile* (1711).

<sup>280</sup> (Gomez & Pelletier, 2000, str. 205-207)

<sup>281</sup> (Vesely, 2004, str. 254-255)

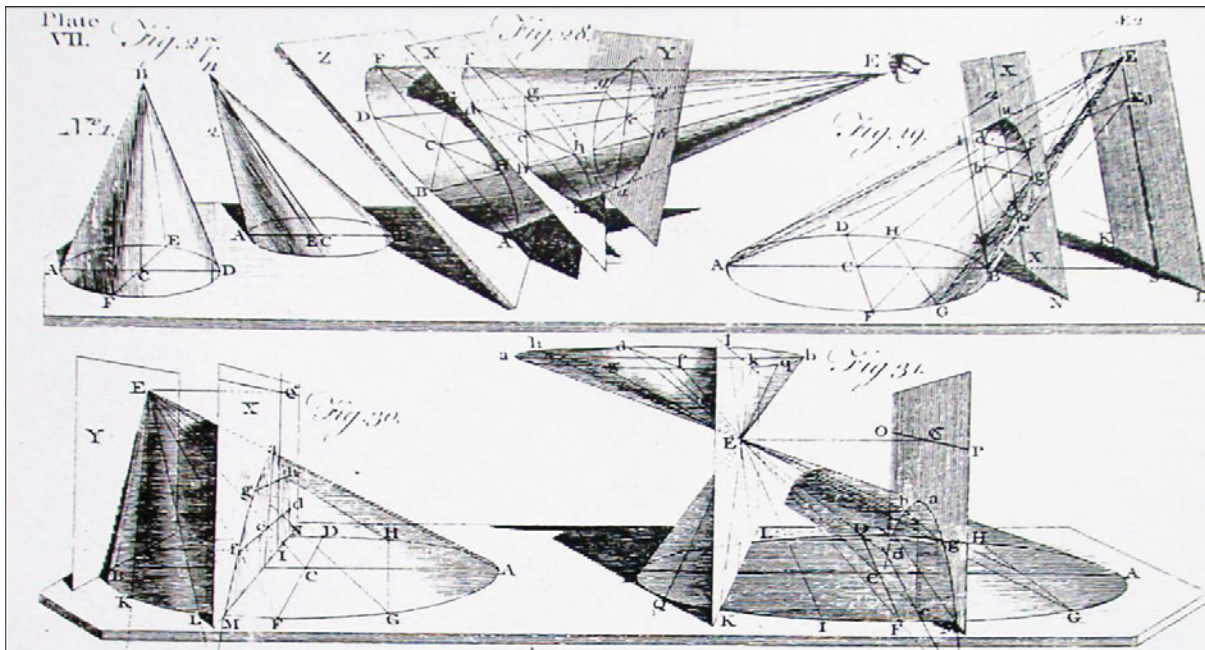
<sup>282</sup> Ibid.

### 3.2. Uticaj medijuma i tehnika geometrijske reprezentacije na savremenu arhitekturu predigitalne epohe

Sve do razvitka digitalnih tehnologija, papir je bio dominantan medijum geometrijske reprezentacije. Papir je omogućavao veoma bržu i jednostavniju vizualizaciju arhitektonskih ideja u odnosu na makete, zbog čega je crtež ponekad bio favorizovan kao metod reprezentacije. Značaj crteža je kroz istoriju savremene arhitekture bio istovremeno i negiran i uveličavan. Kao što je već ranije pomenuto, osnovno ograničenje papira kao medijuma geometrijske reprezentacije ogleda se u (ne)mogućnosti prenošenja informacija o objektu u prostoru u okviru dvodimenzionalne ravni. Primene različitih tehnika geometrijske reprezentacije kao što su ortogonalno projiciranje, aksonometrija i perspektiva su bili osnovni načini na koje su informacije o nekom prostoru transponovane na dvodimenzionalni medijum-papir (slika 138). Dalje u tekstu biće detaljnije prikazano na koji način su se tehnike geometrijske reprezentacije reflektovale na razvoj savremene arhitekture.

Slika 138

Ilustracija iz knjige *Rasprava o perspektivi* (1775) Tomasa Maltona (Thomas Malton). Slično drugim raspravama o perspektivi iz XVIII veka, knjiga je bila bogata ilustracijama koje pokazuju različite primere primene perspektive i senčenja primenjene na geometrijska tela ali i arhitektonske scenografije. Arhitektonska reprezentacija je svedena na čist geometrijski problem. Prikazana planša 7 iz Maltonove rasprave prikazuje senčenje preseka koničnih površi u perspektivi.

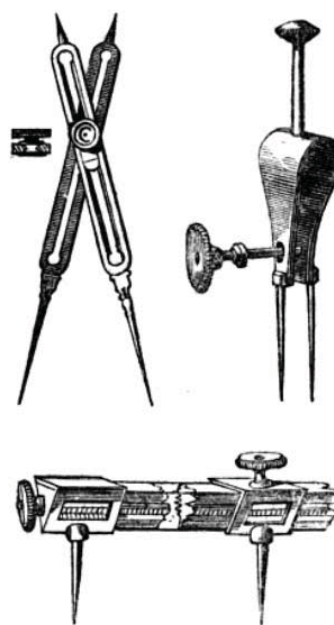




Jedna od karakteristika arhitekture moderne epohe jeste intenzivna primena crteža kao medijuma reprezentacije u procesu stvaralaštva. Za razliku od prethodnih epoha u kojima je maketa dominirala, tokom XVIII i XIX veka crtež postaje podjednako važan metod arhitektonske reprezentacije. Kao što je već prikazano, novoj ulozi crteža prethodio je razvitak kartezijskog načina mišljenja i novih projektivnih tehnika prikazivanja.

Osnovni uslovi za stvaranje novih odnosa između arhitekture i tehnologije uspostavljen je u XVII veku kada je napravljen jaz između tradicionalnog simboličkog i novog instrumentalnog načina reprezentacije. Relativno brzo stariji pristup i novi instrumentalizam je integrisan. Tokom XVIII veka osnivaju se škole inženjerskih disciplina, koje zamenjuju tradicionalno obrazovanje u zanatskim gildama, najavljujući pojavu moderne estetike<sup>283</sup>. Istovremeno razvitak štampe, sve veći broj publikacija o arhitekturi i tehnikama crtanja bili su jedni od ključnih elemenata u razvoju arhitektonskog crteža kao metoda reprezentacije.

Novi medijumi i alati reprezentacije su se takođe razvijali, utičući na sve dominantniju primenu crteža u arhitekturi. Razvoj alata za crtanje i tehnologije proizvodnje papira imali su neposrednog uticaja na intenzivnu upotrebu crteža u arhitektonskom stvaralaštvu moderne epohe. U XVIII veku kaučuk je uvezen iz Indije u Evropu, a 60-tih godina istog veka uočeno je njegovo interesantno svojstvo da se može upotrebljavati kao alat (gumica) za brisanje crteža rađenih u grafitu ili ugljenu. Set lenjira-trouglova pojavili su se 50-tih XIX veka<sup>284</sup> kada su aksonometrijski prikazi postali uobičajen metod tehničkog crtanja. Šestar se koristio vekovima ranije (slika 139), ali je usavršena metoda sa grafitnom olovkom postala uobičajena tek



Slika 139

Ilustracije crtaćeg pribora (razmernici i šestari) iz knjige Tomas Bredlija *Practical Geometry* iz 1836. godine. U pomenutoj knjizi opisani su T-lenjiri ali lenjiri-trouglovi nisu još bili u primeni.

<sup>283</sup> (Vesely, 2004, str. 16)

<sup>284</sup> Tomas Bredli (Thomas Bradley) u knjizi *Practical Geometry* iz 1836. godine opisuje čitav set alata za crtanje, od T-lenjira, šestara, pantografa do eliptografa, ali se trougaoni lenjir ne spominje. Početkom 60-tih godina trougaone lenjire su u britaniji mogli kupiti za samo nekoliko penija. (Bradley, 1834, str. 4-7)



sredinom XIX veka. U istom vremenskom periodu dolazi i do inovacija u tehnologiji proizvodnje papira. Primena drvene mase u proizvodnji, značajno je uticalo na povećanje kvaliteta i smanjenje cene papira. Poluprovodni papir uveden je u arhitektonsku praksu već u okviru nastavnog procesa Akademije lepih umetnosti (Ecole des Beaux-Arts) u Francuskoj. U okviru Akademije finalni projekti, *rendu*, rađeni su na velikim formatima, koji su godinama postajali čak sve veći, tako da su dostizali veličine skoro dva metra<sup>285</sup>. Arhitektae školovane na Akademiji koristile su različite alate i pribor za crtanje kao što su: pero, mastilo, grafit, vodene boje, četkice, lenjiri, šine pod uglom i šestari. Arhitektonski crtež tokom XVIII i XIX veka dobija identitet, karakter i likovni izraz. Crtež u arhitekturi moderne epohe postaje umetnost sama za sebe, nezavistan od onoga šta predstavlja (slika 140).



Slika 140

Od XVIII veka arhitektonski crtež se po prvi put može posmatrati sa tri različita aspekta: kao sredstvo tehničke komunikacije, vizuelizacije ideja u procesu projektovanja i kao samostalna likovna forma. Pomenuti aspekti su već delimično obrađeni u kontekstu *razvitka i sistematizacije tehnika crtanja*, i *razvitku ideje o procesu istraživanja arhitektonske forme kroz crtež* u okviru prikaza instrumentalizacija ideje kartezijanskog prostora.

Detalj izgleda fasade paviljona u malom Vrtu Trianon, Versaj, arhitektae Anž Žak Gabrijela (Ange-Jacques Gabriel), prema crtežu Rišar Mika (Richard Mique) iz 1781. Crtež Rišar Mika, nekadašnjeg direktora Akademije, ukazuje na stav koji je ta prestižna škola gajila prema arhitektonskom crtežu. Finalni arhitektonski crtež, *rendu*, bio je vrhunsko umetničko delo sam za sebe.

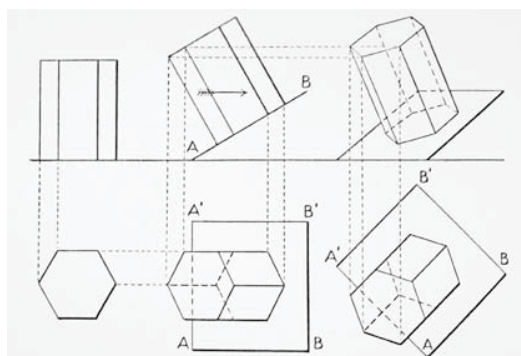
Tokom XVIII veka parovi ortogonalnih projekcija (plan, izgled i presek) zajedno sa perspektivom su bile uobičajene tehnike geometrijske reprezentacije u arhitekturi. Rasprava Andrea Pocoa *Perspectiva pictorum et architectorum* (1693) ukazala je arhitektama na mogućnosti generisanja perspektivnih slika iz parova ortogonalnih projekcija. Nova forma perspektivnog prikazivanja koju Ferdinando Galili Da Bibiena prvo uvodi u scenski dizajn dobija pun značaj tek nakon arhitektonskih kompozicija Piranezija, podstičući arhitektae na uverenje o mogućnostima projektovanja u perspektivi. Arhitektonski crteži Le Du i

<sup>285</sup> (Schank Smith, 2005, str. 73)

Bulea su takav stav o ulozi perspektive u procesu stvaralaštva i potvrdili.

Tokom XIX veka dešavaju se brojne promene u kontekstu primene različitih tehnika geometrijske reprezentacije prostora u arhitekturi. Industrijska revolucija uticala je na razvoj tehničkog crteža potencirajući one forme projektivnog prikazivanja koje omogućavaju jednostavno i efikasno "čitanje" i realizaciju. Monžova *Geometrie descriptive* (1795) i Farišova *Isometrical perspective* (1820) su knjige koje su u tom smislu imale jednu od ključnih uloga. Istovremeno perspektivni način prikazivanja kao i upotreba crteža u arhitekturi kao senzibilna umetnička forma, paralelno se razvijaju sa inženjerskim tehnikama prikazivanja. Kako A.T. Berada uočava<sup>286</sup>, uloga crteža u arhitekturi XIX veka počiva na dihotomiji slikarskog i inženjerskog pristupa reprezentaciji prostora. Oba pomenuta pristupa uticaće na repozicioniranje uloge crteža u procesu arhitektonskog stvaralaštva početkom XX veka. Stoga će razvoj tehnika crtanja paralelnim (objektivnim, inženjerskim) i centralnim (perspektivnim, slikarskim) projiciranjem biti prikazan nezavisno.

Razvitak tehničkog crteža tokom XIX veka karakterističan je za različite inženjerske oblasti i predvođen je u onim zemljama na koje je industrijska revolucija najviše uticala. Francuska, Velika Britanija, Nemačka i Amerika imale su veliku ulogu u razvitku konvencija standarda i inženjerskog tehničkog crtanja. Monžova nacrtna geometrija proizašla je kao naučni metod objektivnog načina prikazivanja pre svega za vojne potrebe, ali se brzo proširila i na ostale inženjerske delatnosti. Principi nacrtna geometrije vrlo brzo su prihvaćeni u kontinentalnom delu Evrope, dok je Velika Britanija imala nešto drugačiji razvitak tehničkog crtanja. Sistem inženjerskog obrazovanja u Velikoj Britaniji razvio je pragmatičniji pristup tehnikama crtanja koji su takođe rađeni u parovima ortogonalnih projekcija (slika 141). Slično, na



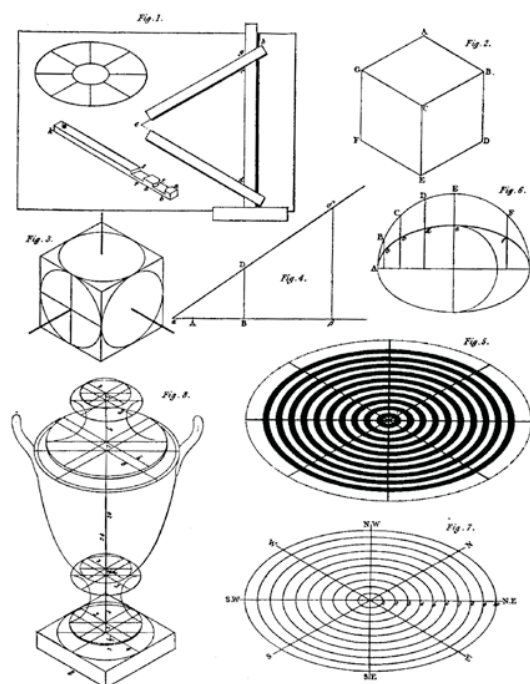
Slika 141

Ilustracija iz knjige *An Elementary Treatise on Orthographic Projection* (1857) Vilijam Binsa (William Binns). Crtež prikazuje osnovni objekat koji se vidi u pravoj veličini (levo), da bi se rotiranjem ravni dobio oblik tela doveo u proizvoljan položaj. Principi geometrijskih transformacija u crtežima parova ortogonalnih projekcija bio je identičan na francuskom i britanskom tlu, ali je logika bila drugačija. Naziv za nacrtnu geometriju na britanskom tlu bio je stereometrijsko crtanje (solid geometry drawing) i bio je baziran na projektivnim transformacijama primenjenim na geometrijske primitive a ne osnovnim geometrijskim pojmovima kao što su prava i ravan. (Booker, 1963, str. 138,139) Binsovog pristup je obrnut od Monžovog koji kreće od tela u opštem položaju da bi projektivnim transformacijama bio doveden u položaj u kome se vidi u pravoj veličini.

<sup>286</sup> (Thomine-Berrada, 2008, str. 141,149)

američkom kontinentu je prihvaćen način tehničkog crtanja kroz parove ortogonalnih projekcija, ali je za razliku od evropskog kontinenta redosled projekcija na crtežu zanemarivao projektivnu logiku Monžovih kvadranta<sup>287</sup>.

Iako se aksonometrijski način prikazivanja počeo primenjivati u Evropi u XV veku, interes za njenu primenu u arhitekturi počinje tek u XIX veku. Važnu ulogu u tom smislu imala je Velika Britanija promovišući izometriju, kao jednostavnu i pragmatičnu metodu crtanja u inženjerske svrhe. Pomenuti metod reprezentacije u empirijskom smislu bio je poznat vekovima ranije, ali ga Vilijem Feriš prvi naziva *izometrijskom perspektivom*, naglašavajući tako njegovu osnovnu karakteristiku, da su jedinične duži tri ortogonalne ose jednake veličine. Svestan prednosti izometrijskog prikazivanja u odnosu na perspektivni, Farish favorizuje ovaj metod reprezentacije u odnosu na druge: "Metod perspektive, koji je predmet ove rasprave (...) smatram podesnijim za prikazivanje mašina, stoga se odlučujem da istražim njegove principe i njegovu primenu u praksi. On je podesniji od klasične perspektive iz više razloga. Njeni principi su mnogo jednostavniji"<sup>288</sup>. Praktičnost ove metode reprezentacije u odnosu na perspektivu ogleda se u tome da su mere na crtežu u sva tri ortogonalna pravca proporcionalna pravoj veličini objekta koji se prikazuje, zbog čega je sam proces crtanja znatno jednostavniji i brži. Paralelne ivice objekta koji se prikazuje ostaju međusobno paralelne i na crtežu. Karakteristike izometrijskog prikaza da su ivice kocke međusobno paralelne a osni pravci horizontalne ravni obrazuju ugao od 120°, Ferish koristi za pravljenje specijalne crtaće table sa T-lenjirom. U pomenutoj knjizi Ferish opisuje crtaću tablu i T-lenjir koji ima na vertikalnoj šini pomoćne dodatke - lenjire pod uglom od 60° (slika 142). Pomoću takve table



Slika 142

Ilustracija iz knjige *Isometrical Perspective* (1820), Vilijama Feriša. Crtež prikazuje način crtanja geometrijskih figura u izometriji, kao i crtaću tablu sa dodacima za T-lenjir, za crtanje pod uglom od 60°.

<sup>287</sup> Na američkom kontinentu je za određivanje rasporeda projekcija korištena imaginarna staklena kocka u kojoj se nalazio predmet koji treba da se opiše. Razvijanjem omotača te kocke, dobijen je raspored projekcija. Prema (Booker, 1963, str. 155-170)

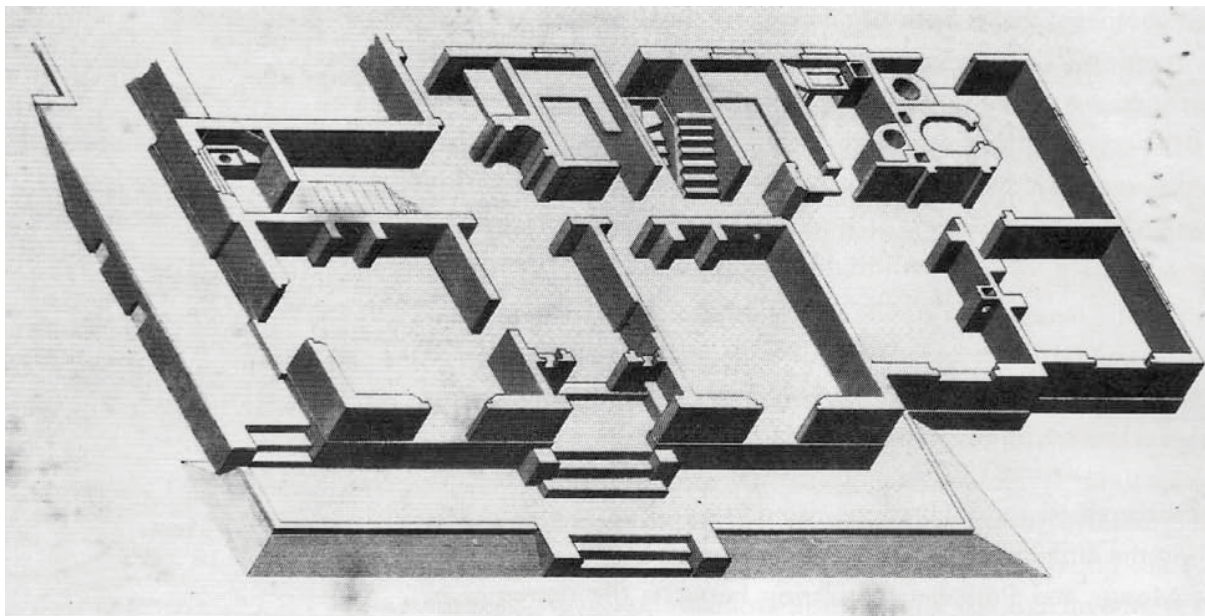
<sup>288</sup> William Farish, *On Isometrical Perspective*, Cambridge Philosophical Society Transactions, Vol 1. str 1-20, 1822. preuzet iz (Booker, 1963, str. 116)

bilo je veoma jednostavno prikazivati trodimenzionalne objekte u izometriji<sup>289</sup>.

Novi grafički metod u Ferišovoj knjizi upotrebljen je da prikaže crteže mašina i bazira se na ortogonalnim projekcijama volumena objekta kod koji se linije preseka ortogonalnih ravni seku pod uglom od 120°. Tri pravca: visina, širina i dužina imale su podjednake jedinične vrednosti, a tačka nedogleda bila je u beskonačnosti. Ova tehnika geometrijske reprezentacije je vrlo brzo razvijena i prihvaćena na britanskom tlu. U svojoj raspravi *The Practice of Isometrical Perspective* (1835) Džozef Džopling (Joseph Jopling) naglašava praktični značaj ovog metoda reprezentacije projekcije kao alata arhitektonske reprezentacije, koji može biti primenjen za crtanje gradova, objekata, arhitektonskih detalja, kanala, mostova, ornamenata i nameštaja<sup>290</sup> (slika 143). Džopling takođe uočava da se izometrijski način prikazivanja zasniva na reprezentaciji imaginarne kocke, te da se svaki objekat može vrlo brzo i jednostavno prikazati na najmanje šest različitih načina nudeći beskrajne mogućnosti prikazivanja u zavisnosti od orijentacije posmatrača<sup>291</sup>.

Slika 143

Ilustracija iz knjige *The Practice of Isometrical Perspective* (1835) Džozef Džoplinga. Slika ilustruje trodimenzionalni prikaz plana, kao horizontalni presek na visini od 1 metar. Prema Gomezu i Peletjeu, Džopling je izometrijom pokazao interes ka "objektivnoj reprezentaciji i subjektivnoj pojavnosti" crteža. (Gomez & Pelletier, 2000, str. 311)



<sup>289</sup> (Booker, 1963, str. 119)

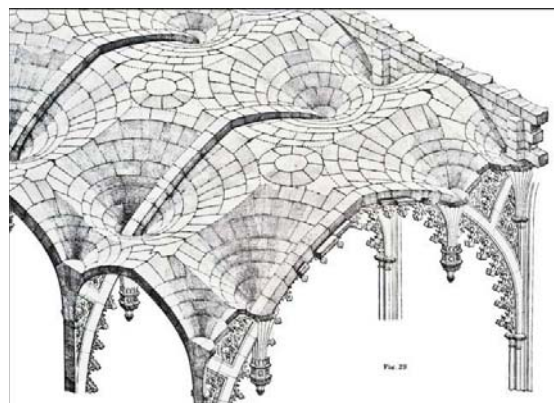
<sup>290</sup> (Jopling, 1835, str. 13)

<sup>291</sup> Ibid. str. 9-11.



Tokom 40-tih i 50-tih godina nemački inženjeri i matematičari dalje razvijaju teorijske osnove i nomenklaturu od izometrije ka aksonometriji, uvodeći pojmove *izometrije*, *monodimetrije* i *anizometrije* kao mogućnosti aksonometrijskog načina prikazivanja<sup>292</sup>. Istoričar arhitekture Robert Vilis (Robert Willis), takođe profesor na Kembridžu kao i Feriš, upotrebljava izometrijski prikaz na originalan način u svojoj čuvenoj studiji srednjevekovnih svodova (slika 144). Ova studija objavljena prvi put na francuskom 1843. godine ostavila je snažan uticaj na Šoazija koju je još kao mladić pronašao u očevoj biblioteci<sup>293</sup>. Kako je Šoazi sam priznao, Vilisova knjiga je za njega bila otkrovenje: "Ona pokazuje kako forme treba da budu analizirane, tako crtež treba da prikaže strukturu. Kada sam pokušao da opišem Rimske metode, imao sam konstantno na umu ove pionirske studije forme kao model..."<sup>294</sup>.

Aksonometrijski crteži Šoazija su takođe način pojednostavljenja, uprošćavanja crteža, svodeći arhitektonske prostore na svega nekoliko linija. Takvi crteži više ne predstavljaju fizičku realnost, već dijagram koji objašnjava međusobnu povezanost arhitektonskih elemenata i celine. Šoazi je smatrao da posmatrač treba da ima stalno simultano pred očima plan, eksterijer, presek i unutrašnju dispoziciju. Oni su takođe stvorili novi odnos prema tlu. Za razliku od tadašnjeg konvencionalnog pristupa koju je primenio i Robert Vilis, aksonometrijski crtež prikazivao je objekat gledan odozgo. Šoazijeve aksonometrije su mahom crtane od dole, istovremeno prikazujući plan, odnosno strukturu objekta. Na taj način objekti su potpuno odvojeni od tla. Za perspektivni način prikazivanje konstrukcija poda bila je ključan momenat<sup>295</sup>, obezbeđujući težište za objekte i skulpture, za njihove senke, ali i za samog



Slika 144

Crtež svodova kapele u Vestminsteru Roberta Vilisa iz 1842. godine objavljene u studiji "O konstrukciji srednjevekovnih svodova". Vilisov izometrijski crtež imao je ogroman uticaj na August Šoazija.

<sup>292</sup> (Bryon, 2009, str. 33-34)

<sup>293</sup> (Mandoul, 2008, str. 153)

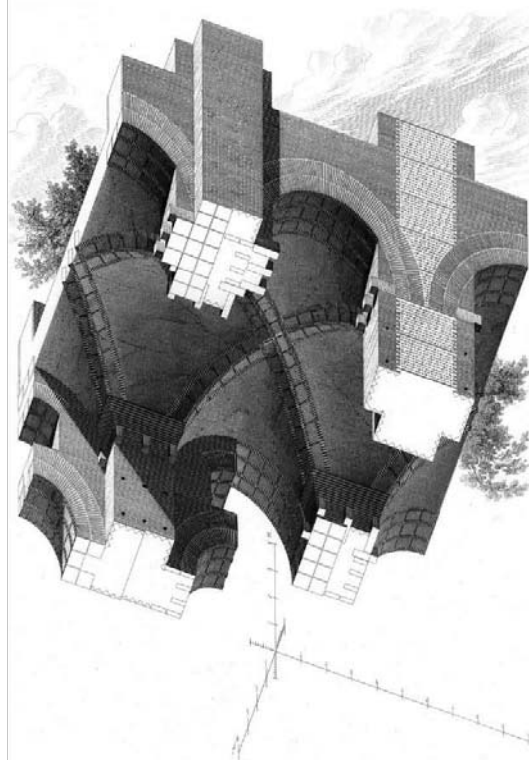
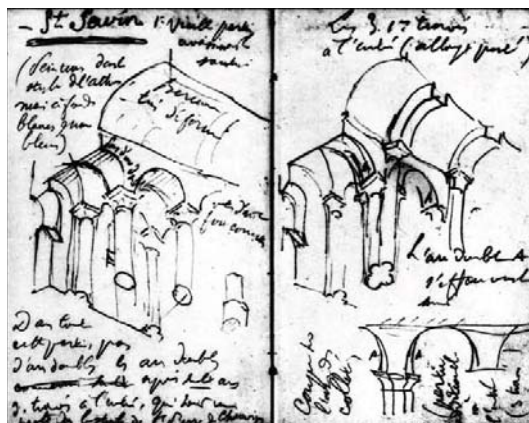
<sup>294</sup> Iz Šoazijevog odgovora Aston Webbu (Aston Webb) prilikom dodele zlatne kraljevske medalje. (Webb, 1904, str. 211-218)

<sup>295</sup> Prema Albertijevom navodu u raspravi *De pictura*, važan momenat u postavljanju perspektivne scene je konstrukcija popločanja poda.

posmatrača<sup>296</sup>. Za razliku od takvog perspektivnog pristupa, Šoazijski dijagrami, se ne oslanjaju na tlo.

Crteži Šoazija postali su autentičan izvor znanja, po kojima su njegove knjige postale značajne (slika 145). U svojoj prvoj knjizi *L'Art de bâtir chez les Romains* (1873) Šoazi prikazuje 27. ilustracija u aksonometrijskom prikazu. Albert de Rohas (Albert de Rochas) pišući članak 1884. godine o Šoazijskoj drugoj knjizi *L'Art de bâtir chez les Byzantins* piše kako su: *dani kada su arhitekti crtali samo osnove, preseke i izgled prošli: Violle-le-Duc (Viollet-le-Duc) je počeo koristiti izometrijsku perspektivu kao uobičajen metod arhitektonske reprezentacije, a Šoazi je ovom metodu dao jedinstveni lični karakter*<sup>297</sup>. Nemačka i Engleska doživjele su Šoazijske ilustracije na sličan način krajem XIX i početkom XX veka. Aston Webb, mu uručuje 1904. godine Britansku kraljevsku zlatnu medalju RIBA udruženja nazivajući takav metod reprezentacije neuporedivim<sup>298</sup>. Ovaj metod reprezentacije se prvo učio u inženjerskim, tehničkim školama kraja XIX veka, zbog svojih pragmatičnih karakteristika. August Šoazi bio je prvi arhitekta koji je ovu tehniku reprezentacije intenzivno upotrebljavao. U tom smislu naročito je značajna primena planometrijskog prikazivanja, koja će biti široko prihvaćena među arhitektama moderne.

Uporedo sa inženjerskim pristupom tehnikama crtanja, u kojima se mogu dobiti informacije o pravoj veličini u strukturi objekta, arhitektonski crtež je nastavio da se razvija kroz perspektivni način prikazivanja, razvijajući se u pravcu samostalne umetničke forme. Interes za perspektivni način prikazivanja u arhitekturi počinje da slabi tokom XIX veka, uprkos brojnim publikacijama koje su nastale u tom periodu i značaju koji je kurs perspektive imao u okviru nastavnog procesa u jednoj od najuticajnijih akademskih institucija XIX veka, francuskoj Akademiji lepih umetnosti. U periodu od



Slika 145

Crteži August Šoazija. Šoazi se koristio aksonometrijom i za skiciranje i za finalan prikaz arhitektonskih studija.

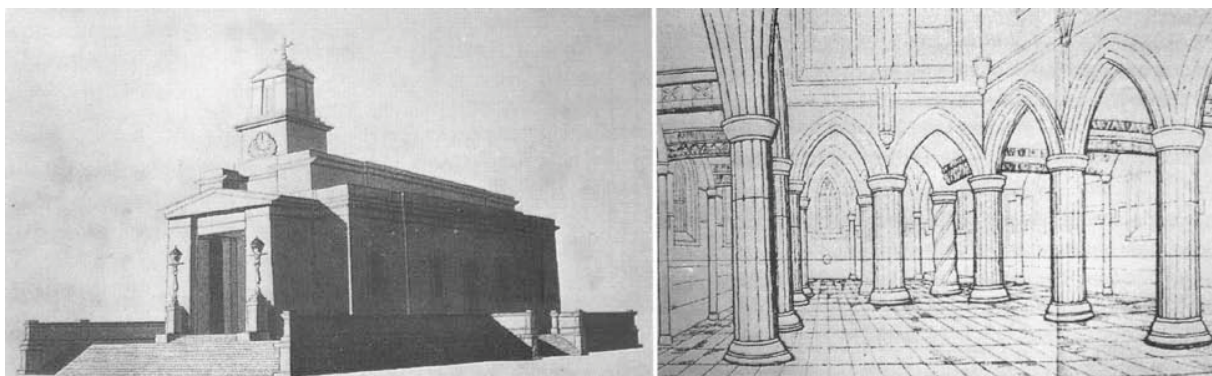
Gore: studijske skice iz 1885. godine crkave u Sant Stevinu i Poatjeu. Dole: panometrijski prikaz iz *L'art de bâtir chez les Romains* (1873).

<sup>296</sup> (Mandoul, 2008, str. 159)

<sup>297</sup> Interpretiran slobodan prevod prema Albert de Rochas, RGATP, vol. XLI, 1884. 190-192. preuzeto iz: (Mandoul, 2008, str. 152)

<sup>298</sup> (Webb, 1904)

1820-1860 godine nastao je veliki broj publikacija o perspektivi, istovremeno razvijajući nove vrste prikaza nudeći preciznije odgovore na reprezentaciju fenomena vizije. Artur Persej (Arthur Parsey) u svom radu *The Science of Vision or Natural Perspective* (1840) objavljuje novi vid perspektivnog prikaza sa tri nedogleda (slika 146), a Vilijam Herdman (William Herdmann) u svojoj raspravi *Curvilinear Perspective of Nature*, (1853), prikazuje sferičnu perspektivnu sliku (slika 146).



Kurs perspektive koji su do 1824. godine na francuskoj Akademiji lepih umetnosti pohađali samo slikari i skulptori, uveden je i za arhitekte<sup>299</sup>. Do 1826. godine arhitektama, slikarima u skulptorima držao je isti profesor, Žan Tomas Tibol (Jean-Thomas Thibault) učenik Bulea. Tibol se zalagao za preciznu perspektivu zasnovanu na matematičkim principima, učeći studente kako perspektivna reprezentacija prostora ima tri osnovne prednosti: "ona pomaže publikovanju projekta, stvara klijentu realnu sliku objekta i pomaže arhitekti realno sagledavanje proporcija"<sup>300</sup>. Kursevi arhitektonske perspektive tokom prve polovine XIX veka reflektovali su dvojaki antagonistički stav: senzibilan slikarski crtež sa jedne strane, i rigidni inženjerski tehnički crtež sa druge. Kurs perspektive na Akademiji lepih umetnosti prvi put podučava arhitekta 1845.

Slika 146

Nove vrste perspektivnog načina prikazivanja nastale sredinom XIX veka.

Levo: Perspektiva sa tri nedogleda iz Persejeve knjige *Science of Vision or Natural Perspective* (1840). Desno: Sferična perspektiva iz Herdmanove knjige *Curvilinear Perspective of Nature*, (1853).

<sup>299</sup> Arhitekte su do tada znanje o perspektivi dobijali samo u okviru kursa matematike. Prema: (Thomine-Berrada, 2008, str. 142)

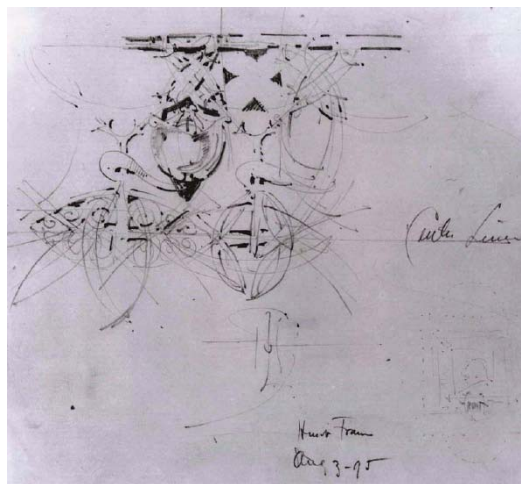
<sup>300</sup> Jean-Thomas Thibault, *Application de la perspective lineaire aux arts du dessin*, Pariz, 1827, posthumno objavljeno. Prema: (Bénézit & Jacques, 1999, str. vol. 12. str. 577)

godine. Konstan Dufo (Constant-Dufeux), prvi arhitekta- učitelj perspektive bio je i jedan od prvih pobornika eklekticizma. Krajem XIX veka na Akademiji lepih umetnosti se razvija veliki interes za nacrtnu geometriju kao metod reprezentacije. Konačan trijumf nacrtna geometrije na Akademiji lepih umetnosti na kraju XIX veka svedoče i crteži za *Prix de Rome*, u kojima su osnove izgledi fasada i preseki preovlađivali<sup>301</sup>. Takav razvitak logično okončava trijumf obrazovanja škole lepih umetnosti u favorizujući analize osnova naspram volumetrijskih analiza, kroz grandiozne perspektive.

Francuska Akademija lepih umetnosti bila je jedna od najuticajnijih škola arhitekture XIX veka, reflektujući se na arhitekturu van evropskog kontinenta. Neki od velikih arhitekata Amerike XIX veka kao što su Henri Hobson Ričardson (Henry Hobson Richardson), Ričard Moris Hant (Richard Morris Hunt) i Luis Salivan (Louis Sullivan) obrazovani su u okviru Francuske Akademije lepih umetnosti, što je imalo uticaja na upotrebu skica u inicijalnom razvoju projekta<sup>302</sup>(slika 147). Američke arhitekta radeći na više projekata istovremeno bi dalje faze projekta prosleđivali obučeni crtačima na dalju tehničku razradu. Skica kao izražajna forma i brzi način vizualizovanja ideje postaje važna tema u arhitekturi tek početkom XX veka.

Značaj francuske Akademije lepih umetnosti u kontekstu razvoja crteža bio je dvojak. Obrazovanje u okviru akademije imalo je uticaja na širenje ideje koncepta brze razrade arhitektonskih projekata kroz crteže u formi skica. Istovremeno, u školi je razvijan osećaj za likovni aspekt reflektujući stav da je arhitektonski crtež samostalna likovna forma.

Početak XX veka obeležile su dve značajne promene u izradi arhitektonskih crteža<sup>303</sup>. Skice dobijaju mnogo veći značaj i intenzivniju primenu, reflektujući lični karakter i izraz u istraživačkom postupku. Sa druge



Slika 147

Skica Luisa Salivana. Studija za ornamentike za memorijalni spomenik iz 1895. godine. Skice su bile sastavni deo u radu Luisa Salivana, koji je ostavio preko sto sačuvanih studija floralnih i geometrijskih ornamenta. Iako nezadovoljan programom Akademije lepih umetnosti, Salivan je prihvatio ideju o intenzivnoj primeni skica tokom razvoja projekta.

<sup>301</sup> (Thomine-Berrada, 2008, str. 139)

<sup>302</sup> (Schank Smith, 2005, str. 97-109)

<sup>303</sup> (Evans, 2000, str. 337)



strane, aksonometrijski crteži se počinju intenzivnije upotrebljavati u arhitekturi. Dve nove tendencije u istraživačkom postupku su dijametralno suprotni u odnosu na izražajni karakter. Sa jedne strane skice imaju neodređen, često amorfan i neprecizan karakter, dok su aksonometrije precizne, jasne i nedvosmislene. Uticaji tehnika geometrijske reprezentacije na razvitak moderne arhitekture XX može se pratiti upravo kroz primenu skica i aksonometrijskog načina prikazivanja.

Termin skica odnosi se na posebnu tehniku crtanja, čija je osnovna funkcija da se u kratim potezima i veoma brzo grafički prikažu informacije neophodne za dalju razradu određenog dizajna. Pojam skice se može definisati kao *brzo izrađen crtež; nacrt, osnova, glavni potez nečeg*<sup>304</sup>. Linije na skici nastaju pokretima ruke, koja na taj način ispoljava individualnost i značenje same skice. Prema Verneu Ešlinu (Werner Oechslin) *skica je idealno prilagođena za hvatanje trenutnih ideja*<sup>305</sup>. Iako su skice u arhitekturi korištene i mnogo ranije, početkom XX veka one dobijaju poseban značaj. Arhitekta XX veka koristili su se mnogo više crtežima i skicama nego njihovi prethodnici iako je geometrija objekata bila mnogo jednostavnija - ogoljena od istoricističkih i eklektičkih ornamenata i detalja. Ovakav fenomen može se objasniti činjenicom da je posao arhitekta postao više specijalizovan, odvajajući ga od terena i gradilišta. Takva situacija je dovela do razvitka crteža kao sistema komunikacije koji je obezbeđivao da drugo lice pomoću njega može nadzirati i izvoditi izgradnju objekta. Značaj crteža kao načina komunikacije i likovnog izraza najbolje oslikava konstatacija Henri Fan de Feldea (Henry Van de Velde) 1902. godine: "Linija sadrži snagu i energiju onoga što ju je povuklo"<sup>306</sup>. Skica postaje sredstvo za beleženje misli i impresija ali i kao alat za transformaciju i generisanje novih ideja. Arhitekta XX veka su skicama iskazivali

---

<sup>304</sup> (Vujaklija, 1991, str. 828)

<sup>305</sup> (Oechslin, 1982, str. 99-100)

<sup>306</sup> (Frampton, 2002, str. 98)

emotivne ili likovne koncepte, beležili važne reference i ideje za kasniju upotrebu.

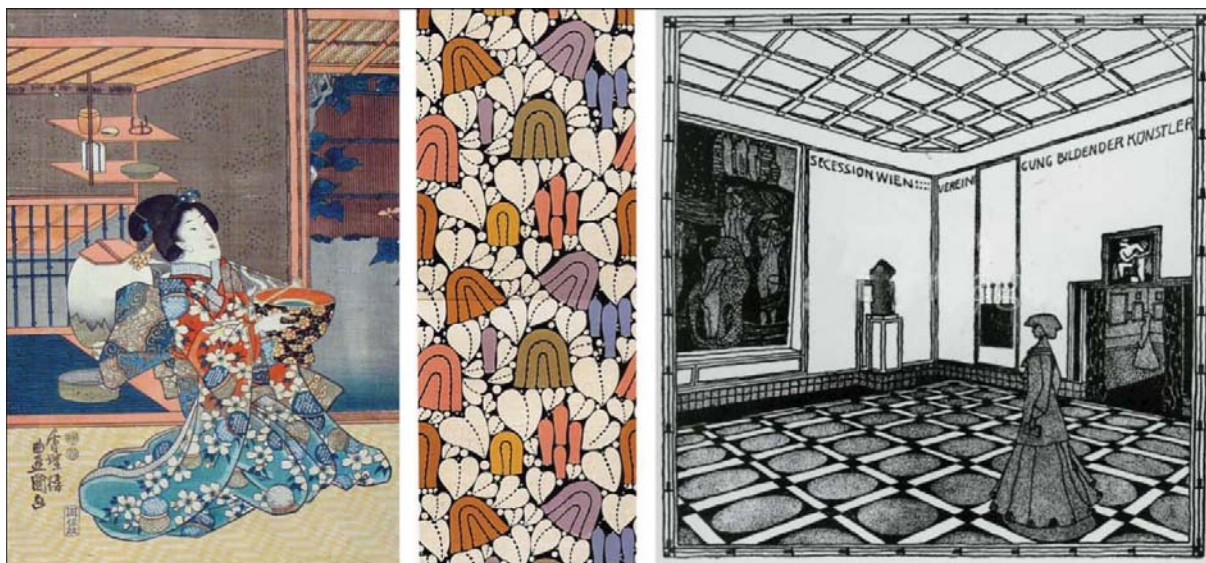
Početak XX veka postojalo je nekoliko različitih pravaca u arhitekturi. Raznolikost pristupa u izradi skica i arhitektonskih crteža mogu se posmatrati u kontekstu uticaja umetničkih pravaca i ideoloških ubeđenja. Karakteristike i specifičnosti u izradi skica moguće je analizirati u odnosu na različite avangardne pokrete sa početka XX veka kao što su Art-Nuvo, ekspresionizam, futurizam, konstruktivizam, ali i u odnosu na lični individualni arhitektonski pristup. Intenzivna primena skica i raznovrsnost u načinu i tehnikama primene obeležilo je proces arhitektonskog stvaralaštva tokom čitavog XX veka.

Grafički jezik Art-Nuvo (Art-nouveau) stila na prelazu iz XIX u XX vek razvio se pod uticajem japanske umetnosti Meiji ere koja je uticala na evropske avangardne krugove kraja XIX veka. Umetnička dela štampana na drvenim panelima *ukiyo-e*, bili su važan izvor za stvaranje likovnih motiva Art-Nuvo stila. Površinski elementi, i upotreba boja na japanskim *ukiyo-e* panelima mogu se prepoznati i u grafičkom jeziku umetnika i arhitekata Art-Nuvoa. Ti uticaji se mogu primetiti u grafičkom jeziku na crtežima arhitekata Jozefa Hofmana (Joseph Hoffmann) i Henri fan de Feldea<sup>307</sup> (slika 148).

Slika 148

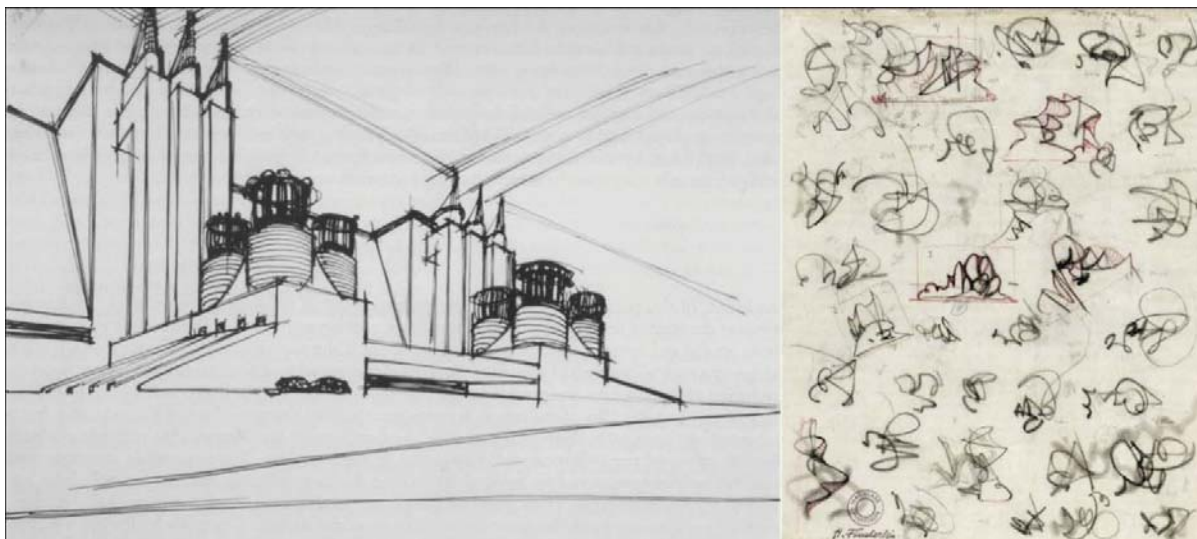
Uticaj japanske umetnosti na grafički jezik Art Nuvoa.

Levo: *ukiyo-e* panel iz Meidži ere, XIX vek. Sredina: Dizajn tapeta Jozefa Hofmana iz 1913. Desno: Skica Jozef Hofmana iz 1904.



<sup>307</sup> (Schank Smith, 2005, p. 113; Stock-Allen, 1999)

Ideološke premise italijanskog futurizma reflektovale su se i na crtež kao izražajno sredstvo. Kompozicije futurističkih gradova, elektrana, komunikacionih sistema, vrlo često su prikazane bez mnogo detalja, naglašavajući na taj način primarne geometrijske forme od kojih je kompozicija sačinjena<sup>308</sup>. Antonio Sant'Elia, pripadnik futurizma koristio se dramatičnim perspektivnim pogledima, sa širokim uglom posmatranja<sup>309</sup>. Vrlo često je koristio perspektivu sa dve tačke nedogleda, koje su relativno blizu jedna drugoj, stvarajući na taj način dramatični efekt kompozicije sa oštrim uglovima<sup>310</sup>(slika 149).



Ekspressionizam u Nemačkoj pokrenuo je istraživanje slobodnih, skulpturalnih formi u arhitekturi. Mnoge ekspresionističke ideje ostale su ne realizovane zbog kompleksnih zahteva u pogledu izrade slobodnih geometrijskih formi. Skice Herman Finsterlina (Hermann Finsterlin) pokazuju ekspresionistički stav i opsesiju za slobodnim biomorfnima apstraktnim formama (slika 149). Sličan pristup može se uočiti i u radu Fridrih

Slika 149

Raznolikost pristupa u izradi arhitektonskih skica početkom XX veka.

Levo: Perspektivna studija elektrane Antonio Sant'Elie iz 1913. godine. Desno: Istraživanje forme, list iz bloka za skiciranje Herman Finsterlina iz 1920.

<sup>308</sup> (Schank Smith, 2005, str. 145)

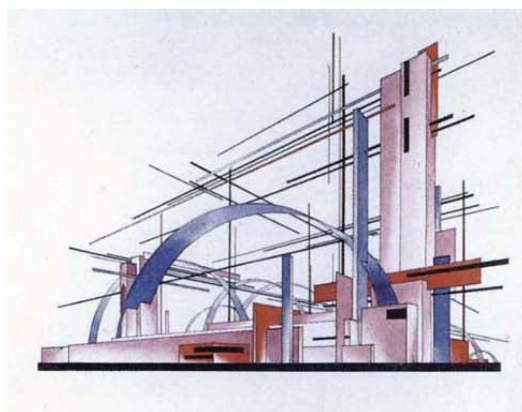
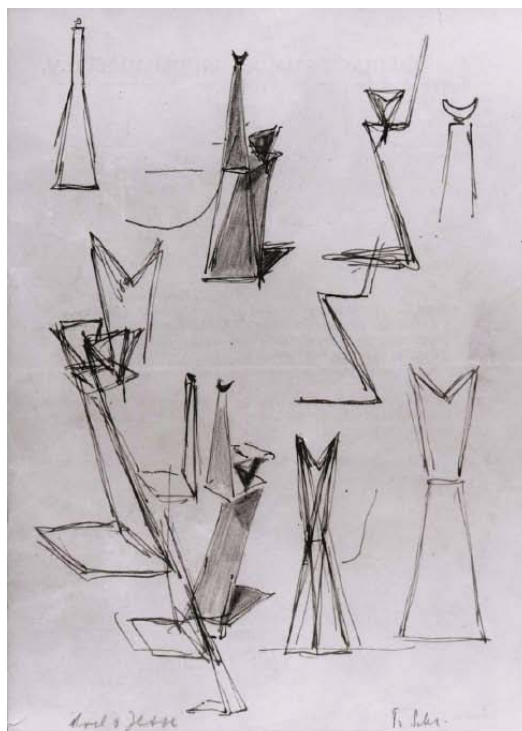
<sup>309</sup> Takvim pristupom se koristi i Zaha Hadid 90-tih godina u svojim 3D perspektivnim prikazima, stvarajući dramatičan efekt.

<sup>310</sup> Efektnost Sant'Elijinih crteža inspirisala je i producente filma „Čarlijeva fabrika čokolade“ za dizajn fantastične fabrike. (weblog magazina things, 2005)

Kislera sredinom XX veka, kao i sa Frenk Gerijom (Frank Gehry) krajem XX veka. Tek razvojem digitalnih tehnologija slobodne geometrijske apstrakcije su se mogle pretočiti u 3D model koji se dalje može prefabrikovati i izvesti.

Prostor-vremenska koncepcija koja je dominirala među arhitektama De Stajla imala je značajnog uticaja na proces razmišljanja kroz skicu. Sagledavanje objekta iz više različitih uglova u procesu dizajna može se uočiti na skicama Gerit Ritvelda (Gerrit Rietveld). Frontalni i perspektivni pogledi na skici „zigzag“ stolice to najbolje ilustruju (slika 150).

Arhitekta ruskog konstruktivizma razvile su sopstveni pristup grafičkom jeziku i reprezentaciji prostora kroz arhitektonske crteže, čiji je uticaj imao odraza na avangardne arhitektonske pokrete kraja XX veka. Potreba za razvojem i širenjem propagandnih informacija sredstvima vizuelne komunikacije nakon ruske revolucije (1917-1919) imala je velikog uticaja na grafičku umetnost. Elementaristička i konstruktivistička koncepcija pogodovala je takvoj političkoj atmosferi. Značaj ruske avangarde u pogledu razvoja grafičkog jezika i tehnika reprezentacije ogleda se u eksperimentalnim istraživanjima odnosa vizuelnih elemenata na percepciju. Nikolaj A. Ladovski 1921. godine zahteva da se u okviru VHUTEMAS-a osnuje institut za sistematsko proučavanje percepcije oblika, a projekti koju su rađeni pod njegovim nadzorom su obavezno sadržali neke ritmične elemente u skladu sa matematičkom progresijom. Nekoliko godina kasnije Jakov Černjihov u svojoj prvoj knjizi *Umetnost projektovanja* iskazuje principe vizuelnog oblikovanja, a svoje metode i dostignuća prvi put izlaže javnosti 1927. godine. U knjizi "Konstrukcije arhitektonskih i mašinskih formi" (1931) Černjihov napominje da se: "osnovna ideja konstruktivizma sastoji u tome što se objedinjuju predmeti ili tela izvesnim principima njihovog međusobnog kombinovanja između sebe tako da oni predstavljaju harmoničnu formu koja našem mozgu daje



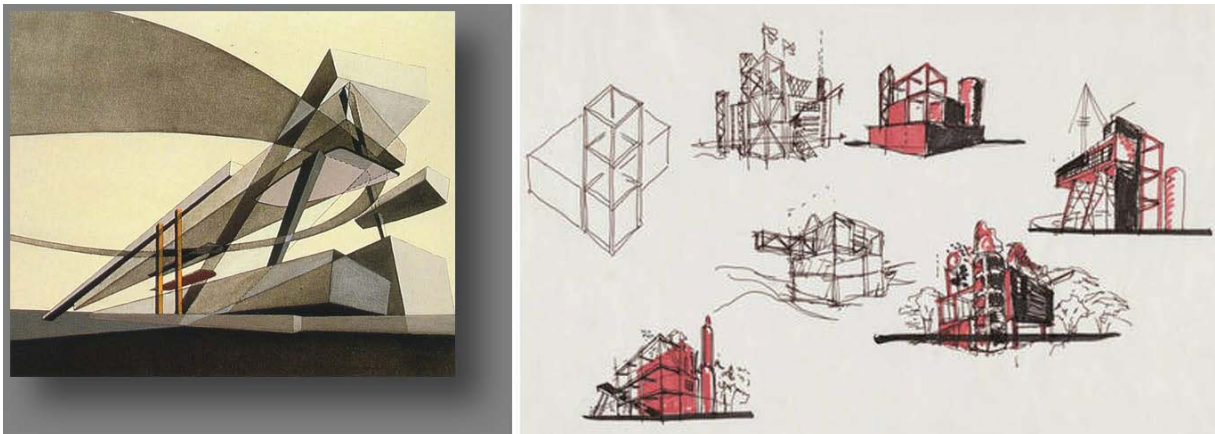
Slika 150

Raznolikost pristupa u izradi arhitektonskih skica početkom XX veka.

Gore: varijacija dizajna Cik-cak stolice Gerit Ritvelda iz 1950. godine. Dole: Konstruktivna fantazija "Muzej i radnički klub" Jakova Černjihova iz 1931. godine



savršeno precizan utisak"<sup>311</sup>. Prema Černjihovu, "Prožimanje, obuhvatanje, zalančavanje, nasađivanje, spajanje, dodavanje, obavijanje, zakrivljavanje" su neki od oblikovnih principa, oslobođeni graditeljske realnosti čiji je osnovni cilj istraživanje "geometrijskog i estetskog međuodnosa materijala i konstrukcija"<sup>312</sup> kroz crtež (slika 150). Konstruktivističko istraživanje odnosa percepcije i kompozicije geometrijskih oblika kroz crtež, imalo je velik uticaj na stvaranje jezika dekonstruktivizma 80-tih godina. Taj uticaj se naročito može prepoznati u crtežima za konkursni projekat Zahe Hadid za klub Pik (Peak Club) i Bernara Čumija (Bernard Tschumi) za Park la Vilet (Parc de *la Villette*) 1983. godine (slika 151).



Arhitektonski crteži i skice pionira arhitekata moderne reflektovali su individualističke pristupe koji su bili razvijeni pod sopstvenih teorijskim i ideološkim ubeđenjima. Ti crteži su ponekad bili toliko uticajni da su oni imali odraza na istraživački proces budućih generacija arhitekata. Stoga je važno posmatrati rad pojedinih arhitekata "heroja moderne" kroz odnos prema skici kao sredstvu izražavanja i vizualizacije ideja. Primeri upotrebe skica u radu Đuzepe Teranjija (Giuseppe Terragni), Valtera Gropijusa i Le Korbizjea mogu jasno potvrditi tezu o vezi između teorijski

Slika 151

Uticaj geometrije i estetike ruskog konstruktivizma na kompozicije i grafički jezik dekonstruktivizma 80-tih godina.

Levo: crtež Zahe Hadid za konkursni projekat Pik Kluba u Hong Kongu iz 1982-83. godine. Desno: crtež Bernara Čumija za Park la Vilet iz 1983. godine.

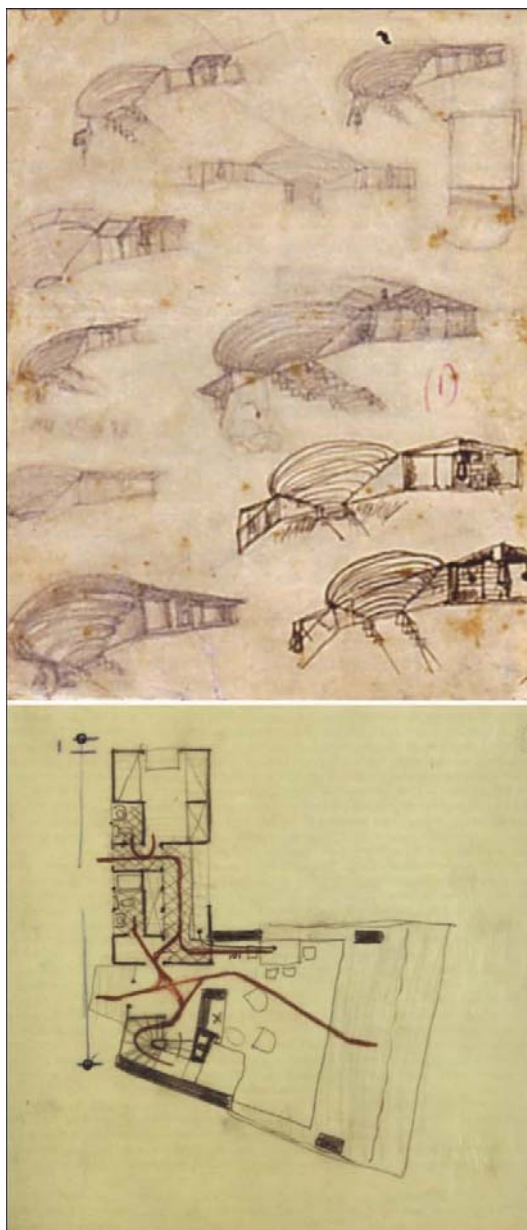
<sup>311</sup> (Chernikhov, 1931, str. 29)

<sup>312</sup> Ibid. str. 11.

pristupa, ideoloških ubeđenja i načina reprezentacije i imaginacije prostora kroz skiciranje.

Funkcionalistička doktrina moderne nametnula je primenu plana kao osnovnog generatora forme. Značaj plana u procesu projektovanja favorizovan je i u prethodnim epohama, ali kako Hičkok i Džonson primećuju "funkcionalisti su od organizacije osnove napravili poseban fetiš"<sup>313</sup>. Plan je pojedinim arhitektama moderne bio toliko bitan da "spoljašnji izgled objekta nije ni projektovan, već je samo razvijen kao neizbežni omotač zgrade"<sup>314</sup>. Značaj plana kao generatora forme je naročito istaknut u Le Korbizjevovim esejima objavljenim u časopisu *L'esprit nouveau*. Osim primene plana, arhitekte moderne razvili su i druge pristupe primene tehnika projiciranja u skladu sa sopstvenim teorijskim i ideološkim ubeđenjima.

Đuzepe Teranji, najuticajniji pripadnik italijanskog racionalističkog pokreta u arhitekturi između dva svetska rata bio je pod jakim uticajem Musolinijeve fašističke ideologije. U pojedinim crtežima za projekte kao što je Spomenik palim borcima na Erbi (Monumento ai Caduti) iz 1928. godine se češće koristi ptičijom perspektivom nego pogledom iz visine čoveka-posmatrača, što se može povezati sa njegovim teorijskim i ideološkim ubeđenjima (slika 152). U prilog ovakvoj tezi ide i nedostatak informacija o neposrednom kontekstu<sup>315</sup>. Sa druge strane, skice Valtera Gropiusa otkrivaju funkcionalistički pristup modernoj arhitekturi<sup>316</sup>. Skica za neizveden objekat rezidencije Lorant u Arlingtonu jasno ilustruje takav stav<sup>317</sup> (slika 152). Gropius se koristi planom kao metodom reprezentacije za inicijalni dizajn. Proveravajući efikasnost i funkcionalnost budućeg objekta, Gropius ucrtava putanje kretanja „prateći“ imaginarne procese stanovanja u kući.



Slika 152

Uticaj teorijskih i ideoloških ubeđenja na načina reprezentacije i imaginacije prostora kroz skiciranje.

Gore: Skica za spomenik palim borcima na Erbi iz 1928. godine Đuzepe Teranji. Dole: Skica za neizveden objekat rezidencije Lorant u Arlingtonu iz 1942. godine Valtera Gropiusa.

<sup>313</sup> (Johnson & Hitchcock, 1932. str. 45)

<sup>314</sup> Ibid.

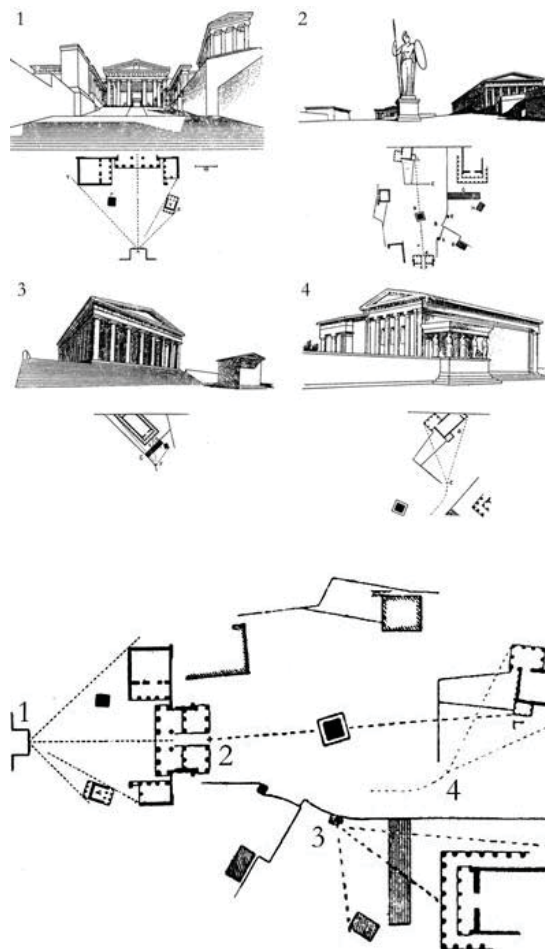
<sup>315</sup> (Schank Smith, 2005, str. 171)

<sup>316</sup> (Tzonis & Winfried, 1990)

<sup>317</sup> (Schank Smith, 2005, str. 183)

Primena skica u istraživačkom procesu Le Korbizjea je bila isto toliko kompleksna, raznovrsna i višeznačna kao i arhitektonska dela koja je stvarao. Pojedini crteži i skice Le Korbizjea postali su isto toliko značajni i uticajni na razvoj savremene arhitekture koliko i izvedeni objekti. Za Le Korbizjea skice su služile za memorisanje vizuelnih utisaka, ideja i informacija. Stoga se Le Korbizje stalno koristio skicama. Pažljivo istraživanje *Oeuvre complète* i Le Korbizjeovih skica od 1914 do 1964. godine otkriva kako se neprestano koristio perspektivnim slikama da vizuelizuje svoje ideje. Često su tu i planovi i elevacije šematski prikazani, ali nikad kao objektivni precizni crteži.

Crteži Šoazija su snažno uticali na Le Korbizjea. Taj uticaj se ne ogleda samo u primeni aksonometrije kao načina istraživanja anatomskog sklopa zgrade, već i na generisanje serije perspektivnih skica koje obrazuju vizuelne sekvence. U svojoj knjizi *Histoire de l'Architecture* (1899) Šoazi opisuje kompleks Akropolja kroz niz vizuelnih sekvenci koje se dobijaju kretanjem, povezujući plan i perspektivu. Šoazijev pristup „kadriranja” prostora (slika 153) preuzima i Le Korbizje koristeći je kao način za memorisanje vizuelnih utisaka i informacija. Način beleženja ideja kroz serije perspektivnih skica koje predstavljaju vizuelne sekvence naročito postaju uticajne nakon Le Korbizjeove knjige “Ka pravoj arhitekturi” u kojoj je takav pristup primenjen, opisujući prostornu kompoziciju Akropolja i ulogu plana u generisanju forme<sup>318</sup>. Šoazijev metod uticao je i na filmskog reditelja i arhitektu Sergej Ejzenštajna koristeći je za formulisanje teorije estetike filmske montaže<sup>319</sup>. Arhitektonski i urbani prostori shvaćeni su kao niz vizuelnih sekvenci koji se javljaju kretanjem kroz određeni prostor. Upotreba brzo crtanih perspektivnih skica, postao je uobičajeni način beleženja karakterističnih informacija o prostoru kroz vizuelne sekvence sagledavanja u seriji, koji nakon Šoazija, Le Korbizjea i Ejzenštajna počinju primenjivati



Slika 153

Ilustracije iz Šoazijeve *Histoire de l'Architecture* (1899) u kojima je opisan kompleks Akropolja kroz niz vizuelnih sekvenci koje se dobijaju kretanjem, povezujući plan i perspektivu. Šoazijevo kadriranje prostora imalo je uticaja na Le Korbizjea i Sergeja Ejzenštajna. U knjizi “Ka pravoj arhitekturi”, Le Korbizje je preuzeo i publikovao sekvencu br.2. sa slike.

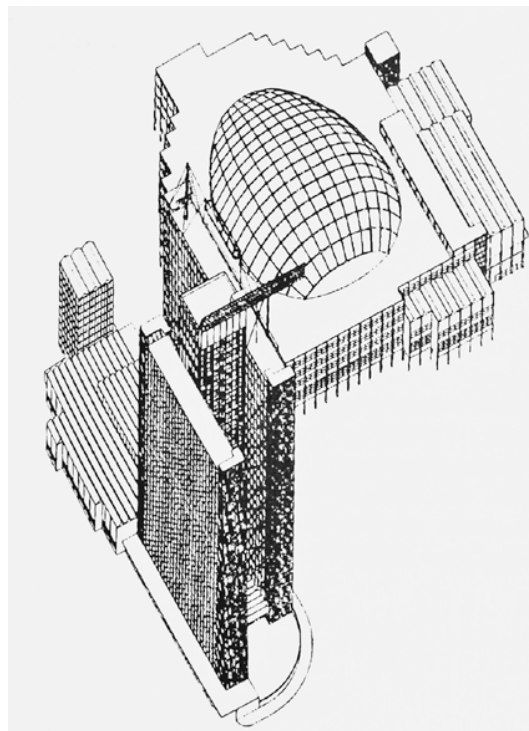
<sup>318</sup> (Corbusier Le, 1923, str. 146-158)

<sup>319</sup> (Eisenstein, 1989, str. 111-131)

mnoge arhitekta u drugoj polovini XX veka. U jednoj od najuticajnijih urbanističkih knjiga XX veka, "Gradski prostor" (1961) Gordona Kalena (Gordon Cullen), princip sagledavanja u seriji beležen kroz serije perspektivnih skica bio je osnovna ideja u knjizi, nudeći alternativu problemima koje je moderno urbanističko planiranje donelo.

Pored intenzivne i autentične izrade skica, primena aksonometrije u kontekstu arhitektonske reprezentacije obeležila je epohu moderne arhitekture XX veka. Za razliku od skica koje su ispoljavale jedinstvenost i individualnost pojedinih arhitekata ili umetničkih pravaca u arhitekturi, aksonometrija je prihvaćen kao konvencionalan jezik reprezentacije prostora koji su na identičan način primenjivali arhitekta moderne različitih ideoloških ubeđenja, teorijskih premisa i geografskih regiona. Aksonometrijski metod reprezentacije su podjednako upotrebljavali pripadnici ruskog konstruktivizma, holandskog De stajla, italijanskog racionalizma, francuskog purizma, ili nemačkog novog objektivizma. Primena aksonometrijskih crteža kao objektivnog načina prikazivanja anatomskog sklopa objekta bio je prihvaćen kao favorizovan način prikazivanja arhitektonskog objekata kod većine arhitekata moderne 20-tih godina XX veka (slika 154).

Postoji nekoliko razloga kojima se može objasniti ogroman značaj koji aksonometrijski način prikazivanja dobija među arhitektama moderne. Kao što je već objašnjeno aksonometrija, a posebno planometrija vezana je za modernu epistemologiju i prostorne koncepcije koje se javljaju početkom XX veka u arhitekturi. Pre svega, aksonometrijski prikazi pružali su jasan i nedvosmislen način prikazivanja strukture i oblika objekta, iz koga su se jednostavno mogle izvlačiti precizne mere o pojedinim elementima. Istovremeno, aksonometrija koja se koristila za prikazivanje složenih geometrijskih sklopova u različitim inženjerskim disciplinama, pogodovala je "mašinskoj estetici" i zadovoljavala je funkcionalističku paradigmu,



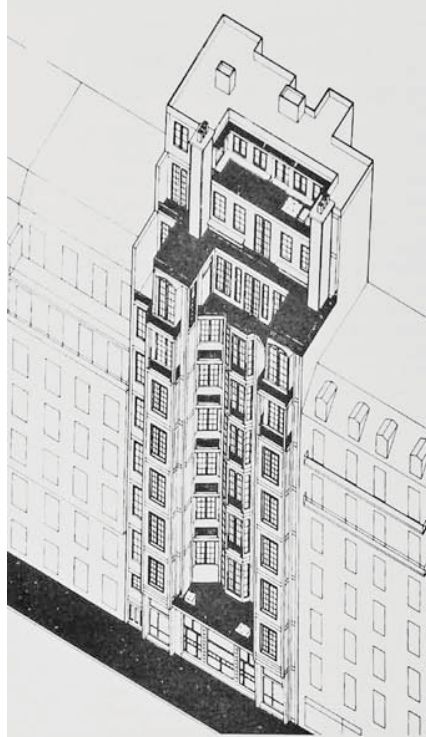
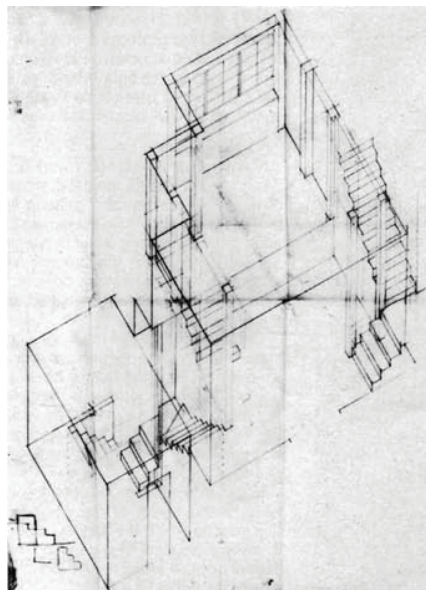
Slika 154

Aksonometrijski prikaz projekta za Palatu Lige naroda u Ženevi, Hansa Majera i Jakob Vitvera (Jakob Wittwer) iz 1926. godine. Mejer i Vitver, poput drugih pripadnika arhitektonske avangarde 20-tih godina prošlog veka, aksonometriju su koristili za prikazivanje složenih arhitektonskih kompozicija.



omogućavajući brzo i jednostavno generisanje trodimenzionalnog prikaza iz plana.

Šoazijevi crteži koji su prikazivali anatomske sklopove antičkih objekata, imali su ogroman uticaj da aksonometrija bude prihvaćena kao favorizovan metod reprezentacije u arhitekturi moderne. Aksonometrijski crteži su prvo prihvaćeni kao pragmatičan metod prikazivanja tradicionalnog načina građenja i anatomske strukture arhitektonskih sklopova među uticajnim arhitektama i istoričarima umetnosti kraja XIX veka kao što su Domenek i Montane<sup>320</sup> (*Domènèch i Montaner*) i Jozef Durm<sup>321</sup> (Joseph Durm). Početkom XX veka aksonometriju koristi Adolf Los, proveravajući složene prostorne sklopove raumplana, a Šoazijeva *Historie de l'architecture* je bila jedna od ključnih odrednica za Ogist Pereovu (Auguste Perret) primenu betonske konstrukcije sa gredama na stambenom objektu u Rue Franklin 1903. godine<sup>322</sup> (slika 155). Kako Frampton primećuje, Ogist Pere je kao i Šoazi smatrao *charpente*, tj. skelet bitnim izrazom građevinskog oblika<sup>323</sup>. Le Korbizje koji je na početku svoje karijere radio u ateljeu Ogist Perea, i sam prihvata premise Šoazijevog metoda reprezentacije. U svom najuticajnijem delu *Ka pravoj arhitekturi* (1923), Le Korbizje publikuje nekoliko Šoazijevih ilustracija iz knjige *Histoire de l'Architecture*, razmatrajući tezu o planu kao začetniku forme. Planometrija, vrsta aksonometrijskog prikaza u kome se uglovi u osnovi vide u pravoj veličini, postaje preferirani metod reprezentacije među arhitektama moderne, nudeći direktnu vezu između plana i trodimenzionalnog načina prikazivanja. Pomenuti aspekti, karakteristike i značenja koje je aksonometrijski prikaz nudio (mašinska estetika, generativna veza između plana i trodimenzionalne slike, sagledavanje bez predefinisane tačke posmatranja, interpretacija različitih prostornih koncepcija) uticali su da ona bude jednako prihvaćena



Slika 155

Primena aksonometrije početkom XX veka. Gore: crtež kuće Moller iz 1927 Adolf Losa. Aksonometrijom je prikazan složena kompozicija Raumplana. Dole: crtež Ogist Perove zgrade iz ulice Frenklin u Parizu, 1903. godina.

<sup>320</sup> (Girón Sierra & Gil Crespo, 2009)

<sup>321</sup> (Hassler & Pliego, 2009),

<sup>322</sup> (Frampton, 2002, str. 105)

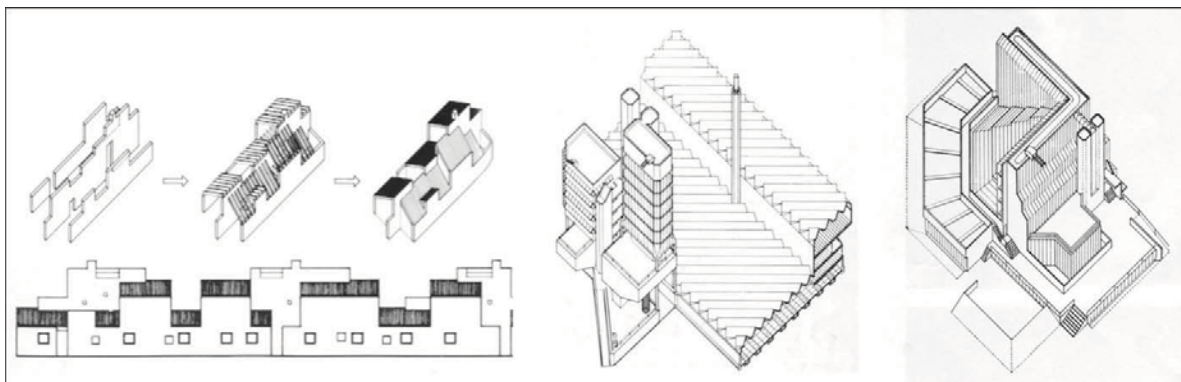
<sup>323</sup> *ibid.*

kao model reprezentacije među arhitektama moderne različitih teorijskih i ideoloških ubeđenja.

Aksonometrija je intenzivno korištena među arhitektama moderne 20-tih i početkom 30-tih godina XX veka, da bi interes za pomenutu tehniku reprezentacije bio obnovljen i redefinisano u drugoj polovini XX veka. Nakon drugog svetskog rata, generisanje arhitektonskog koncepta iz plana je dominiralo u procesu arhitektonskog mišljenja, da bi se ideje dalje razrađivale kroz preseke, izgled i perspektive<sup>324</sup>. Neki od značajnih teoretičara arhitekture tog doba, Kolin Rou (Colin Rowe) i Filip Džon, bili su izričito protiv „lebdećih“ prikaza, i dijagonala, aludirajući na aksonometrijski način prikazivanja<sup>325</sup>. Interes za primenu aksonometrije u procesu projektovanja obnovila je grupa britanskih arhitekata 50-tih godina XX veka, na čelu sa Džejms Stirlingom<sup>326</sup> (James Stirling. Crtež Džejms Stirlinga iz 1955. godine za projekat seoskog stanovanja u okviru CIAM-a, prikazuje analitički pristup primene aksonometrije.

Slika 156

Primena aksonometrije u procesu projektovanja u radu Džejms Stirlinga. Levo: Analitički pristup primeni aksonometrije za projekat seoskog stanovanja 1955. godine. Sredina: aksonometrija tehničkog fakulteta u Lesteru (1959) Desno: aksonometrija fakulteta istorije u Kembridžu (1964)



Aksonometrija je u narednim godinama i decenijama bila osnovni alat u radu Stirlinga, omogućavajući koordinirani proces projektovanja u tri dimenzije (slika 156). Geometrijski sklop zgrade tehničkog fakulteta u

<sup>324</sup> Takav pristup preovladavao je i kod Le Korbizjewa. Nakon 1942. godine skoro da i ne koristi trodimenzionalnu reprezentaciju prostora kod tehničkih crteža. Jedan od značajnih izuzetaka je enterijer kapele Ronšan. Karakter tog crteža govori da je njegova funkcija bila objašnjenje arhitektonske ideje, pre nego alat za generisanje ideje. Prema: (Gomez & Pelletier, 2000, str. 347)

<sup>325</sup> (Somol, 2007, str. 173)

<sup>326</sup> (Jencks, 1973, str. 280)

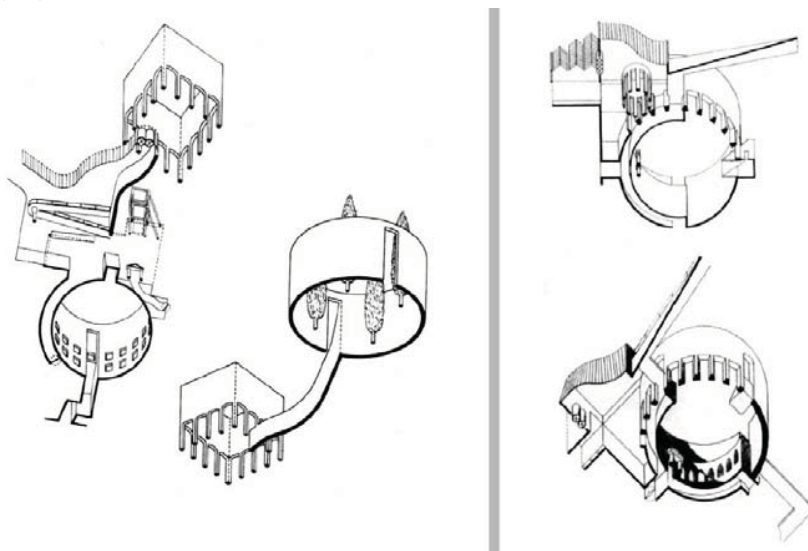
Lesteru (Leicester Engineering Building) iz 1963-4. godine Džejms Stirlinga i Džejms Govana (James Gowan) nastao je primenom aksonometrije kao alata i tehnike za generisanje arhitektonske forme<sup>327</sup>. Kako je Čarls Dženks primetio, bez tehnike aksonometrijskog crtanja, Stirling ne bi mogao izvesti zrele i složene prostorne konstrukcije kao što su Istorijski fakultet univerziteta u Kembridžu ili studentski dom univerziteta Sent Endru<sup>328</sup>.

Nakon dolaska Leon Kriera (Leon Krier) u Stirlingov arhitektonski biro 1968. godine, repertoar načina crtanja aksonometrijskih prikaza obogaćen je sa Šoazijevim pogledom odozdo<sup>329</sup>. Pomenuti izbor ugla projekcije je bi naročito važan u kasnijem Stirlingovom radu 70-tih godina kada radi konkursne projekte za muzeje u Nemačkoj (slika 157). U tim projektima, među kojima je i izvedeni objekat Galerije u Štutgartu. Unutrašnji prostori, i komunikacije su bili naročito važni u Stirlingovom radu, zbog čega je često koristio aksonometrijski prikaz odozdo, kojim se oni mogu najbolje prikazati. Izgledi fasada nastajali bi tek kasnije u projektu, nakon volumetrijskih analiza u aksonometriji<sup>330</sup>.

Slika 157

Aksonometrijski prikazi odozdo u Stirlingovim konkursnim projektima 70-tih.

Levo: kompozicioni elementi konkursnog projekta za muzej u Dizeldorfu. Desno: kompozicioni elementi konkursnog projekta galerije u Štutgartu



<sup>327</sup> Edvard Džons (Edward Jones), asistent u izradi crteža za zgradu u Lesteru, je tu tezu potvrdio sledećim komentaram u eseju *Jim and I*, objavljenom u časopisu *Architectural Review*: "Aksonometriju je Džim (Džejms Stirling) promovisao kao deo projektantskog procesa i, kako su ostali primetili, projekat zgrade poput Ličestera nikad nebi mogao biti zamišljen bez nje". (Jones, 1992, str. 68,69)

<sup>328</sup> (Jencks, 1973, str. 308)

<sup>329</sup> *Ibid.* str. 70.

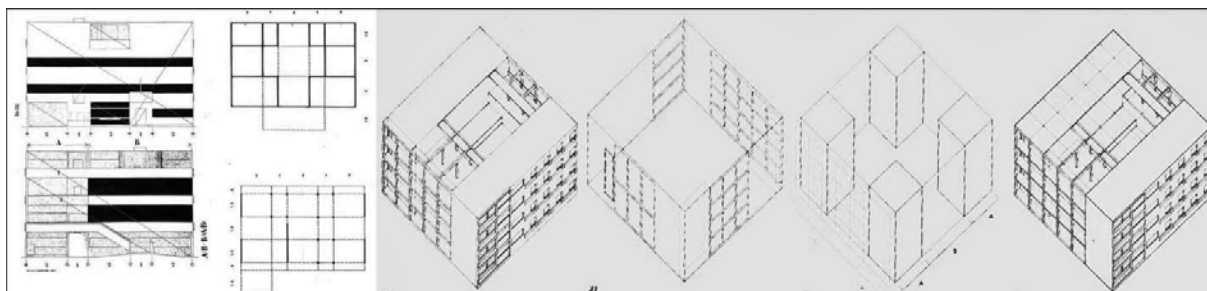
<sup>330</sup> (Goldshmidt & Klevitsky, 2004, str. 50-55)

Osim u radu Stirlingovog arhitektonskog biroa, tehnika aksonometrijskog načina prikazivanja je bila jedan od ključnih elemenata u procesu stvaralaštva Pitera Ajzenmana i Džona Hejduka (John Hejduk) tokom 60-tih i 70-tih godina XX veka. Ajzenman i Hejduk razvili su nezavisno sopstvene pristupe primeni aksonometrije stvarajući sopstveni arhitektonski i jezik reprezentacije. Ajzenmanov analitički pristup primeni aksonometrije razvijen je u pokušaju novog čitanja arhitekture Đuzepe Teranjija kojom se bavio u okviru svoje doktorske disertacije 1963. godine pod mentorstvom Kolin Roua (Colin Rowe). Oslanjajući se na metode koje je Kolin Rou primenio u uporednoj analizi Le Korbizjeove vile u Garšu i Paladijeve vile Malcontenta u svom čuvenom eseju *The Mathematics of the Ideal Villa* (1947) Ajzenman razvija sopstveni metod analize koristeći aksonometriju kao alat za kreiranje trodimenzionalnih analitičkih dijagrama<sup>331</sup> (slika 158).

Slika 158

Razvoj analitičkog pristupa primeni aksonometrije u radu Pitera Ajzenmana.

Levo: komparativna analiza Le Korbizjeove vile u Garšu i Paladijeve vile Malcontenta prema Kolin Rou. Desno: Ajzenmanova prostorna analiza kuće *Casa del Fascio* Đuzepe Teranjija.



Krajem 60-tih i tokom 70-tih godina Ajzenman pravi niz arhitektonskih istraživanja kroz projekte kuća I-XI koristeći se aksonometrijom kao alatom za izradu analitičkih dijagrama. Ajzenmanovi aksonometrijski dijagrami razvijeni su inkorporiranjem lingvističke teorije *Generativne gramatike* Noama Čomskog u volumetrijske analize projekata Đuzepe Teranjija kojima se bavio u svojoj disertaciji. Ta veza je naročito evidentna u projektu kuće VI (House VI, 1972), u kojoj je kroz niz aksonometrija realizovan transformativan proces generisanja forme (slika 159). Prema Ajzenmanu, "Kuća VI postoji istovremeno kao objekat i kao

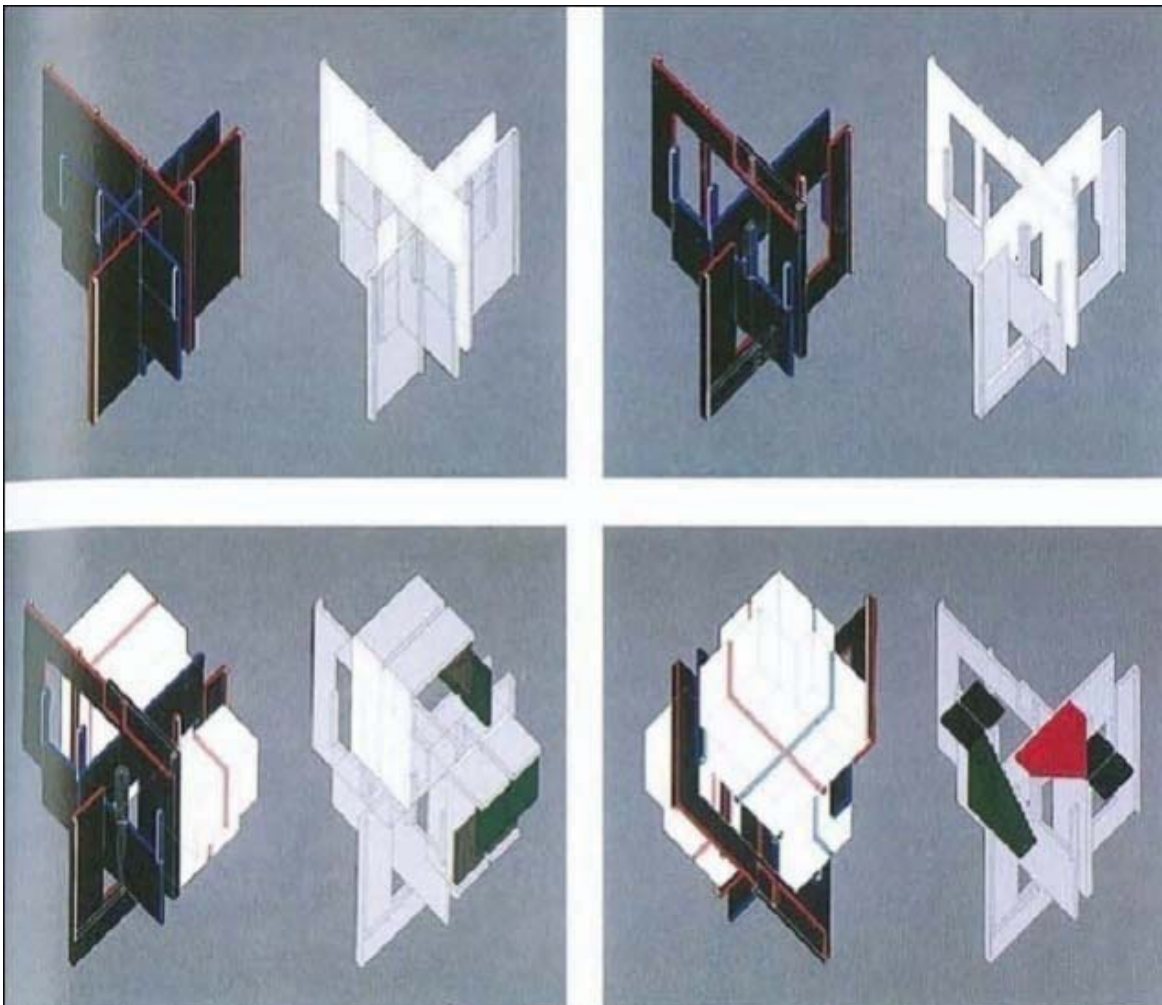
<sup>331</sup> Dok je Kolin Rou analize proporcija Le Korbizjeove vile u Garšu i Paladijeve vile Malcontenta radio nezavisno u planu i izgledima fasada, aksonometrijske analize Ajzenmana simultano su prikazivale plan, osnovu i preseke. (Somol, 2007, str. 173)



transformativni proces manifestovan u sekvencama. Stoga krajnji objekat nije samo krajnji rezultat svoje generativne istorije, već i sadrži istoriju, služeći kao njen kompletan zapis<sup>332</sup>. U takvom kontekstu, za Ajzenmana je aksonometrija samo analitički dijagram koji služi za zapis sekvenci transformativnog procesa. Projekat kuće VI bio je jedan od ključnih u Ajzenamovom radu, anticipirajući logiku dekompozicije i dekonstrukcije u sledećoj deceniji.

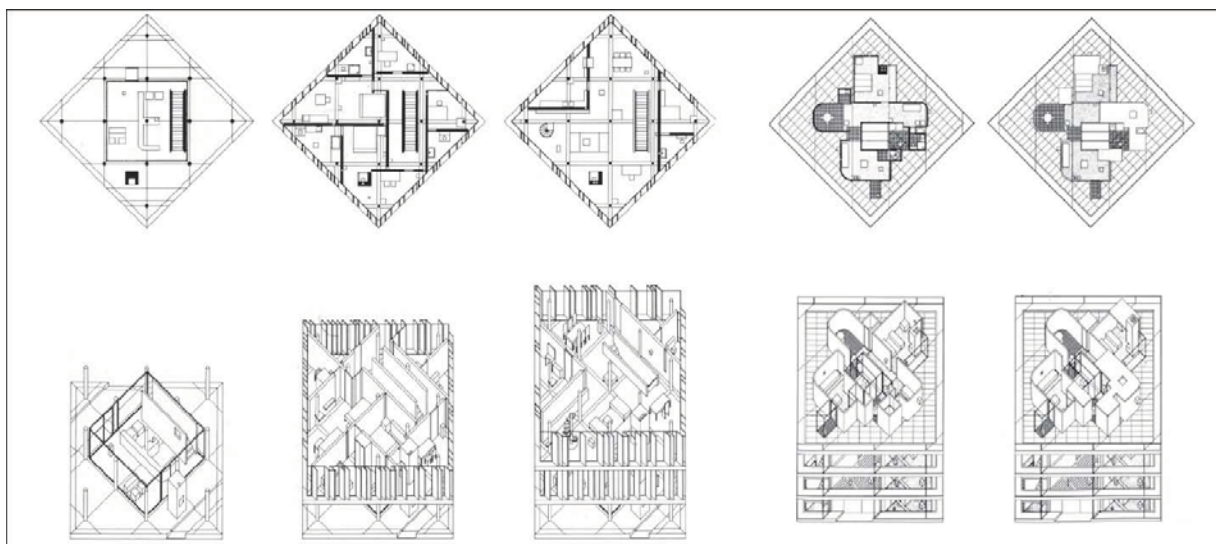
Slika 159

Neke od aksonometrijskih varijacija projekta kuće VI Pitera Ajzenmana u kojem je aksonometrija korištena kao analitički dijagram za zapisivanje sekvenci iz procesa transformacije i razvoja forme.



<sup>332</sup> (Eisenman, Houses of Cards, 1987, str. 178, 181)

Džon Hejduk, koji je zajedno sa Ajzenmanom pripadao grupi arhitekata *Njujorške petorke* (The New York Five) 70-tih godina XX veka, razvija sopstveni pristup organizacije, kompozicije i reprezentacije arhitektonske forme u kojoj je primena planometrijskog prikazivanja imala važnu ulogu. Hejduk se koristio planometrijom od početka svoje profesionalne arhitektonske i pedagoške prakse, koju je 50-tih godina postavio na sopstvenom na teorijskom konceptu, problemu devet kvadrata (nine square problem). Projekti sedam tekstaških kuća (1954-1963) bili su bazirani na pomenutom problemu, odnosno matrici od devet kvadrata u mreži 3x3, u kojima je planometrija služila za prikazivanje složene kombinacije arhitektonske kompozicije. Tokom 60-tih godina, Hejduk razvija niz projekata kuća (Diamond Houses) u kojima superponira raster od 45stepeni, u postojeću kvadratnu matricu (slika 160). Inkorporiranjem matrice pod uglom od 45stepeni u pravougani raster kuće, planometrijski prikazi kuća su izgubili iluziju volumena, i trodimenzionalna slika je svedena na ravansku, kolažiranu kompoziciju.



Reverzibilnost planometrijskog prikaza na dvodimenzionalnu ravan postaje Hejduku osnovni ključ u rešavanju kompozicija: "Dvodimenzionalnost plana,

Slika 160

Seriya projekata kuća *Diamond houses* Džon Hejduka tokom 60-tih godina.

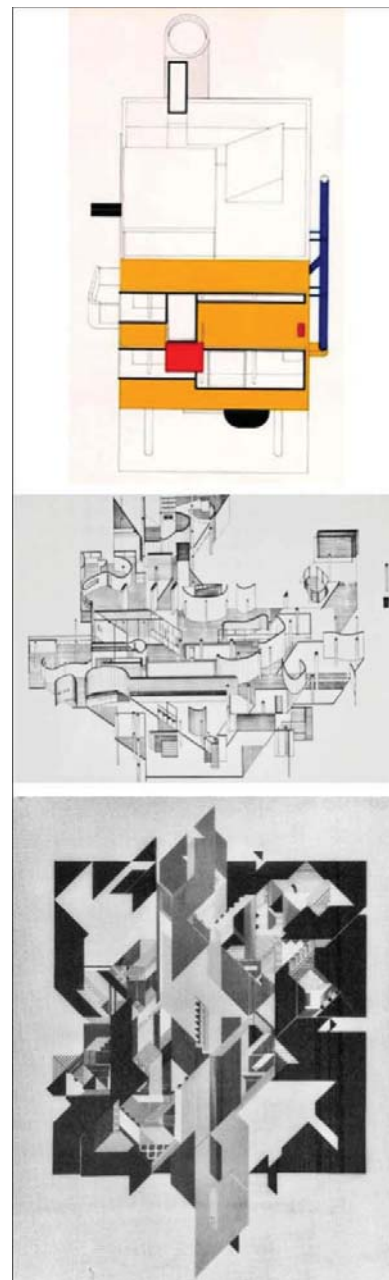
projektovana u trodimenzionalnu izometriju, i dalje se čini dvodimenzionalnim, blisko dvodimenzionalnoj apstrakciji plana ili možda bliže stvarnoj dvodimenzionalnosti arhitektonskog prostora<sup>333</sup>. Drugim rečima, Hejduk je verovao da transponovanje iz trodimenzionalnog prostora u dvodimenzionalni, jasno ilustruje probleme koji postoje u projektovanju, reprezentaciji i konceptualizaciji pravog arhitektonskog prostora<sup>334</sup>. Problemom reprezentacije prostora i reverzibilnošću aksonometrije Hejduk se bavi i u narednim projektima kao što je *Bernstein House* 1968. godine, gde se koristi frontalnom planometrijom. Takvu tendenciju istraživanja u pravcu „kolažiranja trodimenzionalnih prikaza“ dalje razvijaju Danijel Libeskind (Daniel Libeskind) u crtežu *Collage Rebus II* 1970. godine i Kacuhiro Muramoto (Katsuhiko Muramoto) u *Detached House, Separated Even* 1982. godine (slika 161).

Tokom 70-tih godina i 80-tih godina prošlog veka, aksonometrija postaje jedna od osnovnih tehnika reprezentacije postmodernizma i dekonstruktivizma u arhitekturi, čije su osnovne premise fragmentacija i dekompozicija. Kao što je u tekstu prikazano, aksonometrija je prepoznata kao tehnika pogodna za prikazivanje anatomske sklopa objekata, volumetrijske i kompozicione analize, analitičkih dijagrama i reverzibilnosti reprezentacije. Arhitekta druge polovine XX veka su u aksonometriji prepoznali važnu tehniku i alat koji je omogućavao preciznu analizu, istraživanje, dekompoziciju i reprezentaciju ideja simultano kroz sve projekcije i presek zbog čega je bio intenzivno korištena. Pojavom digitalnog medijuma reprezentacija krajem XX veka otvorio je nove mogućnosti u arhitekturi o čemu će kasnije biti više rečeno.

Jedinstveni način primene različitih tehnika projiciranja u procesu generisanja arhitektonske forme razvio je Preston Skot Koen (Preston Scott Cohen) u nizu

<sup>333</sup> (Hejduk, 1985, str. 48)

<sup>334</sup> Prema doktorskoj disertaciji: *Tracing the genesis of the inhabitable picture plane*, David Healy, Univerzitetski koledž Dablin, Dablin, 2009. str. 25.

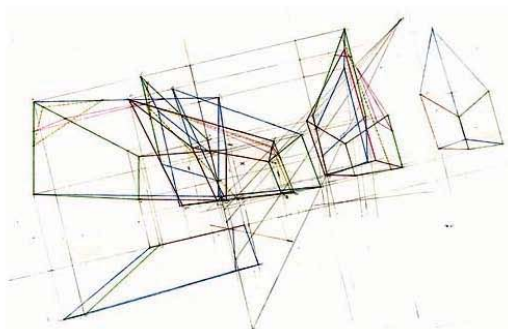
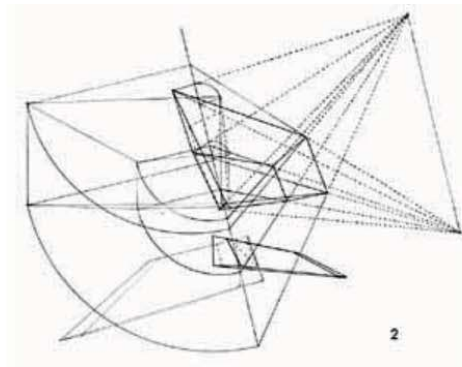


Slika 161

Reverzibilnost planometrijskog prikaza na dvodimenzionalnu ravan u arhitektonskim istraživanjima druge polovine XX veka.

Gore: Bernstein house Džon Hejduka iz 1968. godine. Sredina: *Collage Rebus II*, Danijela Libeskinda iz 1970. godine. Dole: *Detached House, Separated Even* Kacuhiro Muramotoa iz 1982. godine

projekata koje naziva *Stereotomične permutacije*. U pomenutim projektima različite tehnike projiciranja su kombinovane na poseban način u cilju prevazilaženja formalnih ograničenja. Koen kombinuje različite projektivne transformacije manipulišući istovremeno sa centralnim i paralelnim projiciranjem. Distorzije polaznih geometrijskih formi dobijene su projiciranjem trodimenzionalnih objekata na dvodimenzionalnu ravan, da bi slika dalje bila deformisana obaranjem ravni i restituisana u odnosu na drugi tip projekcije. U konkursnom projektu za obrazovnu ustanovu *Head Start Facilities* (1994), "inicijalna perspektiva šestostranog objekta usvojena je kao ortogonalna projekcija (izgled fasade) iz koje se dalje obaranjem ravni izvedene druge projekcije (plan i presek), da bi se proizvela treća dimenzija. Preliminarne varijacije sekundarne perspektive obrazovale su radnu šemu za deformaciju simetrije duž obližnje vertikalne ose"<sup>335</sup> (slika 162). Koenov instrumentalni pristup baziran je na projektivnoj geometriji u kojoj geometrijske karakteristike ostaju invarijantne nakon projektivnih transformacija. Uvođenjem homologije između perspektivne i aksonometrijske reprezentacije, Koenovi projekti utemeljili su jedinstveni instrumentalni pristup *projektivnom prostoru* u arhitekturi. Kako je Rafael Moneo uočio<sup>336</sup>, Koenov rad je pokazao da geometrija može biti izuzetno dragocen alat arhitektama u razvoju novih metoda arhitektonskih istraživanja nezavisno od toga da li se radi o digitalnom ili analognom medijumu reprezentacije.



Slika 162

Geneza forme i finalna maketa za obrazovnu ustanovu *Head Start Facilities* (1994), Preston Skot Koena.

<sup>335</sup> (Cohen, 2001, str. 111)

<sup>336</sup> *ibid.* str.



### 3.3. Odnos tehnika geometrijske reprezentacije u kontekstu integrisane primene sa maketama

Upotreba maketa u procesu arhitektonskog stvaralaštva prisutna je tokom čitave istorije arhitekture. Iako je razvoj geometrijske reprezentacije obeležio proces arhitektonskog stvaralaštva moderne epohe, maketa je zadržala svoju značajnu ulogu. Osnovna uloga makete bila je finalna prezentacija arhitektonskog objekta, ali je služila i kao sredstvo za istraživanje arhitektonske forme. Neke od maketa obeležile su razvoj savremene arhitekture, kao što su Maljevičevi arhitektoni (Malevich) ili Tatlinov (Tatlin) spomenik trećoj internacionali.

Među delima savremene arhitekture postoje ona čija je složena geometrijska forma nastala kao rezultat integrisane primene maketa i crteža. Neka od vrhunskih dela savremene arhitekture kao što su kapela Ronšan Le Korbizjea, TWA terminal Ero Sarinena (Eero Saarinen), ili Hans Šarunova (Hans Scharoun) Berlinska Filharmonija mogla su nastati i biti realizovana jedino primenom makete i crteža istovremeno. Arhitekturu složene geometrijske forme nije bilo moguće zamisliti isključivo na papiru, zbog čega su makete služile za razvoj ideja i razradu projekta. Sa druge strane, crteži su bili neophodni za realizaciju projekta.

Prvi arhitekta moderne epohe u čijem radu se može uočiti velika inventivnost u pogledu integrisane primene makete i crteža, kao metoda za arhitektonska istraživanja bio je katalonski arhitekta Antoni Gaudi. Gaudijevo arhitektonsko stvaralaštvo je po mnogima aspektima jedistveno i proizašlo je iz ličnih stavova o religiji, simbolizmu i estetici geometrijske forme<sup>337</sup>. Postoji nekoliko aspekata po kojima Gaudijev rad ima sličnosti i sa srednjevekovnim graditeljima i sa modernim arhitektama. Gaudijevi objekti poput Kasa Mile i Kasa Batlo predstavljaju veličanstvene primere

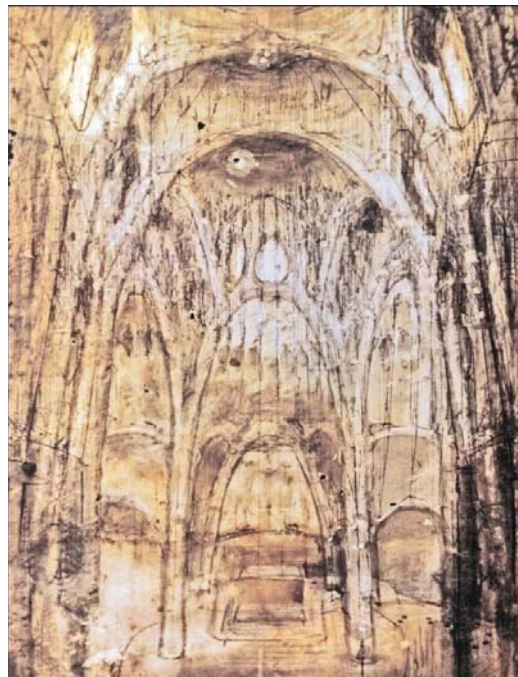
---

<sup>337</sup> (Šiđanin & Tepavčević, 2010, str. 21)

stereotomije, srednjevekovne veštine obeležavanja i sečenja kamenih blokova koji čine složenu geometrijsku celinu<sup>338</sup>. Poput srednjevekovnih graditelja, simbolizam geometrije je imao važnu konotaciju kojom se opisivala božanska savršenost. Za razliku od svojih prethodnika, ali i savremenika, razvojne površi, pravoizvodne površi imale su važnu ulogu u geometrijskoj konotaciji božijeg savršenstva<sup>339</sup>. Poput svojih savremenika Gaudi se intenzivno koristio skicama kojima se bavio arhitektonskom formom i ornamentacijom. Svestan problema reprezentacije koje su nametali kompleksni geometrijski zahtevi u istraživanju forme, Gaudi se počinje koristiti stereostatičkim modelima za istraživanje novih formi. U tom smislu Gaudi je koristio žičane modele koji su pod uticajem gravitacije i tereta sami generisali svoj oblik. Gaudijevi stereostatički modeli anticipirali su upotrebu maketa u istraživanju samoorganizujućih formi kojima se 70-tih godina intenzivno bavio nemački inženjer Frei Otto (Frei Otto).

Inventivnost u pogledu integrisane primene maketa i crteža najbolje oslikava projekat za nezavršenu crkvu Kolonia Guellj. Pomenuti projekat nastao je kao rezultat jedinstvenog procesa projektovanja koji je kombinovao fizičke modele konstrukcije, fotografiju i crtež. Žičanim modelima generisana je kompleksna geometrijska struktura, čiji bi oblik nastao pod uticajem zemljine teže i sila zatezanja u lancima. Dobijenu žičanu strukturu je zatim fotografisao, da bi je iskoristio kao pozadinu za iscrtavanje kompleksnog prostora enterijera<sup>340</sup> (slika 163).

Kombinovanje arhitektonskog modela i skice za generisanje složenih geometrijskih formi slično primenjuju i arhitekta Le Korbizje, Ero Sarinen (Eero Saarinen) i Hans Šarun (Hans Scharoun) 50-tih godina XX veka. Prva imaginacija projekta bi obično bila



Slika 163

Studija enterijera crkve *Colonia Guell* Antoni Gaudija . Crtež urađen tušom preko fotografije stereostatičkog modela.

<sup>338</sup> (Evans, 2000, str. 331-333)

<sup>339</sup> Hiperbolički paraboloid je imao naročito važnu ulogu u Gaudijevoj simboličkoj konotaciji i bio je vezan za simbol Svetog Trojstva. Stoga je Hiperbolički paraboloid jedna od površi koja se javlja na različitim elementima u oblikovanju na crkvi Sagrada Familia. Prema: *Hyperbolic Paraboloid*. (n.d.). preuzet januara 28, 2010, sa Temple Expiatori Sagrada Familia: [http://www.sagradafamilia.cat/sf-eng/docs\\_instit/pdf/geom\\_04.pdf](http://www.sagradafamilia.cat/sf-eng/docs_instit/pdf/geom_04.pdf)

<sup>340</sup> (Schank Smith, 2005, str. 121)

dvodimenzionalna slika, da bi zatim bio napravljen model za analizu prostornih međuodnosa, forme, konstrukcije. Nakon toga bi se informacije iz modela dalje koristile za razradu arhitektonskih crteža.

Kapela Ronšan predstavlja prekretnicu u stvaralaštvu Le Korbizjea ali i u razvoju savremene arhitekture. Pravolinijske ortogonalna forma i „mašinska estetika“ zamenjena je biomorfnim, krivolinijskim oblicima. Takvi motivi se u Le Korbizjeovom radu prvo javljaju na slikarskim kompozicijama krajem 20-tih godina XX veka, ali je kapela Ronšan prvi objekat u kojem je u potpunosti lišena ortogonalnog geometrijskog sistema.

U kompozicionom smislu kapela u Ronšanu ima sličnosti sa crkvom Alberta Sartoris (Alberto Sartoris)

u Lutjeu u Švajcarskoj 1932. godine. Le Corbusier je pouzdano znao za crkvu u Lutjeu

čije je fotografije Sartoris publikovao 1948. godine u svojoj *Encyclopedie de l'Architecture nouvelle*<sup>341</sup>. Sličnost između pomenutih objekata se može uočiti između jugoistočnog pogleda kapele u Ronšanu i jugozapadnog pogleda na crkvu u Lutjeu. U poređenju sa Sartorisovom crkvom, Ronšan izgleda kao da je preuzeo osnovni oblik koji je zatim potpuno transformisan u neortogonalnu zakrivljenu formu (slika 164).

Proces generisanja forme kapele u Ronšanu tekao je od skica preko modela to tehničkih crteža. Daniel Pauli (Danièle Pauly), autor jednog od najznačajnijeg istraživanja o kapeli u Ronšanu, veliku pažnju u istraživanju usmerio je upravo na skice kao važan deo istraživačkog procesa. Prve skice u velikoj meri podsećaju na objekat kakav je na kraju izgrađen, što pokazuje da su za Le Korbizjea skice bile jasna i precizna transkripcija mentalnih slika<sup>342</sup>. Nakon skica, sledilo bi



Slika 164

Kompozicione sličnosti crkve u Lutjeu Alberta Sartoris i kapele Ronšan Le Korbizjea.

Gore: Fotografija crkve u Lutjeu, publikovane u Sartorisovoj *Encyclopedie de l'Architecture nouvelle* 1948. godine. Dole: Fotografija Kapele Ronšan.

<sup>341</sup> U pomenutoj *Encyclopedie de l'Architecture nouvelle*, u kojoj su objavljene fotografije Sartoriseve crkve, Le Korbizje, čija su dela i sama prikazana u knjizi piše predgovor. Slikar i teoretičar arhitekture Robert Slucki (Robert Slutzky) je prvi uočio sličnost između Sartoriseve crkve i Le Korbizjeove kapele (Evans, 2000, str. 293, 397)

<sup>342</sup> Ibid. str. 282.

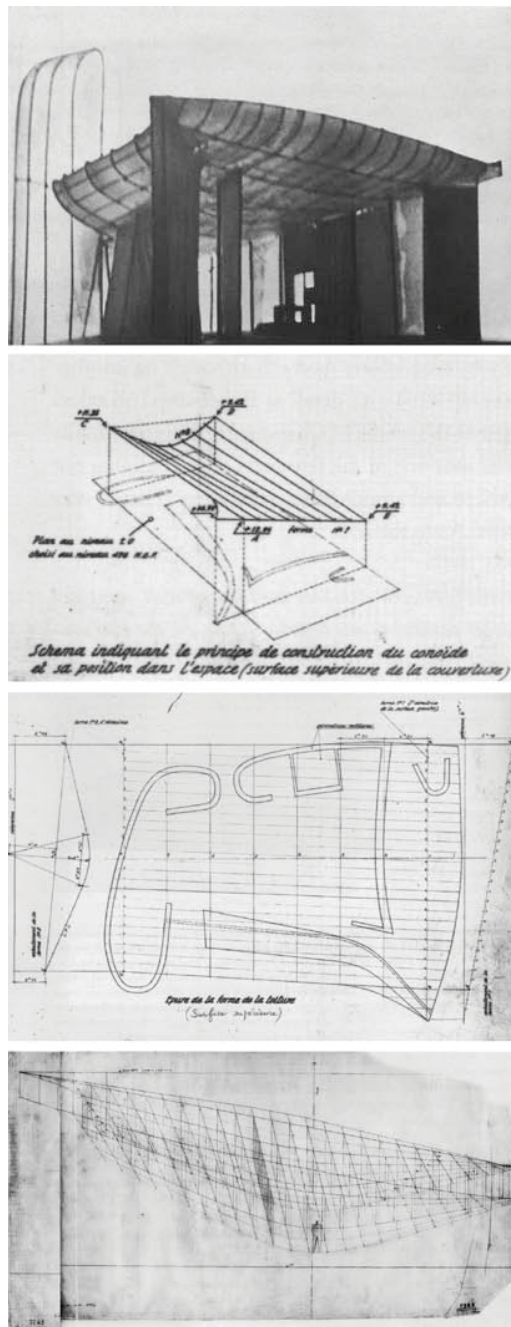
pravljenje gipsanih modela, a zatim i žičani model sa papirnom oblogom koji je služio kao pomoć za rešavanje tehničkih crteža i konstruktivnih elemenata (slika 165). Žičani model je bio od suštinske važnosti za Le Korbizjeov projekat kapele, jer je prikazivao vezu između crteža i konstrukcije. Žičani model definisao je konture preseka elemenata objekta sa nizom međusobno paralelnih vertikalnih ravni. Pomenuti metod preuzet iz brodogradnje i avioindustrije koristio se za definisanje kompleksnih geometrijskih oblika. U projektu Ronšana, mreža žičanog modela omogućila je da se složena geometrijska kompozicija kapele diskretizuje na skup pravoizvodnih površi.

Najkompleksniji element na kapeli bila je dvostruko zakrivljena krovna ljuska sačinjena je od dva obrnuta i paralelna konoida<sup>343</sup>. Južni zid takođe ima geometriju pravoizvodne površi čime je omogućeno da se izvedu tehnički i izvođački crteži, za ovu geometrijski kompleksnu građevinu. Istovremeno, pravoizvodne površi su zbog svojih geometrijskih karakteristika omogućavale relativno jednostavno postavljanje oplata. U geometrijskom smislu crkva u Ronšanu nije pružila inovativno rešenje. Geometrijska konstrukcija konoida bila je poznata Guarino Guariniju još u XVII veku, a pravoizvodne površi u arhitekturi moderne koristile su se od 20-tih godina XX veka<sup>344</sup>. One su bile poznate i avio inženjerima iz perioda pre II svetskog rata, kao i pojedinim umetnicima 30-tih godina XX veka koji ih koriste u izradi svojih umetničkih skulptura<sup>345</sup>.

<sup>343</sup> (Gasser & Gasser, 1955, str. 215)

<sup>344</sup> Prema Evansu, moguć uticaj na primenu pravoizvodnih površi potiče upravo od Gaudija, čiji je objekat parohijske škole ispred Sagrade Familije Le Korbizje video i skicirao 1928. godine. O Gaudijeovom radu Le Korbizje piše tek 1957. godine. Prema: (Evans, 2000, str. 331-334)

<sup>345</sup> Početkom 30-tih godina XX veka pojavljuju se prve umetničke skulpture koje koriste pravoizvodne površi. Skulpture Naum Gaboa (Naum Gabo), Antoan Pevsnera (Antoine Pevsner) i Men Reja (Man Ray) koriste matematičke modele kao inspiraciju za svoje skulpture. Saradnik Le Korbizjea, kompozitor i inženjer Janis Ksenakis (Iannis Xenakis) pronalazi još jednu originalnu primenu pravoizvodnih površi: hiperboličke paraboloidne koristi kao metod za opisivanje kompleksnih partitura svojih kompozicija.



Slika 165

Kombinovanje makete i crteža u procesu generisanja forme kapele Ronšan. Od gore prema dole: Žičani model obložen papirom. Crteži geometrijske konstrukcije krova konoidima u aksonometriji, planu i izgledu. Crteže izradio Le Korbizjevo pomoćnik Andre Mesonjea (Andre Maisonnier) 1951-1952. godine.



Geometrija kapele u Ronšanu je jedinstvena zbog načina na koji su tretirane i upotrebljene pravoizvodne površi, a koja je nastala kao rezultat procesa istraživanja forme od skice, preko grubih modela, do žičanih modela i crteža konstrukcije. Nakon crkve u Ronšanu Le Korbizje koristi geometriju rotacionih površi na nekoliko projekata od kojih su najznačajniji u projektima Čandigara (1956-1960) Filipsovom paviljonu koji radi zajedno sa Janisom Ksenakisom (1958) i crkvi u Firminiu (1960)<sup>346</sup>.

Nakon Korbizjeove kapele u Ronšanu, krajem 50-tih i tokom 60-tih godina pojavili su se brojni objekti čija je forma nastala kao rezultat primene arhitektonskih maketa u sprezi sa crtežima. Projekti Era Sarinena klizališta *David Ingals* (1953-1958) (slika 166) i Aerodroma *JFK* (1956-1962) (slika 167) ukazuju na novu logiku u procesu istraživanja arhitektonske forme razvijenu pod uticajima konstruktivnog inženjstva i integrisanoj primeni maketa i crteža. Inicijalna ideja projekta nastala bi u prvim skicama koje prikazuju karakteristične konture i profile objekta, da bi u daljem radu bili korišteni modeli.

Slika 166

Klizalište *David Ingals* Era Sarinena u procesu razrade forme i izveden objekat. Levo: perspektivna skica izrađena na osnovu modela. Desno: Fotografija izvedenog objekta gde se vidi da je ulazna partija izmenjena u odnosu na početnu varijantu koja se vidi na skici.

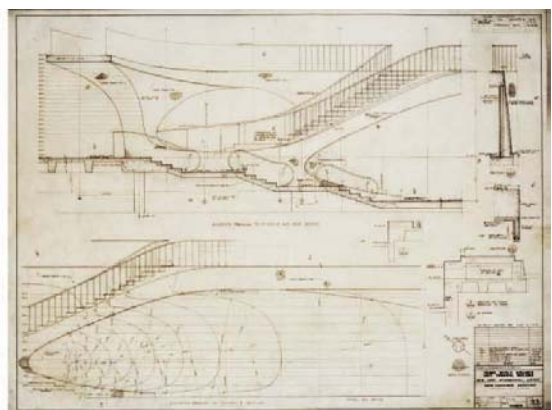


Kako Šank-Smit (Schank Smith) primećuje, "modeli su između ostalog korišteni za dalju razradu projekta kroz perspektivne studije"<sup>347</sup>, a projektantski crteži nastajali

<sup>346</sup> Pre crkve u Ronšanu, Le Korbizje koristi rotacione površi na sledećim objektima: Skica za sopstvenu kuću (1929), Francuski paviljon *Le Pavillon des Temps Nouveaux* (1937 – krovna konstrukcija), Marsejski blok (1947-49) - elementi krova i pilotisi.

<sup>347</sup> (Schank Smith, 2005, str. 179)

bi nakon detaljne izrade modela u velikim razmerama. Slično projektu Ronšan, konture arhitektonskih elemenata složene geometrijske forme na projektu aerodroma JFK u parovima geometrijskih projekcija, dobijene su nizom preseka međusobno paralelnih ravni. Sarinenov projekat aerodroma JFK je i jedan od prvih primera upotrebe softvera za analizu složenih konstrukcija betonskih ljuski. Oto Frei 70-tih godina pravi još složenije geometrijske forme primenom maketa i softverskih analiza statičkih proračuna, da bi tokom 90-tih godina Frenk Geri proširio sintezu analognih i digitalnih tehnologija, kombinujući makete, 3D modele, i skice. Inicijalne ideje nastale bi na papiru u obliku skica, da bi slobodna geometrijska forma dalje bila interpretirana u brzo izrađenim maketama. Pomoću 3D digitajzera ili 3D skenera, makete bi bile dalje transformisane u digitalni 3D model čija je dalja osnovna funkcija optimizacija geometrijske strukture<sup>348</sup>. Gerijeva skulptura ribe (1992) u Barseloni, izrađen u potpunosti na osnovu informacija iz optimizovanog 3D modela, bez primene izvođačkih i tehničkih crteža, najavio je početak digitalne epohe u arhitekturi i prekretnicu u razvoju arhitektonske reprezentacije prostora.



Slika 167

Proces razrade projekta terminala JFK Ero Sarinena. Čitav objekat je prvo razrađivan u maketama velike razmere(slika levo), a nakon finalnog rešenja sledio je niz crteža u ortogonalnim projekcijama, gde su informacije o geometriji preuzimane direktno iz modela. Desno: detalj stepeništa iz glavnog projekta aerodroma JFK.

<sup>348</sup> (Glymph, 2003, str. 103-120)

### 3.4. Uticaj digitalnog medijuma i alata geometrijske reprezentacije prostora na savremenu arhitekturu.

Digitalne tehnologije su u poslednje dve decenije imale velikog uticaja na razvoj savremene arhitekture. Promene nastale primenom računara u procesu projektovanja i gradnje smatraju se značajnim kao i otkriće perspektive za renesansnu umetnost ili primena čelika i betona na arhitekturu XIX i XX veka<sup>349</sup>. Pojedini arhitekti su već 60-tih godina prepoznali ogroman potencijal u primeni digitalnih tehnologija u arhitekturi. Međutim, tek 90-tih godina XX veka primena računara prvi put značajno menja arhitektonsku praksu, kada nastaju prve digitalno generisane forme, koje bi bilo veoma teško ili nemoguće nacrtati i izvesti tradicionalnim, analognim metodama. Razvitak CAD (computer-aided design) softvera, programa za crtanje pomoću računara, imao je direktnog uticaja na prelaz ka digitalnom medijumu reprezentacije prostora u arhitekturi. Primena CAD softvera omogućila je jednostavno čuvanje i manipulisanje dokumentacionim crtežima, odnosno fajlovima, kao i čuvanje projektne dokumentacije bez zauzimanja realnog fizičkog prostora i izvođenje naknadnih izmena u projektu<sup>350</sup>. Istovremeno radom sa elektronskim fajlovima povećana je produktivnost jer se standardne procedure crtanja koje se ponavljaju mogu automatizovati.

Prema Korenu i Vilijamu Šarplesu<sup>351</sup> (Coren & William Sharples: SHoP Architects), jedna od najznačajnijih karakteristika CAD-a je trodimenzionalna geometrijska reprezentacija objekta čime su konačno prevaziđeni problemi koje su analogne tehnike projiciranja imale u odnosu na digitalni medijum. Kroz istoriju savremene arhitekture, redukovanje informacija o telu u trodimenzionalnom prostoru na dvodimenzionalni analogni medijum-papir, nametnulo je logiku i konvencije čitanja prostora kroz parove ortogonalnih projekcija. Za posledicu, geometrijska forma je često nastajala „izvlačenjem“ treće dimenzije ortogonalno u odnosu na ravan u kojoj je razrađivana arhitektonska koncepcija. Primenom maketa i aksonometrijskog načina prikazivanja, razvijani su i drugačiji modeli generisanja arhitektonske forme, ali je proces izrade izvođačkih crteža i realizacije objekata složene geometrijske forme bio spor i mukotrpan proces.

Pionirska upotreba CAD sistema, kao i prvi primeri primene računara u arhitekturi datiraju iz 60-tih godina XX veka, te je stoga neophodno napraviti istorijski osvrt na razvoj digitalnih alata geometrijske reprezentacije do poslednje decenije XX veka.

---

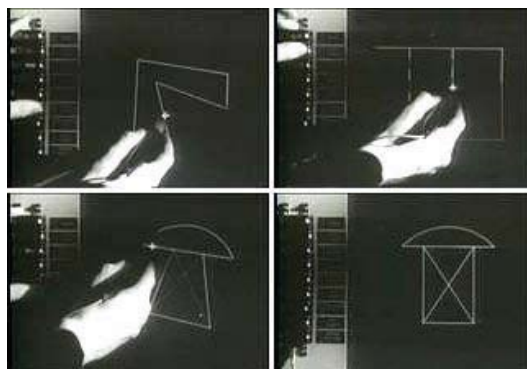
<sup>349</sup> (Hesselgren, 2006, str. 16)

<sup>350</sup> Razvoj interneta je omogućio i jednostavno slanje digitalne dokumentacije putem elektronske pošte ili preko web servera. Čak i danas postoje ogromni finansijski gubici kao rezultat konvencionalne upotrebe izvođačkih crteža štampanih na papiru, iako se fajlovi mogu jednostavno slati putem interneta i fabrikovati na osnovu informacija iz digitalnog modela. Prema Džonu Pitmanu, FedEx je početkom novog milenijuma imao godišnji profit od nekoliko stotina miliona dolara na isporukama izvođačkih crteža. (Pittman, 2003, str. 258)

<sup>351</sup> (Sharples & Sharples, 2006)

### 3.4.1. Istorijski osvrt na razvoj digitalnih alata geometrijske reprezentacije prostora do poslednje decenije XX veka

Rana primena računara kao alata za crtanje datira iz sredine XX veka, kada su se pojavili prvi softveri sa vektorskom grafikom. Početkom 60-tih godina Ivan Saterland (Ivan Sutherland) u okviru svoje doktorske disertacije na MIT-u razvija revolucionarni softver Skečped (Sketchpad) koji se danas smatra prethodnikom modernih CAD softverskih paketa. Pomenuti softver omogućavao je jednostavno dvodimenzionalno vektorsko crtanje grafičkom olovkom (slika 168). Prvi CAD sistemi su bile softverske aplikacije za dvodimenzionalno crtanje i sadržali su niz alata za crtanje jednostavnih elemenata kao što su prave linije, pravougaonici, kružni lukovi i krugovi. Razvitak automobilske industrije, avio industrije i brodogradnje imao je velikog uticaja na razvitak prvih CAD programa koji su korišćeni radi veće produktivnosti i preciznosti u odnosu na tradicionalne tehnike crtanja na papiru. Tehnološke inovacije u okviru industrijskih giganata kao što su *Ford*, *General Motors*, *Mercedes-Benz* ili *Lockheed*, bile su bazirane na primeni i razvoju sopstvnih CAD softverskih alata. Potrebe za crtanjem glatkih i aerodinamičnih krivih u avioindustriji i automobilskoj industriji dovele su do otkrića matematičkog algoritma, kojim se one mogu parametarski definisati. Matematičar koji je radio u Citroenu, Pol de Kasteljo (Paul de Casteljau), prvi je razvio pomenuti algoritam 1959. godine, ali je Pjer Bezieru (Pierre Bézier) iz Renoa bilo prvom dozvoljeno da takav metod za generisanje krivih javno publikuje tri godine kasnije, te se one po njemu danas zovu *Bezierove krive*<sup>352</sup>. Osnovni princip za definisanje glatkih krivih i površi u računarskoj grafici, zasnovan na Kasteljoovom algoritmu i Bezierovim krivama, se ni do danas nije suštinski izmenio, a dalji razvoj računarskih tehnologija i pojava komercijalnih softverskih paketa



Slika 168

Primena prvog CAD sistema: *Sketchpad* Ivana Saterlanda. Sketchpad je omogućavao jednostavno dvodimenzionalno vektorsko crtanje grafičkom olovkom.

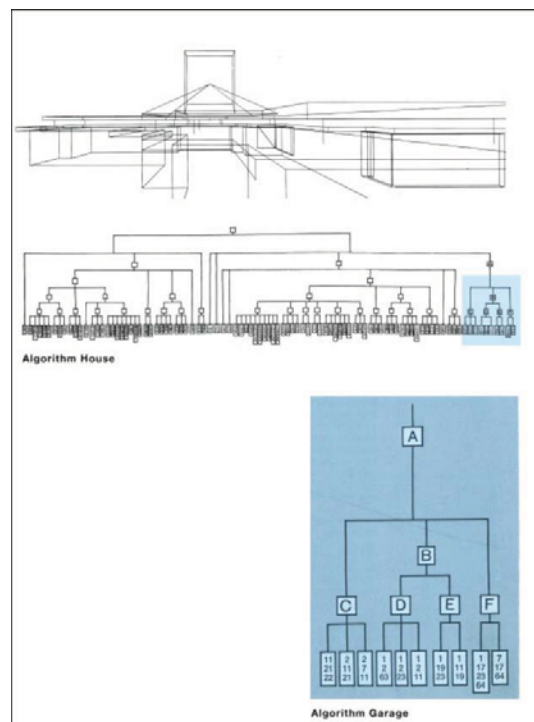
<sup>352</sup> (Pottman, Asperl, Hofer, & Axel, 2007, str. 259)



uticao je na ekspanziju slobodnih krivolinijskih formi u arhitekturi u poslednje dve decenije.

Prvi komercijalni program za modelovanje trodimenzionalnih geometrijskih oblika, Syntha Vision (Syntha Vision) pojavio se 1969. godine, ali ne kao alat za 3D crtanje (3D CAD) već za izvođenje prostornih analiza. Tokom 70-tih godina razvijaju se prvi komercijalni paketi za 3D modelovanje, koji giganti automobilske i avio industrije počinju koristiti zajedno sa svojim interno razvijanim softverima. Osnovni geometrijski algoritmi razvijeni su u ovoj dekadi, a prvi komercijalni paketi 3D CAD softvera koristili su se primarnim geometrijskim formama i Bulovim operacijama u modelovanju. Francuska avio industrijska kompanija *Dassault* razvija softver CATIA, 1977. godine, a koji je i danas vodeći u avio, automobilskoj industriji i brodogradnji. Iste godine Vilijam Mičel objavljuje jednu od prvih knjiga o primeni CAD-a u arhitekturi *Computer Aided Architectural Design*, na čijoj naslovnoj stranici se nalazio trodimenzionalni prikaz arhitektonskog objekta.

Tokom 60-tih i 70-tih godina nekolicina arhitekata je prepoznala potencijal koji digitalne tehnologije mogu imati u oblasti arhitekture. Alen Bernholc (Allen Bernholtz) i Edvard Birston (Edward Bierstone) 1967. godine koriste program Kristofer Aleksandera (Christopher Alexander) i Marvin Manhajmera HIDECS3 (Marvin L Manheimer) za dekomponovanje složenih projektantskih zadataka na manje celine, da bi zatim bili rekonponovani u optimalno invarijantno rešenje<sup>353</sup> (slika 169). Džon Frejzer radeći u matematičkoj laboratoriji Kembridža na projektu *Reptile* krajem 60-tih i tokom 70-tih prošlog veka, počinje istraživati mogućnosti primene genetskih algoritama u procesu arhitektonskog dizajna. Istovremeno računari se prvi put počinju koristiti u konstruktivnim proračunima betonskih ljski. Za potrebe realizacije projekta olimpijskog stadiona u Minhenu 1972. godine,



Slika 169

Rana primena računara u dekomponovanju projektantskog problema u arhitekturi. Algoritamska dekompozicija Alen Bernholc i Edvard Birstona iz 1967. godine. Hijerarhijsko dekomponovanja projektantskih zadataka softverom HIDECS3, na manje procedure, da bi se dalje ponovo rekonponovalo pravo rešenje. Markirani deo odnosi se na projektovanje garaže u kojem su 31. od 72 "nepodobna faktora" zadržala karakteristike i moraju biti eliminisani da bi se došlo do optimalnog rešenja. Prema knjizi: *Design and Planning 2: Computers in Design and Communication*, Martin Krampen and Peter Seitz (editori), Hastings House, (New York), 1967.

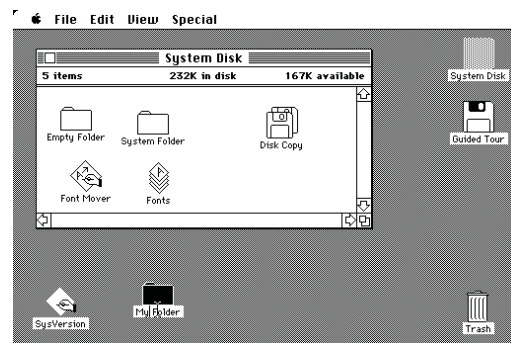
<sup>353</sup> (Rocker, 2006, str. 22-23)

napisan je poseban program za proračun i generisanje oblika membranskih konstrukcija, kao i za izradu radioničkih crteža u razmeri<sup>354</sup>. U istom periodu Nikolas Negroponte (Nicholas Negroponte) se počinje baviti istraživanjima interakcije računara i korisnika u okviru novoosnovane laboratorije *media lab* na MIT-u. U svojoj knjizi *The Architecture Machine* (1970) Negroponte prvi pokreće pitanje uloge računara i veštačke inteligencije u procesu arhitektonskog dizajna.

Početakom 80-tih godina pojavljuju se prvi personalni računari, ali je postojeća tehnologija bila i dalje veoma skupa i nepristupačna. Samo najveći arhitektonski biroji su mogli da priušte računarsku tehnologiju, a veoma mali broj ljudi je imao prilike da se koristi njihovim resursima<sup>355</sup>. Cena radnih stanica sa odgovarajućim softverima je tada koštala i do 100 000 američkih dolara. Sredinom 80-tih godina, cene PC računara postaju prihvatljivije, a u pomenutoj dekadi dogodila su se značajna otkrića iz oblasti kompjuterske vizualizacije: *ray-tracing* i *radiosity* tehnike osvetljenja. Istovremeno korisnički interfejs postaje prilagođen običnim korisnicima ne zahtevajući veštine programiranja u njegovoj komercijalnoj upotrebi (slika 170).

Tokom 80-tih godina nastali su neki od vodećih CAD softvera za arhitekte kao što su AutoCAD (kompanija: Autodesk, 1982), ArchiCAD (kompanija: Graphisoft, 1982), MicroStation (kompanija: Bentley, 1984), MiniCAD (danas pod nazivom: VectorWorks, Nemetschek, 1985). Dve najznačajnije pravca razvoja CAD-a 80-tih u kontekstu primene u arhitekturi jesu:

- primena generativnih algoritama u procesu dizajna (computational design) i
- nastanak objektno-orijentisanih CAD sistema.



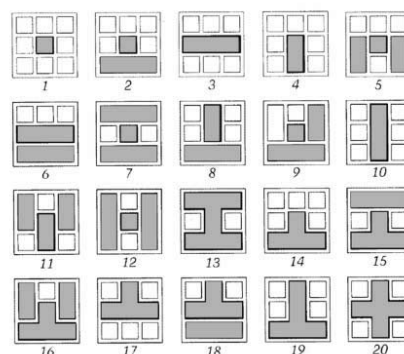
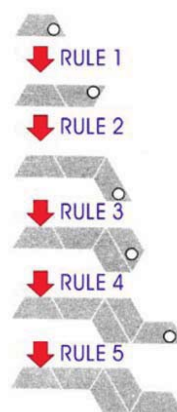
Slika 170

Korisnički interfejs Mekintoš računara iz 1984. godine. Razvoj korisničkog interfejsa omogućio je da mogućnosti računara koriste obični korisnici ne zahtevajući veštine programiranja.

<sup>354</sup> (Mollaert, str. 2000)

<sup>355</sup> (Pittman, 2003, str. 255)

Pionirska istraživanja u **primeni generativnih algoritama**<sup>356</sup> u procesu dizajna započeo je Džon Frejzer krajem 60-tih godina, ali tek sa razvojem softvera i pojavom personalnih računara 80-tih, kompjutacioni dizajn<sup>357</sup> dobija šire okvire. Početkom osamdesetih godina nastao je AutoCAD, prvi CAD program za platformu PC računara koji je imao zapis operacija crtanja na komandnoj liniji. Logika crtanja koristila je standardan jezik euklidske geometrije kakav se koristio i pri analognom crtanju, ali je digitalno generisani crtež nudio niz prednosti. AutoCAD-ov programski jezik AutoLisp, omogućio je da se različiti arhitektonski zadaci automatizuju anticipirajući generativni pristup u procesu arhitektonskog stvaralaštva. Prema Malcolm Mekulu, (Malcolm McCullough) upravo su prednosti programiranja u AutoLispu uticale da AutoCAD bude vodeći na tržištu<sup>358</sup>. Programiranje i upotreba skriptova prepoznat je kao novi, generativni potencijal u istraživanju arhitektonske forme. Postmodernistička teorija zasnovana na arhitektonskim elementima i sklopovima kao jeziku arhitekture upotrebljena je kao osnov za istraživanje uloge digitalnog medijuma u procesu arhitektonskog stvaralaštva. Oslanjajući se na logiku generativne gramatike lingvističke teorije Čomskog, gramatika oblika (shape grammar) koristila se jezikom geometrije i arhitektonskih elemenata i činila je bazu za nov algoritamski pristup projektovanju (computational design) u arhitekturi (slika 171). Analogija između gramatike i jezika sa jedne strane i pravila geometrijskih transformacija i arhitektonskih elemenata sa druge, bila je veoma uticajna među arhitektonskom avangardom i akademskim krugovima 70-tih i 80-tih godina<sup>359</sup>. Gramatika oblika (shape grammar) pokrenula je pitanje



Slika 171

Primer generisanje forme gramatikom oblika prema Vilijamu Mičelu (gore). Kompjutarne alternative studije plana Paladijevih vila primenom gramatike oblika prema Vilijamu Mičelu (dole).

<sup>356</sup> Pojam generativnog algoritma odnosi se na skup alata i instrukcija definisanih skriptom u programskom jeziku softvera koji se koristi, čija je namena automatizacija određenog procesa radnji. Za razliku od klasičnih alata u okviru softvera, generativni algoritmi kao izlazni podatak daju varijacije rešenja u zavisnosti od parametara u skupu instrukcija.

<sup>357</sup> Pojam kompjutacioni dizajn (computational design) odnosi se na kompjutacioni (algoritamski, generativni) pristup problemima dizajna, kao što su prezentacija, analize i umetničko izražavanje

<sup>358</sup> (McCullough, 2006, str. 13)

<sup>359</sup> Ajzenman je među prvim arhitektama istraživao ideju generativne gramatike u arhitekturi bazirane na lingvističkoj teoriji Noama Čomskog. Za razliku od Ajzenmanovog pristupa 60-tih kroz serije aksonometrijskih crteža, gramatika oblika 70-tih i 80-tih je pre svega istraživala mogućnosti estetike generisane računarskim algoritmima.

nove estetike generisane programskim algoritmima. Kurs programiranja za arhitekta u obrazovni sistem je uveden prvi put 1989 godine na Harvardu, koji se oslanjao na gramatiku oblika i primeni generativnih algoritama u arhitekturi<sup>360</sup>.

Tokom 80-tih godina razvijena je nova koncepcija CAD softvera, **objektno orijentisani CAD (OOCAD)**, koji je geometrijske elemente kao što su linije i krive zamenio „inteligentnim“ objektima: zidovima, vratima i prozorima. Objektno orijentisani CAD omogućio je da objektima budu dodeljeni negrafički atributi i da budu drugačije prikazani u različitim projekcijama. Kompanija *Graphisoft* je 1987. godine izbacila na tržište ArchiCAD 3.0, prvi softver koji je sadržao koncept virtualne zgrade sačinjene od „inteligentnih“ objekata, arhitektonskih elemenata<sup>361</sup>. Razvoj objektno orijentisanog CAD sistema doveo je do nastanka BIM-a (Building information modeling), informacionog modela zgrade koji sadrži logičan i konzistentan izvor svih informacija o zgradi<sup>362</sup>.

Iako su osnovni pravci razvoja primene digitalnih tehnologija već bili oblikovani do kraja 80-tih godina XX veka, tek u poslednjoj deceniji XX veka dolazi do značajnih promena u procesu projektovanja i građenja pod uticajem CAD/CAM softverskih sistema. Tokom 90-tih godina XX veka razvitak računarskih tehnologija proširio je granice u procesu generisanja geometrijskih formi, kada nastaju prvi arhitektonski objekti kod kojih je proces projektovanja i fabrikacije elemenata u potpunosti nastao u digitalnom okruženju.



Slika 172

Primer "inteligentnog" objekta iz BIM softverskog paketa - digitalna alatka prozor. Alatima u BIM programima pripadaju odgovarajući inteligentni objekti, arhitektonski elementi, kojima se mogu menjati osnovni parametri koji ga definišu.

<sup>360</sup> U te svrhe korišćen je softver TopDown koji su razvili Vilijam Mičel i Robin Liget (Robin Liggett) na UCLA. Topdown je omogućavao vizuelni i dinamički način za kombinovanje i zamenu kompozicionih motiva. (McCullough, 2006, str. 14)

<sup>361</sup> (Laiserin, 2002)

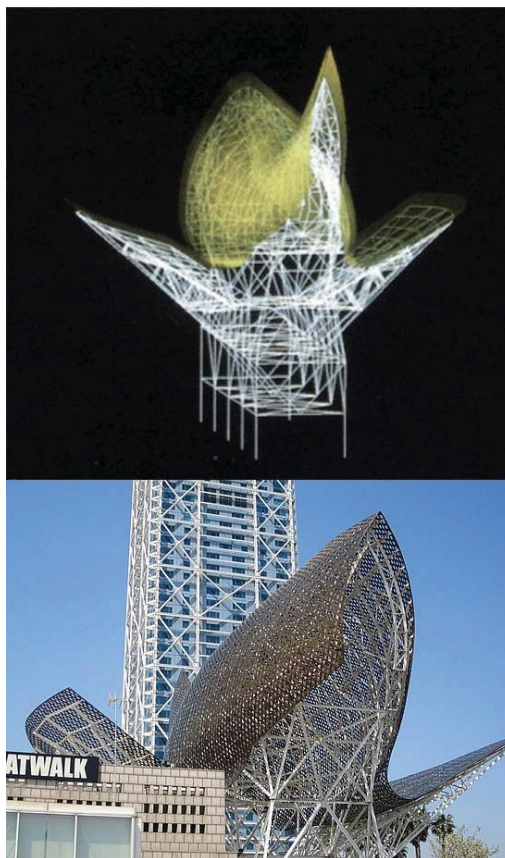
<sup>362</sup> (Howell & Batcheler, 2005)



### 3.4.2. Uticaj digitalnog medijuma i alata reprezentacije na arhitekturu od poslednje decenije XX veka.

Razvitak procesora, računarske grafike i korisničkog interfejsa uticali su da tokom 90-tih CAD tehnologija postane jednostavna, pristupačna i polako zameni analogni proces projektovanja na papiru. Veliki broj arhitektonskih biroa širom sveta je počeo koristiti računare kao digitalni medijum reprezentacije, u kojem su 3D modeli korišćeni u procesu generisanja arhitektonske forme. Paralelno sa razvojem CAD tehnologija, nastali su i CAM (computer-aided manufacturing) softverski sistemi, koji su omogućili produkciju i fabrikaciju industrijskih komponenti ili građevinskih elemenata na osnovu digitalnog modela. Za posledicu, CAD/CAM tehnologije promenile su tradicionalan način planiranja, projektovanja, fabrikacije, montaže i gradnje u arhitekturi ali i drugim inženjerskim disciplinama. Projekat skulpture ribe u Barseloni (1989-1992) arhitekta Frenk Gerija, čiji je proces izgradnje u potpunosti izveden i koordiniran na osnovu digitalnog 3D modela, može se smatrati prekretnicom u odnosu na tradicionalni proces projektovanja i izgradnje (slika 173).

Istovremeno digitalni medijum ponudio je nove alate za generisanje i evaluaciju geometrijskih formi čime je napravljen napredak ka digitalnom dizajnu u arhitekturi. Uticaj digitalnog dizajna na proces projektovanja i izgradnje proširio je postojeće teorijske okvire u arhitekturi. Dizajnerske intencije slobodnim povlačenjem linija zamenjene su procesom kompjutacije: manipulacijom podataka u okviru seta instrukcija. Prelaz od analognih ka digitalnim alatima prepoznat je kao napredak od „pravljenja“ (making of form) ka „traženju“ (finding of form) arhitektonske forme<sup>363</sup>.



Slika 173

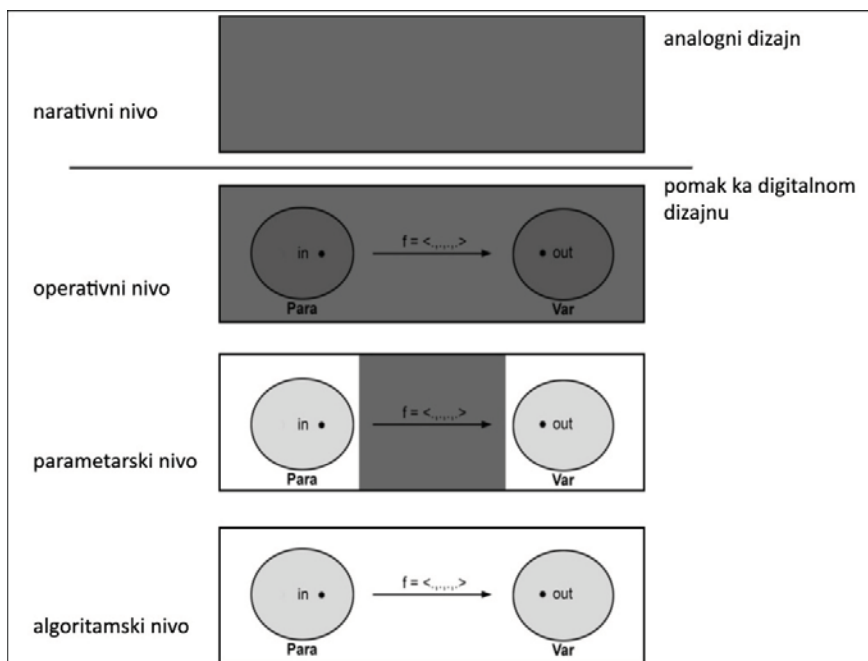
Projekat skulpture ribe u Barseloni (1989-1992) arhitekta Frenk Gerija.

Gore: digitalni model urađen u softveru CATIA. Dole: Fotografija izvedene skulpture.

<sup>363</sup> (Kolarevic, Computing the Performative, 2005, str. 195)

Prema Toniju Kotniku<sup>364</sup>, mogu se uočiti tri nivoa kontrole procesa kompjutacije na dizajnerske intencije u savremenom arhitektonskom stvaralaštvu: *operativni*, *parametarski*, *generativni* (dijagram 1). Slično, uticaj digitalnog medijuma i alata na arhitektonsko stvaralaštvo od 90-tih godina XX veka moguće je posmatrati na pomenuta tri nivoa. Stoga se proces generisanja arhitektonske forme (digitalne morfogeneze) može posmatrati u odnosu na tri nivoa:

- operativno modelovanje (operative modeling)
- parametarsko modelovanje (parametric modeling)
- generativno modelovanje (generative modeling)



Dijagram 1

Prelaz od analognog ka digitalnom dizajnu i tri nivoa kontrole procesa kompjutacije na dizajnerske intencije. Svaki računarski algoritam definiše parcijalnu funkciju  $f$ . Domen funkcije  $f$  je skup svih ulaznih parametara prostora *Para* a moguće varijacije predstavljaju prostor *Var*. Dijagram prema Toniju Kotniku (2006).

<sup>364</sup> (Kotnik, 2006, str. 31)

Osim različitih pristupa modelovanju/generisanju arhitektonske forme, strategije produkcije, evaluacije i optimizacije razvile su još jednu oblast primene digitalnog dizajna u arhitekturi: *dizajn baziran na analizama performansi* (performance-based design).

Digitalne tehnologije su osim procesa digitalne morfogeneze, stvorile platformu za novi pristup evaluacije i optimizacije u procesu građenja. Dizajn baziran na analizama performansi (performance-based design) nastao je kao posledica novom pristupu projektovanja u kome proces evaluacije i optimizacije geometrijske forme dominantan za generisanje arhitektonske forme.

Nov pristup primeni digitalnog medijuma u procesu arhitektonskog stvaralaštva, *generativni performativni dizajn*, razvijen tokom prve decenije XXI veka integrišući mogućnosti primene generativnih algoritama istovremeno za proces morfogeneze i optimizacije performansi objekta. Dalje u tekstu biće detaljnije opisani pomenuti pristupi procesu arhitektonskog stvaralaštva, kao i njihova veza sa koncepcijama prostora/sistema.

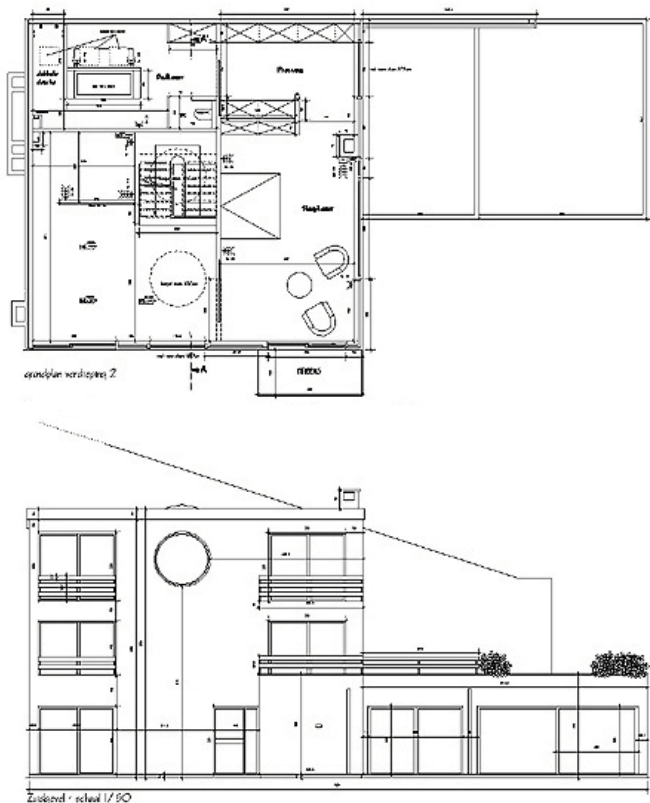
### **3.4.2.1. Operativni pristup modelovanju u arhitekturi**

Operativni pristup modelovanja u arhitekturi podrazumeva primenu predefinisanih softverskih alata za crtanje u toku projektantskog procesa. Takav pristup razvijen je kao direktna analogija crtanju i razvijen je u okviru prvih CAD sistema već tokom 60-tih godina. Operativni pristup modelovanja omogućava direktnu manipulaciju geometrijskim entitetima kao što su linija, poligon ili polidearsko telo. Početkom 90-tih godina, postojao je veliki broj komercijalnih CAD softverskih paketa koji su sadržali alate za crtanje i modelovanje u okviru korisničkog interfejsa. Primenom pomenutih softverskih alata moguće je manipulirati geometrijskim oblikom u dvodimenzionalnom ili trodimenzionalnom prostoru.

Najveći broj arhitekata se danas koristi operativnim pristupom modelovanja, ali je način primene različit. U zavisnosti od načina primene, mogu se razlikovati četiri različita pristupa primena operativnog pristupa modelovanja u arhitekturi:

- 2D CAD,
- Solid modelovanje (3D CAD),
- BIM modelovanje,
- Splajn modelovanje.

**2D CAD** predstavlja najjednostavniji pristup primene softverskih alata, u kojem je proces projektovanja identičan tradicionalnom pristupu, baziranom na parovima ortogonalnih projekcija (slika 174). Kopiranje elemenata i jednostavna primena linearnih i afinih geometrijskih transformacija kao što su skaliranje, translacija rotacija, simetrija u procesu crtanja predstavljaju osnovne prednosti u odnosu na tradicionalan pristup crtanju.



Slika 174

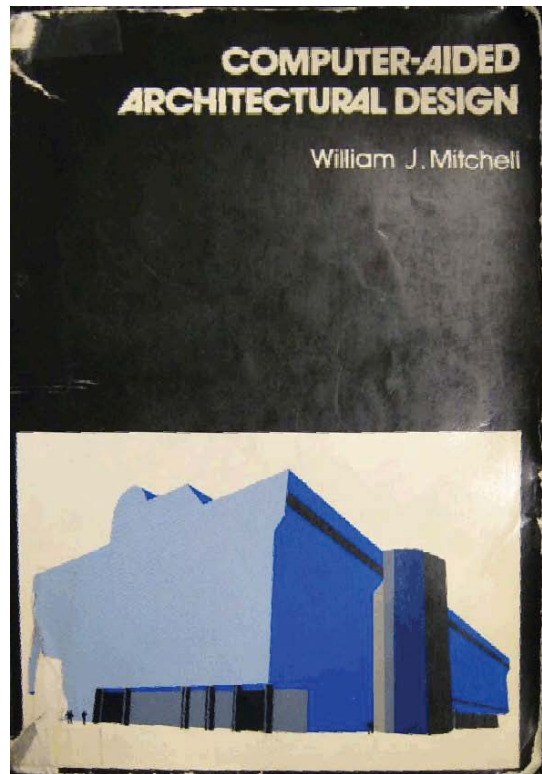
Primer 2D CAD primene softverskih alata. Logika crtanja identična je tradicionalnom pristupu generisanja forme iz plana u ortogonalnim projekcijama.



**Solid modelovanje** omogućava manipulaciju poliedarskim telima i geometrijskim primitivima (slika 175). Osim pomenutih geometrijskih transformacija, Bulove operacije kao što su unija, presek ili razlika, primenjene na geometrijska tela omogućavaju generisanje arhitektonske kompozicije. Tehnika solid modelovanja koja je od 70-tih godina bila u primeni u avio i automobilskoj industriji, početkom počinje se intenzivnije koristiti u arhitektonskoj praksi tek početkom 90-tih godina<sup>365</sup>. Kao što je već uočeno, manipulacijom 3D modela prevaziđena su ograničenja u reprezentaciji i vizuelizaciji prostora nastala primenom analognog medijuma, a modelovanje geometrijskim primitivima i poliedarskim telima u virtualnom okruženju ponudilo je veću slobodu u odnosu na primenu paralelnog ili kosog projiciranja.

**BIM modelovanje** nastao je razvojem objektno orijentisanog CAD-a u svrhe projektovanja i građenja arhitektonskih objekata (slika 175). Koncept BIM tehnologije omogućio je punu kontrolu nad informacionom bazom podataka elemenata zgrade, dodeljujući elementima objekta različite, negeometrijske atribute. Istovremeno osnovni alati kao što su zidovi, vrata ili stepenište, su parametarski definisani geometrijski entiteti. BIM tehnologija je poslednja generacija CAD softvera dizajnirana za konvencionalne potrebe u procesu arhitektonskog projektovanja, a nove verzije pojedinih BIM softvera imaju podršku softverskih alata za parametarsko modelovanje.

**Splajn modelovanje** predstavlja alternativu solid modelovanju i podrazumeva primenu seta alata u okviru specijalizovanih CAD i CGI (Computer-Generated Imagery) softverskih paketa za manipulaciju slobodnim geometrijskim površima. Pojam Splajna<sup>366</sup> ili B-splajn krive u računarskoj grafici, odnosi se na slobodne krive koje sačinjene od Bezierovih krivih istog stepena međusobno



Slika 175

Gore: primer solid modelovanja prema ilustraciji sa naslovne strane knjige Vilijama Mičela iz 1977. godine. Mičel je jedan od prvih koji je uvideo mogućnosti primene 3D CAD-a u arhitekturi.

Dole: Primer modela urađen pomoću BIM softverskog paketa.

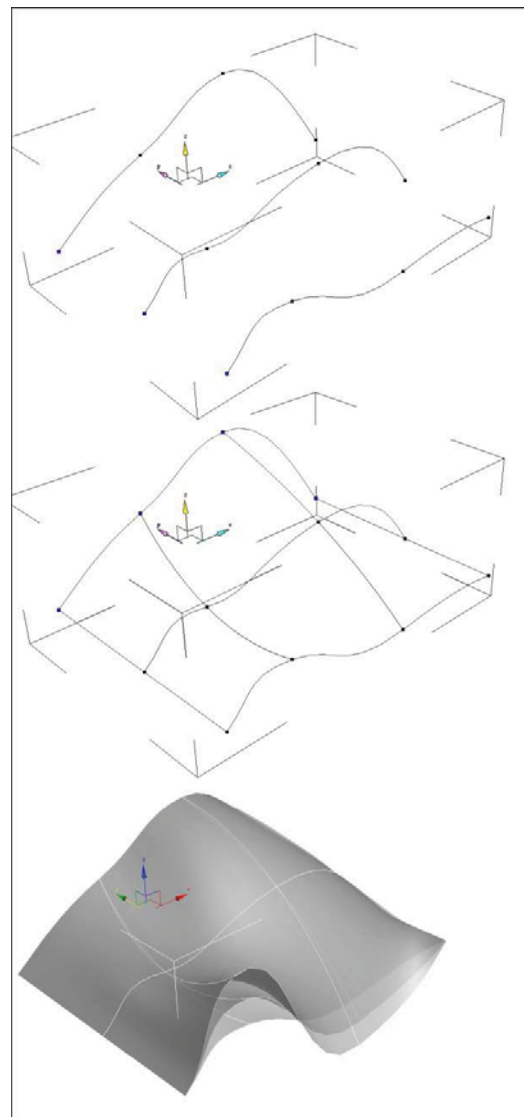
<sup>365</sup> (Pittman, 2003, str. 255-256)

<sup>366</sup> Termin splajn potiče od drevnog brodograditeljskog alata koji se koristio za crtanje krivih linija. Alatka se sastojala od elastičnog drvenog ili metalnog štapa koji se mogao savijati prilagođavajući se željenom obliku.

glatko povezanih na svojim krajevima. Alati za splajn modelovanje su prvobitno razvijeni u okviru CAD softvera namenjenih automobilske i avioindustriji, ali su brzo implementirani u CGI softveru namenjene filmskoj industriji specijalnih efekata.

Splajn modelovanje podrazumeva korišćenje seta alata za manipulaciju krivih u prostoru, kao i za generisanje slobodnih površi pomoću krivih (slika 176). Konstruisanje i manipulacija splajnovima omogućeno je pomoću kontrolnih tačaka koje povezuju Bezierove krive. Povezivanjem splajnova omogućeno je konstruisanje slobodnih površi, čije se kontinualne deformacije mogu dobiti manipulacijom kontrolnih tačaka. Reprzentacija geometrijskih oblika splajnovima prepoznat je kao napredak, jer se manipulacijom kontrolnih tačaka mogu dobiti kontinualne, "glatke" transformacije krivih.

Primenom softvera koji podržavaju modelovanje pomoću splajnova napravljen je napredak ka novim digitalno generisanim formama, koje bi bilo veoma teško ili nemoguće konstruisati tradicionalnim metodima reprzentacije. Arhitektonski Studio Frenk Gerija prvi koristi softver koji podržava generisanje slobodnih površi splajnovima u projektima skulpture ribe u Barseloni (1989-1992) i Koncertne dvorane Volt Dizni (1989-2003) u Los Angelesu. U te svrhe izabran je softver CATIA, koji je tada koristila vodeća avioindustrijska kompanija *Boeing*. U tehnološkom smislu početni koraci u razvoju arhitektonske forme nisu predstavljali inovaciju. U projektima Frenk Gerijevog studija usvojen je hibridan pristup generisanja arhitektonske forme, kombinujući analogne i digitalne tehnologije. Maketa je imala važnu ulogu u generisanju arhitektonske forme, koja bi u daljem procesu bila digitalizovana i optimizovana u projektantskom i konstrukterskom smislu. Iskorak u odnosu na prethodne metode istraživanja forme bio je digitalizacija i optimizacija modela. Ograničenja u pogledu finansija i rokova za realizaciju projekta navela su Gerijevog saradnika Džim Glimfa (Jim Glymph) da potraži rešenje

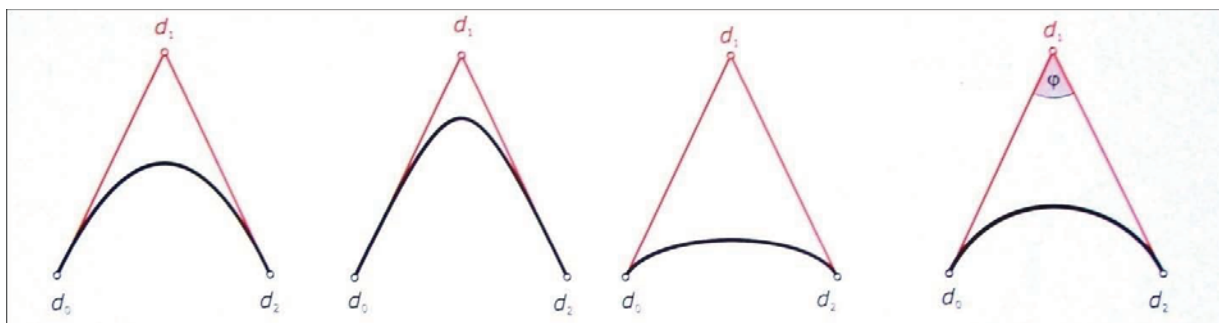


Slika 176

Primer modelovanja splajnovima. Jedan od načina manipulisanja slobodnim površima je pomeranjem kontrolnih tačaka na splajnovima koji generišu površ (slika dole).

u primeni digitalnih tehnologija. Krajnji produkt u procesu arhitektonskog projektovanja nije više bio tehnički izvođački crtež na papiru, već digitalni model iz koga su dalje ekstrahovane informacije za proces fabrikacije i montaže elemenata objekta-skulpture. Koristeći softver CATIA studio Frenk Gerija izbegao je mukotrpan proces pravljenja tehničke dokumentacije i radioničkih crteža elemenata konstrukcije zakrivljenih površi<sup>367</sup>.

Početak 90-tih godina pojavljuju se prvi komercijalni softverski paketi za PC računare koji su podržavali modelovanje NURBS krivama i površima. Pojam NURBS (Non Uniform Rational B-Spline) je skraćeni naziv za klasu parametarski definisanih krivih ili površi u računarskoj grafici koje, za razliku od splajnova (B-splajn krivih), osim kontrolnih tački i stepena krivih sadrže još jedan parametar - težinu (weight). Manipulacijom parametara NURBSa moguće je dobiti bilo koju krivu u prostoru, te se Bezierove, B-splajn krive, kao i bilo koje druge krive u matematici poput elipse ili kruga mogu posmatrati samo kao specijalni slučaj NURBS krivih<sup>368</sup> (slika 177).



Primena alata za manipulisanje NURBS krivima i površima omogućile su još veću slobodu i kontrolu u modelovanju u odnosu na prethodno opisane pristupe. Istovremeno, manipulacijom parametrima NURBSa

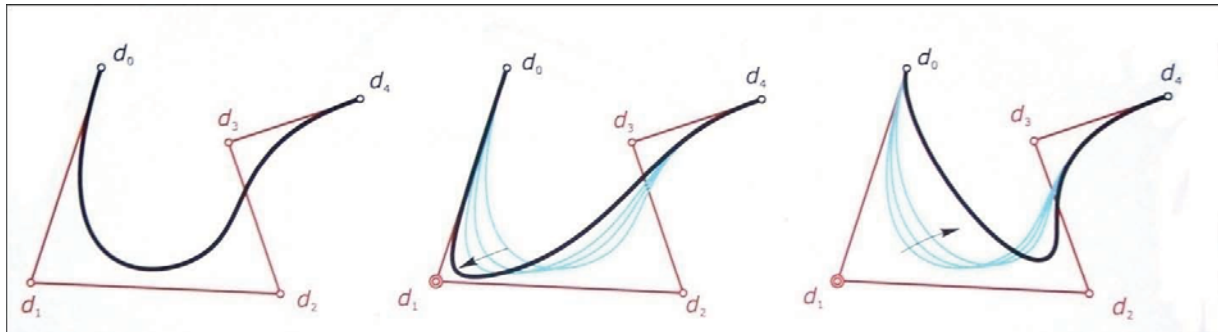
Slika 177

Konični preseki kao specijalni slučajevi NURBS krivih. Sa leva na desno: parabolični luk, hiperbolični luk, eliptični luk, kružni luk

<sup>367</sup> Slično, CATIA softver je korišćen za pravljenje *Boeinga 777*, prvog aviona koji je u potpunosti isprojektovan i izveden avion na osnovu digitalno generisanog modela. Primena digitalno generisanog modela je za 36% smanjilo vreme razvojnog ciklusa, istovremeno povećavajući kvalitet produkcije. (Levy & Murnane, 2004, str. 32)

<sup>368</sup> (Pottman, Asperl, Hofer, & Axel, 2007, str. 255-278)

dobijaju se kontinualne i glatke transformacije geometrijskih oblika, zbog čega je njihova primena povezana sa idejom topološkog prostora u arhitekturi. Parametarski pristup definisanju NURBS krivih anticipirao je novu pristup u primeni digitalnih alata.



Kontinualne i glatke deformacije oblika NURBS krivih ili površi dobijene manipulacijom parametara prepoznat je kao prelaz sa kartezijanske na topološku reprezentaciju prostora. Greg Lin prvi formuliše teorijske okvire teorije nabiranja i topologije u arhitekturi, praveći razliku između tradicionalnog načina generisanja arhitektonskih oblika baziranom na logici euklidske geometrije (linije, kružni lukovi, poligoni itd.) i novog, utemeljenog na logici nelinearnih transformacija oblika manipulacijom parametara NURBS krivih i površi (slika 178). Prema Linu, osnovni atributi koje digitalnom medijumu pružaju nove mogućnosti u odnosu na inertni medijum papira jesu: *vreme, topologija i parametri*<sup>369</sup>. Parametarska reprezentacija krivih i neograničene mogućnosti u generisanju slobodnih formi anticipirala je novu ulogu digitalnog medijuma i alata kompjutacije u procesu arhitektonskog stvaralaštva.

Slika 178

NURBS kriva definisana pomoću pet kontrolnih tačaka. Za razliku od splajnova, oblik krive se može manipulirati i parametrom *težine*, bez pomeranja kontrolnih tačaka, čime se dobija veća kontrola u generisanju krivih.

### 3.4.2.2. Parametarski pristup modelovanju u arhitekturi

Parametarski pristup modelovanju podrazumeva primenu procedura ili pravila na skup geometrijskih entiteta na takav način da on utiče na budući oblik i poziciju geometriju svih elemenata u sklopu. Koristeći se parametarski definisanom geometrijskom strukturom, manipulacijom jednog od parametara menja se čitav

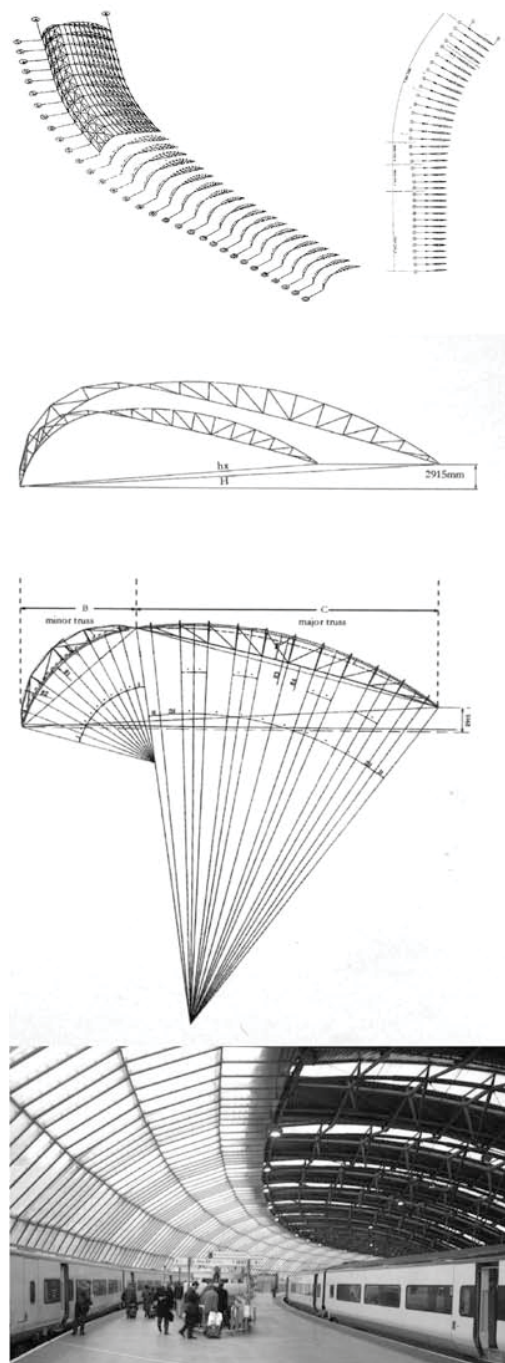
<sup>369</sup> (Lynn, *Animate Form*, 1999, str. 20)



sklop. Drugim rečima parametarskom pristupu dizajnu važni su parametri koji određuju oblik. Stoga je parametarski pristup modelovanju u arhitekturi povezan sa konceptom topologije. Sam pojam parametarsko modelovanje se često vezuje za pojam asocijativne geometrije koja se bavi svojstvima neke geometrijske strukture u zavisnosti međusobne relacije između pojedinih elemenata. Kako Kolarević primećuje, „parametarski pristup modelovanju predstavlja važan koncept u arhitekturi koji opisuje domet potencijalnih mogućnosti, zamenjujući fiksne vrednosti promenljivim, posebno sa varijacijama“<sup>370</sup>. Stoga je parametarski pristup modelovanju brzo povezan sa Delezovom filozofijom „različitosti i ponavljanja“ kao i konceptom topologije u arhitekturi.

Međunarodni terminal *Waterloo* stanice u Londonu (1993) koji je projektovao arhitektonski studio Nikolas Grimšoa (Nicholas Grimshaw) je jedan od prvih primera primene parametarskog pristupa modelovanju (slika 179). Terminal *Waterloo* ima ukupnu dužinu od 400 metara sa podužnom osom koja prati zakrivljenu putanju železničkog koloseka. Konstrukcija terminala sačinjena je od 36 lučnih nosača na tri zgloba koji prate zakrivljeni pravac koloseka. Svaki od lučnih nosača ima ekscentrično pozicioniran srednji zglob, zbog asimetričnog profila perona. Zbog složene geometrijske konfiguracije koju je nametnuo profil perona, lokacija i programski zadatak, svi lučni nosači su morali biti konfigurisani na isti način, ali tako da se njihov oblik postepeno menja. Takav zadatak nametnuo je potrebu za generisanjem parametarskog modela u kojem se širina i radijus krivine lukova postepeno menja. U te svrhe korišćen je softver kompanije *Intergraph* korišćen u brodograditeljskoj industriji.

Početak 90-tih, paralelno sa inovativnim pristupom CAD softvera za industrijski inženjering na projektu *Waterloo* stanice, Greg Lin razvija parametarski pristup modelovanju koristeći se CGI (Computer-generated



Slika 179

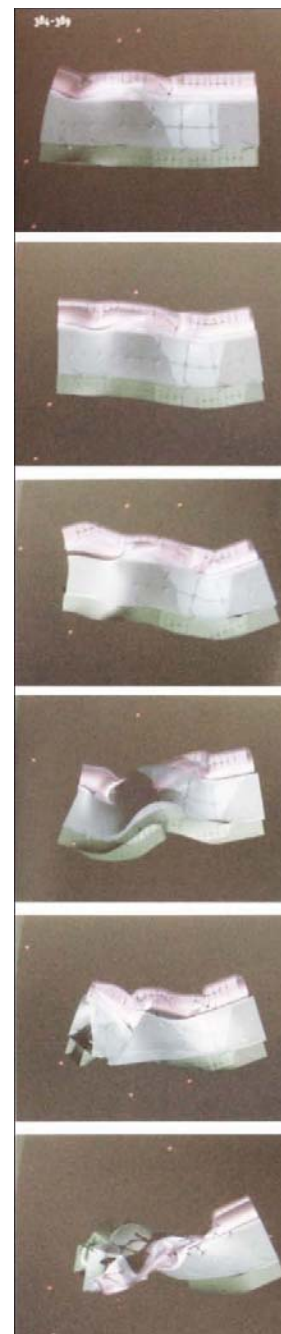
Parametarska definicija konstrukcije međunarodnog terminala Waterloo u Londonu. Gore: pozicija 36. lučnih nosača različite dimenzije. Sredina i dole: parametarska definicija konfigurisanja lučnih nosača:  $hx = ((2915^2 + (B+C)^2)^{1/2}$

<sup>370</sup> Ibid.

imagery) softverima specijalizovanim za industriju filmskih efekata i video igara. Tada vodeće kuće za CGI softvere *Alias* i *Wavefront* postigle su zavidan uspeh na nizu filmskih ostvarenja. Mogućnosti primene CGI softvera u arhitekturi je među prvima uočio Greg Lin, uočivši uticaje koje je digitalna morfining tehnika primenjena u filmskoj industriji imala na umetnost i kulturu početkom 90-tih. Morfining tehnika primenjena u tada velikim filmskim ostvarenjima, prva je prepoznata kao potencijal za istraživanje arhitektonskih formi u glatkim transformacijama zakrivljenih površi<sup>371</sup>. Instrumentalni pristup teorije nabiranja i topologiji u arhitekturi, publikovan u uticajnom članku Arhitektonska zakrivljenost (1993), Greg Lin pronalazi u glatkim i kontinualnim transformacijama geometrijskih formi generisanim pomoću CGI softvera. U knjizi "Pokrenuta forma" 1997. godine Greg Lin kroz niz primera ukazuje na različite tehnike kojima se CGI softveri za 3D animaciju mogu upotrebiti u procesu razvoja arhitektonske forme (slika 180).

CGI softveri prepoznati su kao digitalni alati za generisanje složenih formi u arhitekturi, manipulacijom splajnova i slobodnih površi. U isti mah, oni su nudili niz alata za generisanje oblika primenom tehnika 3D animacije. Za razliku od klasičnih CAD softvera, CGI softveri su otvorili mogućnost praćenja promena oblika u funkciji vremena. Drugim rečima tehnike 3D animacije prepoznate su kao parametarski pristup modelovanju u kojem je osnovni parametar vreme. Osnovne tehnike za generisanje arhitektonske forme u kojima su korišćene tehnike 3D animacije su:

- 3D morfining,
- meta-lopte,
- inverzna kinematika,
- dinamički sistemi



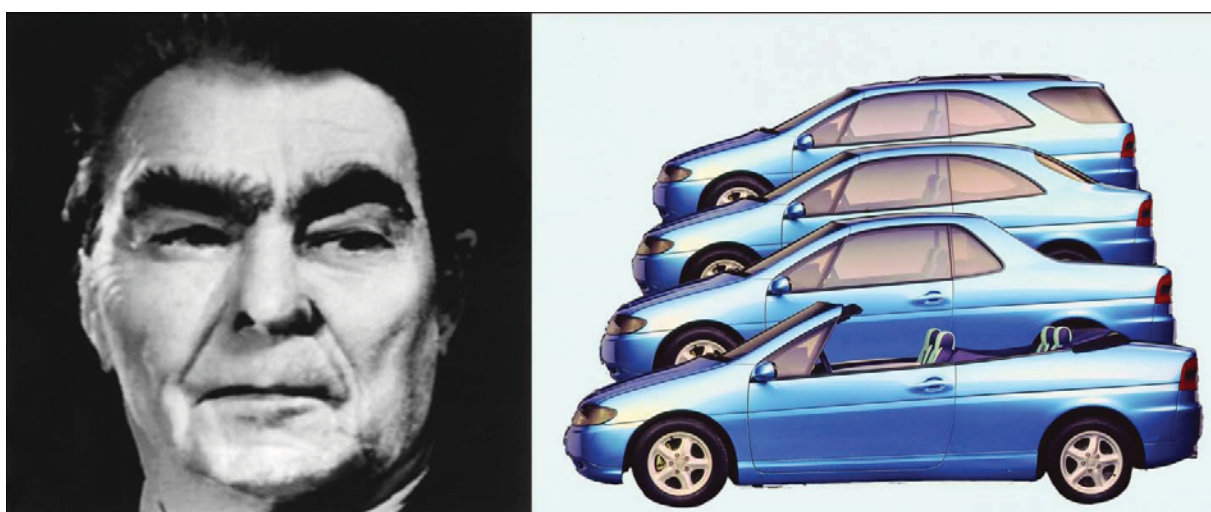
Slika 180

Primena CGI softvera i tehnika 3D animacije u arhitektonskim istraživanjima.

Na slici: sekvence animacije u genezi forme kuće na *Long Islandu* prema knjizi "Pokrenuta forma" 1997. godine Greg Lina.

<sup>371</sup> U članku Arhitektonska zakrivljenost (1993) Greg Lin se poziva na umetničke i kulturne uticaje morfining tehnike u filmskom ostvarenju "Terminator 2", poredeći fluidan transformabilan lik robota T-1000 sa kućom *Peter Lewis Frenk Gerija* i Filip Džonsona. (Lynn, 1993, str. 12)

**3D morfing** je tehnika modelovanja u kojem jedan objekat postepeno menja svoju oblik transformišući se u drugi. Primena 3D morfinga podrazumeva odabir dva geometrijska oblika (inicijalnog i krajnjeg) i definisanja vremenskog intervala, odnosno broja interpolacija prelaznih, hibridnih formi. Pomenutom tehnikom moguće je generisati veliki broj hibridnih formi gde svaka od njih predstavlja tranziciju ka zadatom krajnjem obliku. Suština morfinga kao tehnike generisanja forme nije u krajnjem obliku, već u procesu u homogene tranzicije, u hibridnim varijacijama<sup>372</sup>.



Jedan od prvih primera koncepta hibridizacije u digitalnoj umetnosti je delo Nensi Bursona (Nancy Burson "Ratna glava", 1982, koja predstavlja hibridnu formu slike glave predsednika zemalja učesnika u trci sa nuklearnim naoružanjem<sup>373</sup> (slika 181). Morfing je intenzivno je eksploatisan u filmskoj industriji specijalnih efekata krajem 80-tih i početkom 90-tih godina, a kao dizajnerski koncept uspešno je primenjen i realizovan na projektu *Mercedes-Benz Vario Research* 1995. godine. Ideja projekta bilo je stvaranje

Slika 181

Koncept hibridizacije u digitalnoj umetnosti i industrijskom dizajnu. Levo: "Ratna glava" Nensi Bursona (1982). Desno: *Mercedes-Benz Vario Research*

<sup>372</sup> (Terzidis, 2003, str. 23-31)

<sup>373</sup> Portret "ratne glave" predstavlja hibridan formu koja sadrži 55% lika Ronald Regana (Ronald Reagan), 45% Leonid Brežnjeva (Leonid Brezhnev) i manje od 1 % Margaret Tačer (Margaret Thatcher), Fransa Miterana (François Mitterrand), Deng Ksjaopinga (Deng Xiaoping). Prema: *Nancy Burson: About the Work*. (n.d.). Preuzeto jul 23, 2010, sa Arken Museum of Modern Art: [http://www.arken.dk/content/us/arkens\\_collection/photography\\_and\\_graphics/nancy\\_burson/about\\_the\\_work](http://www.arken.dk/content/us/arkens_collection/photography_and_graphics/nancy_burson/about_the_work)

automobila koji u sebi sadrži elemente različitih modela kabrioleta i kupea, te se jednostavno može transformisati u različite modele za kratko vreme, prilagođavajući se određenoj nameni<sup>374</sup> (slika 181).

U Kolatan/MacDonald studiu mogućnosti morfining tehnike u procesu arhitektonskog stvaralaštva su intenzivno istraživane na nizu projekata jednoporodičnih kuća. U projektu *Ost/Kuttner Apartments* (1996), poprečni profili kućnog nameštaja kao što su krevet, fotelje ili plakari povezani su u jednu hibridnu celinu (slika 182). U projektu *Raybould House* (1997), kao parametri za hibridizaciju korišćen je oblik okolnog pejzaža i postojeće kuće. Novi objekat je na taj način postao ekstenzija postojeće kuće i deo pejzaža istovremeno.



Hibridni pristup arhitektonskom dizajnu, predstavlja alternativu konvencionalnom pristupu projektovanja u arhitekturi. Za razliku od standardnog pristupa razvoja arhitektonske forme, u kojoj je finalno projekatnsko rešenje rezultat akumulativnog razvoja dizajnerskog procesa kroz niz sukcesivnih koraka, hibridni pristup traži alternativu u odnosu na početnu i krajnju soluciju<sup>375</sup>. Morfining tehnika i hibridni dizajn pruža arhitektama mogućnosti istraživanja implikacije između projektantskih modela različitih formalnih karakteristika.

Slika 182

Hibridni pristup arhitektonskom dizajnu. Levo: poprečni profili kućnog nameštaja kao početne i krajnje interpolacije za hibridizaciju forme u projektu *Ost/Kuttner Apartments* (1996) Kolatan/MacDonald studia. Sredina: detalj enterijera u *Ost/Kuttner Apartments* (1996). Desno: *Raybould House* (1997) Kolatan/MacDonald studia.

<sup>374</sup> (Deppe, 2009)

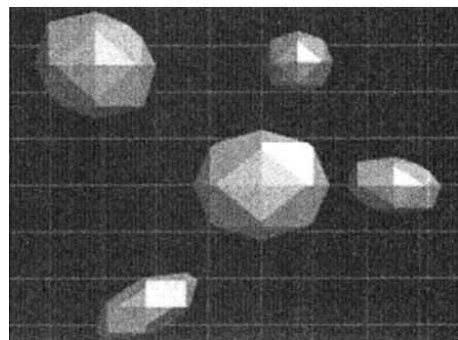
<sup>375</sup> (Terzidis, 2003, str. 25)



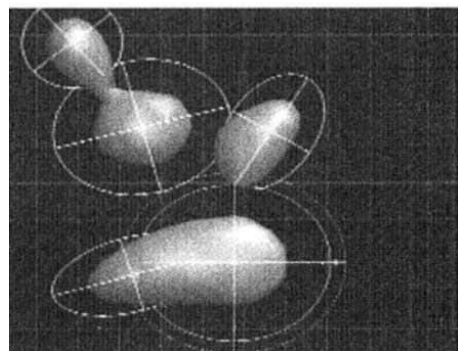
Pojam **meta-lopti** (metaballs), izomorfnih polipovrši (isomorphic polysurface) ili blobova su termini iz oblasti 3D računarske grafike, a odnose se na tipove objekata sferoidnog oblika koji imaju sposobnost međusobnog privlačenja i spajanja. Parametri meta-lopti su centar tela, geometrijska površ, polje i intenzitet uticaja. Nezavisne metalopte ponašaju se kao klasični geometrijski primitivi. Polje i intenzitet uticaja deluju na međusobnu interakciju između meta-lopti generišući različite varijacije fluidnih formi. Metalopte se koriste kao alati za dinamičku simulaciju geometrije fluidnih oblika. Metaloptama se mogu realno prikazati kohezivne sile i interakcija između fluidnih čestica u dinamičkom sistemu.



Greg Lin prvi razmatra implikacije CGI softverskih alata za kreiranje blob oblika istovremeno vezujući ga za teorijski diskurs kompleksnosti i topologije u arhitekturi. U svom uticajnom eseju *Blobs* (1995), Lin uočava da se primenom CGI softvera mogu simulirati nelinearni dinamički sistemi, gde se izomorfnim polipovršima, odnosno vrstom topoloških geometrijskih figura, mogu istraživati različiti nivoi kompleksnosti<sup>376</sup>. U pomenutom eseju prvi put je promovisan pojam Blob u arhitekturi, koji dalje postaje sinonim za digitalno generisane fluidne forme, koje se javljaju tokom 90-tih godina i početkom XXI veka (slika 183).



Lin prvi promoviše mogućnosti primene metalopti u arhitekturi kroz studijske projekte prikazane u knjizi *Animate Form*. Koreanska presbiterijanska crkva (1995-1999) u Nju Jorku koju radi u saradnji sa Majkl Mekinturfom (Michael McInturf) i Douglas Garofalom (Douglas Garofalo) je prvi izvedeni objekat u kojem je promovisan koncept bloba kao generatora arhitektonske forme<sup>377</sup> (slika 184). Primena metalopti prihvaćena je kao strategija za generisanje jedinstvenog volumena koji nastaje procesom spajanja različitih programskih celina. Počevši od kolekcije nekoliko



Slika 183

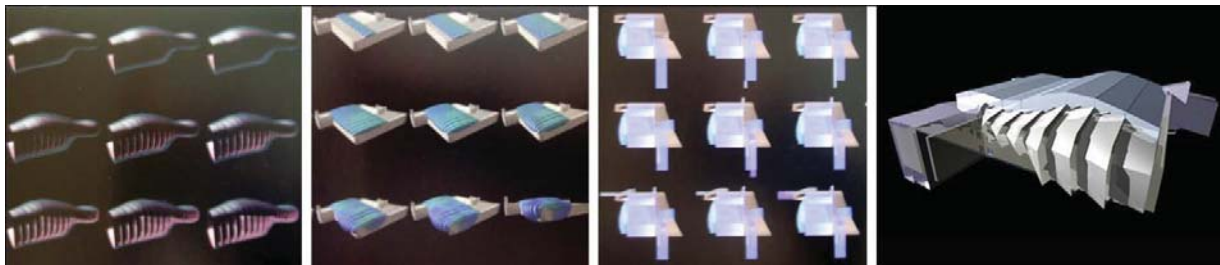
Gore: primena metalopti kao alati za dinamičku simulaciju fluidnih materijalnih sistema.

Dole: prikaz metalopti i kohezivnih sila ilustrovane u eseju *Blobs* (1995), u kojem je prvi put promovisan pojam bloba u arhitekturi

<sup>376</sup> (Lynn, 1995)

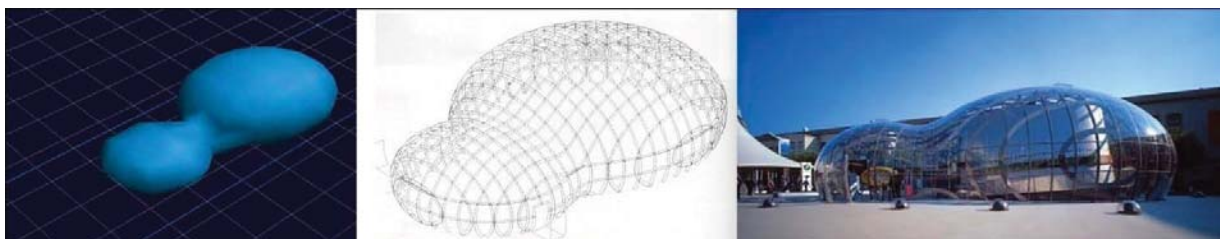
<sup>377</sup> (Aurel, 2001)

nezavisnih programskih jedinica raspoređenih u nizu, proces geneze forme završen je formiranjem jedinstvenog omotača, koji obuhvata čitav prostor. Slično, za izradu mehurastog oblika paviljona *Bubble* BMW paviljona u Frankfurtu 1999. godine, Bernar Franken (Bernhard Franken) koristi meta-lopte. Oblik paviljona simbolizuje formu kapi vode. Za generisanje forme nastale kohezijom dve kapi vode korišćene su meta-lopte za simuliranje sila i površinskog napona koji generiše takav oblik (slika 185).



Slika 184

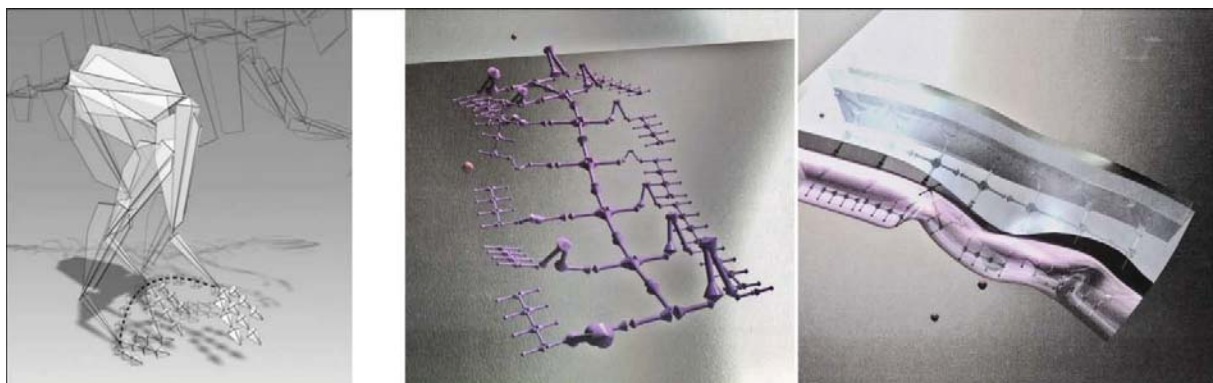
Razvoj forme primenom meta-lopti u projektu Koreanske presbiterijanske crkve (1995-1999) Greg Lina, Majkl Mekinturfa i Daglas Garofala.



Slika 185

Razvoj forme primenom meta-lopti u projektu Bubble BMW paviljona u Frankfurtu 1999. godine, Bernar Frankena.

Pojam **Inverzna kinematika** (Inverse Kinematics, IK) podrazumeva proces definisanja parametara zglobovno i fleksibilno povezanih objekata u cilju određivanja željenog položaja elemenata. Pomenuti proces se intenzivno koristi u robotici i kao tehnika 3D animacije za simulaciju kretanja živih bića ili humanoidnih robota. IK lanac (Inverse Kinematics chain), slično skeletnom sistemu koristi hijerarhijsku vezu između pojedinih elemenata - kostiju (bones). Pomeranjem IK lanca, simulira se kretanje i deformacija omotača, geometrijske površi koja je vezana za lanac.



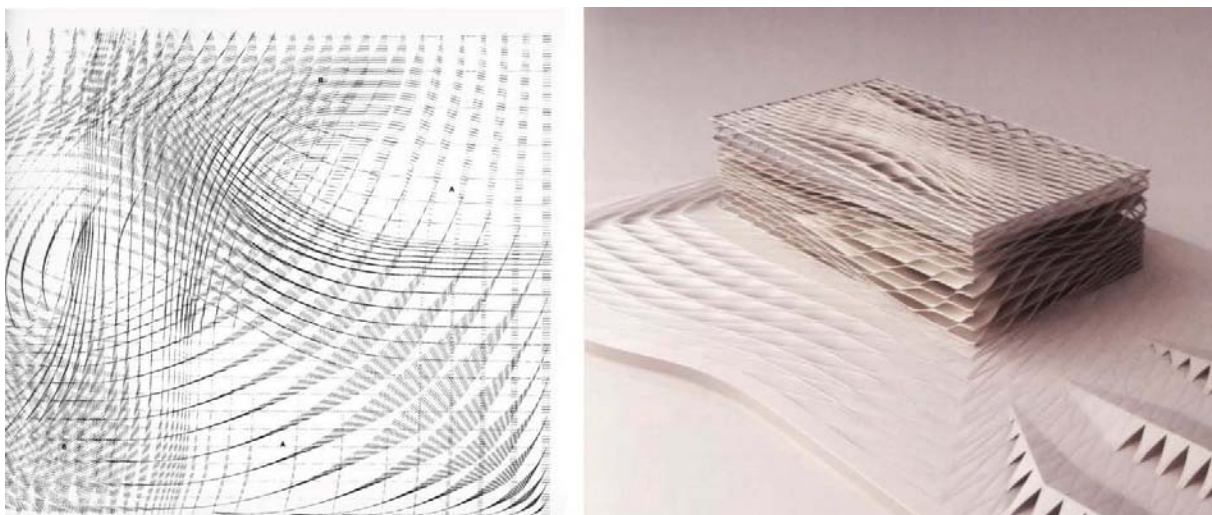
Inverzna kinematika je u filmskoj industriji specijalnih efekata našla primenu kao način za kreiranje gestikulacije i kretanja digitalno generisanih likova. Isti princip primenjen je za generisanje arhitektonske forme u nekoliko arhitektonskih projekata u poslednje dve decenije. U projektu kuće *House prototype in Long Island (1994)*, Greg Lin koristi proces inverzne kinematike za deformaciju inicijalnog oblika kuće (slika 186). Skelet IK lanca deformisan je pod uticajem različitih sila indukovanih iz neposrednog okruženja kuće. Sličan metod primenjuje Ali Rahim u projektu Biblioteke (2003) u Karačiju, Pakistan (slika 187). U pomenutom projektu Ali Rahim kreira IK veze lanaca organizovane u trodimenzionalnoj matrici u okruženju objekta. Na matricu IK lanaca deluje dinamički sistem definisan silama iz okruženja. Polja sila javljaju se u ključnim tačkama lokacije kao i u odnosu na

Slika 186

Levo: primena inverzne kinematike u kreiranje gestikulacije i kretanja digitalno generisanih likova.

Sredina: Hijerarhijska veza u sistemu IK lanca u projektu *House prototype in Long Island (1994)*, Greg Lin. Desno: sekvenca u procesu defomacije oblika kuće pod uticajem hijerarhijskih veza u sistemu IK lanca u projektu *House prototype in Long Island*.

komunikacije i javni prostor u okviru biblioteke. Pod uticajem sila veze, u IK lancu se pomeraju, stvarajući nove položaje i deformišući inicijalni oblik. Razlike u promenama u okviru dinamičkog sistema generišu različite oblike objekta i terena. Zbog povezanosti IK lanca objekta i terena, sam objekat postaje deo pejzaža, čineći jedinstvenu kompoziciju. U okviru prostora biblioteke, ne postoje jasno izražene veze između različitih prostora. Granica između površine poda, zidova ili plafona nije definisana, te se unutrašnji prostor čini fluidan, izliven. Dinamičkim sistemom generisana su polja različite gustine koja na taj način kontrahuju ili šire definisanu mrežu IK lanaca. Time je postignuta kontinualna promena stepena poroznosti prostora unutar biblioteke i u okviru fasadnog platna<sup>378</sup>.



Inverzna kinematika pruža mogućnost u istraživanju geneze arhitektonske forme kroz hijerarhijski i fleksibilno povezanu strukturu. Hijerarhijske veze mogu reflektovati kvalitativni odnos između određenih programskih jedinica ili uticajnih linija u projektantskom procesu. Primena IK lanaca omogućava fluidne transformacije oblika pod uticajem pomeranja hijerarhijskih veze između elemenata.

Slika 187

Projekat biblioteke u Karačiju Ali Rahima iz 2003. godine.

Levo: vizualizacija dinamičkog sistema komponovanog od matrice IK lanaca u ortogonalnoj prostornoj matrici u projektu biblioteke. Desno: digitalni model biblioteke.

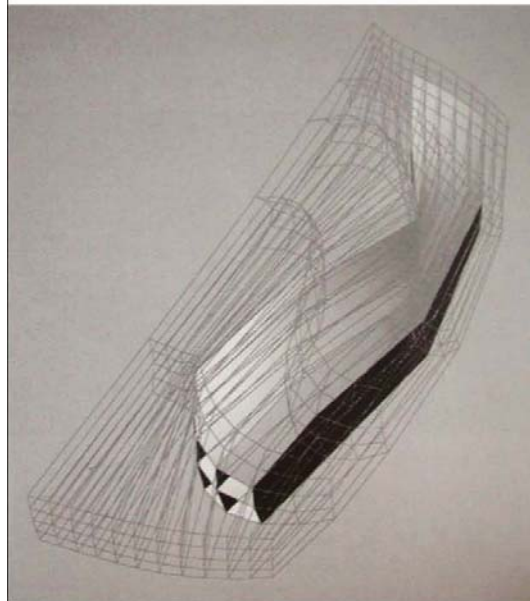
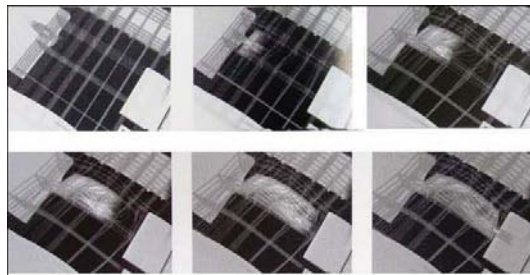
<sup>378</sup> (Rahim, 2007, str. 117)



Pojam **dinamičkih sistema** (dynamical systems) u računarskoj grafici odnosi se na primenu različitih alata čija je funkcija simulacija uticaja sila na objekte u realnom fizičkom sistemu. Koristeći se dinamičkim sistemima geometrijski objekti dobijaju parametre koji čine fizičke karakteristike tela kao što su masa, elastičnost, gustina viskoznost, trenje itd, na koje deluju različite sile poput gravitacije, trenja, vetra ili vrtložnih sila. Primenom dinamičkih sistema mogu se simulirati različite pojave kao što su dinamika fluida i deformacije krutih i mekih tela pod uticajem različitih sila.

Dinamičkih sistemi su prvobitno korišćeni za analizu i simulaciju realnih dinamičkih sistema, ali su vrlo brzo našli primenu u filmskoj industriji specijalnih efekata. Konkursni projekat za autobuski terminal u Nju Jorku *Port Authority Bus Terminal* (slika 114), je jedan od prvih primera upotrebe dinamičkih sistema za generisanje arhitektonske forme. Za nastanak oblika nadstrešnice autobuske stanice, Lin je formirao vektorska polja uticajnih sila koje je vizualizovao primenom sistema čestica (particle system). Vektorska polja uticajnih sila kao što su tokovi kretanja pešaka ili vozila uzeti su kao direktna analogija silama u simulaciji dinamičkih sistema. Različitim studijama uticaja sila dobijen je oblik pokrenute forme autobuske nadstrešnice. Sličan pristup primenjuje Bernar Franken u projektu paviljona *Dynaform* (2001) u Frankfurtu (slika 188), kao i Ali Rahim u nizu svojih projekata, među kojima je već spomenuta centralna prodavnica *Reebok* u Šangaju (slika 115). Za razliku od Rahima i Lina, koji koriste sisteme čestica za vizualizaciju uticajnih linija u vektorskom polju, Franken koristi trodimenzionalnu matricu, koja se deformiše pod uticajem sila koje formiraju arhitektonski program i neposredno okruženje.

Softveri za 3D animaciju su tokom 90-tih prepoznati kao alternativa u procesu istraživanja arhitektonskih formi. Za razliku od konvencionalnih CAD platformi i BIM tehnologija koje su bile prevashodno kreirane kao osnovni alat u projektovanju arhitekata i inženjera, CGI



Slika 188

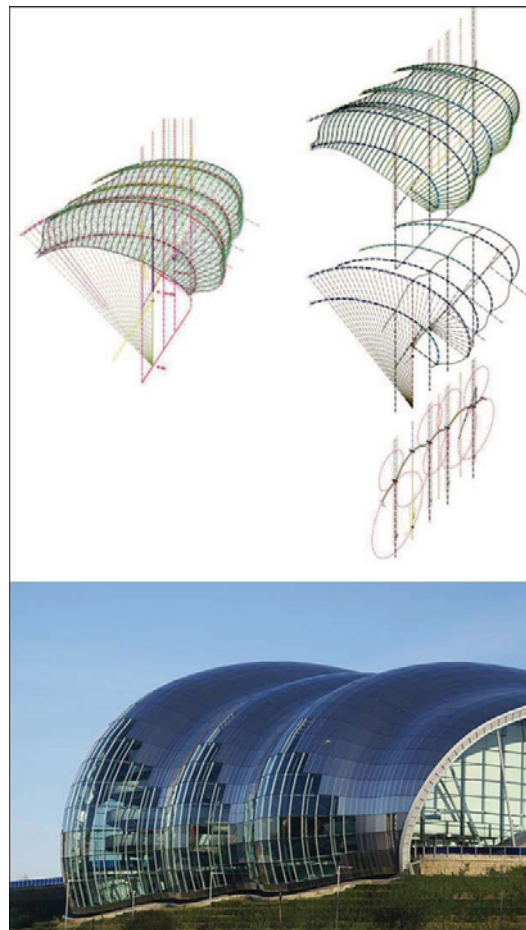
Primena dinamičkog sistema u procesu morfogeneze projekta paviljona *Dynaform*, Bernar Frankena.

Gore: Sekvence iz animacije koje prikazuju proces nastanka forme. Sredina: FFD (Free Form Deformation) matrica deformisana pod uticajem sila dinamičkog sistema. Dole: fotografija izvedenog paviljona.

softveri pomerili su granice i mogućnosti primene digitalnih tehnologija u procesu dizajna. Osnovna razlika između CGI i CAD softvera kao alata za modelovanje ogleda se u drugačijem pristupu ideji vremena. Koncept vremena u CAD softverima identičan je onom na kojem počiva klasična Njutnova mehanika. Drugim rečima, vreme je neutralni kontejner za različite događaje, a objekti ne menjaju svoje fundamentalne i materijalne karakteristike tokom određenog vremenskog događaja.

Sa druge strane CGI softveri manipulišu konceptom vremena u kojima se mogu opisati termodinamički sistemi. Vremenom se beleže kvantitativne i kvalitativne promene događaja, u kojem objekti mogu menjati oblik ili agregatno stanje. Kvalitativne karakteristike vremena postale su ključne za nova istraživanja formi, a CGI softveri kao medijum reprezentacije topološkog prostora.

Tek u prvoj deceniji XXI veka razvijeni su softveri namenjeni arhitektama, bazirani na parametarskom pristupu modelovanja. Tim stručnjaka koji je krajem 80-tih i početkom 90-tih radio na razvijanju parametarskog pristupa modelovanja na projektu Waterloo stanice<sup>379</sup>, oformio je u okviru korporacije *Bentley* organizaciju *SmartGeometry group* i softver *Generative Components*. Pomenuti softver nastao 2003 godine potpuno je integrisao koncepte parametarskog modelovanja u arhitekturi i podržava BIM tehnologiju. Godinu dana kasnije Gerijev tim za razvoj softvera GehryTechnologies izbacio je na tržište softver *DigitalProject*, baziran na platformi softvera CATIA V5. Softveri za parametarsko modelovanje u arhitekturi omogućili su manipulaciju kompleksnim geometrijskim formama uz istovremenu optimizaciju konstrukcije i evaluaciju projekta čime su redukovani troškovi građenja uz istovremeno poboljšanje performansi objekta. Objekti *Greater London Authority*, *Sage Gateshead* (slika 189) i *Swiss Re* studija Normana Foster, *Garibaldi Tržni centar* Nikolas



Slika 189

Primena alata za parametarsko modelovanje spcijalizovanih za arhitekturu primenom asocijativne geometrije u okviru studija *Foster + Partners*.

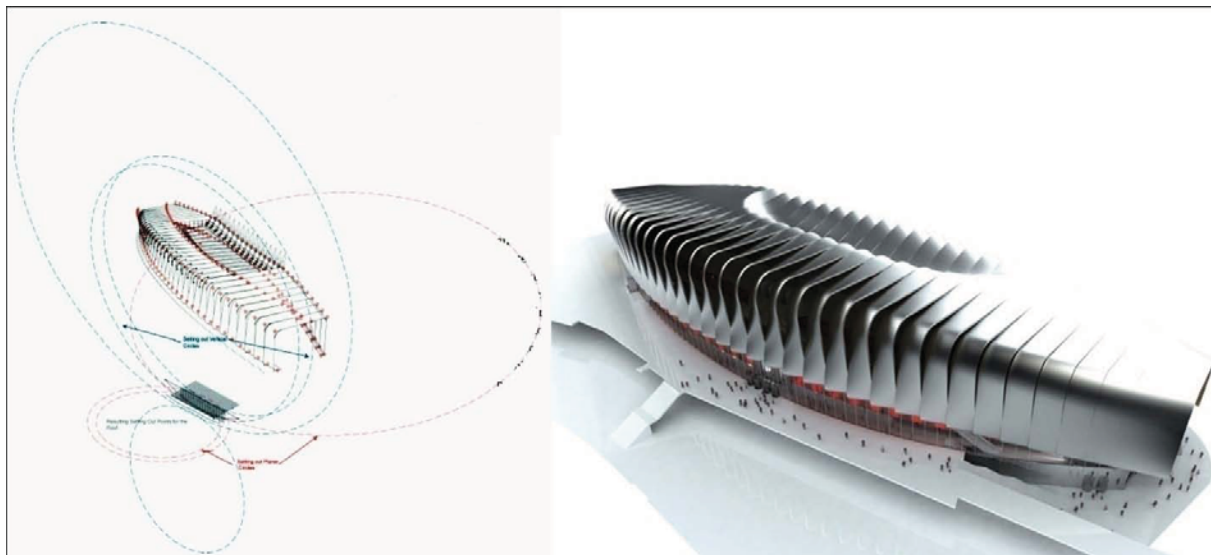
Gore: parametarski definisana toroidalna geometrija omotača muzičkog centra *Sage Gateshead* (2004). Dole: muzički centar *Sage Gateshead*.

<sup>379</sup> Radeći za Grimšovu partnersku firmu YRM, Robert Aiš (Robert Aish), Larš Heselgren (Lars Hesselgren), Hag Vajthed (Hugh Whitehead) i Džej Periš (Jay Parrish) su krajem 80-tih godina počeli da razvijaju parametarski pristup modelovanju radeći na projektu Waterloo železnički terminal.

Grimšoa (slika 190) ili Nacionalni stadion u Pekingu studia Herzog i Demeron ukazuju na potencijal koji softveri za parametarsko modelovanje u arhitekturi nude u procesu digitalnog dizajna.

Slika 190

Levo: Primena softvera za parametarsko modelovanje u arhitekturi *Generative Components* u projektu *Garibaldi* Tržni centar Nikolas Grimšoa. Desno: digitalni model *Garibaldi* tržnog centra.



### 3.4.2.3. Generativni pristup modelovanju u arhitekturi

Većina arhitekata danas koristi računare i softverske alate za crtanje. Na taj način projektantski proces je u velikoj meri zavisn od softvera koji arhitekta koristi. Koristeći se alatima softvera ponuđenim u korisničkom interfejsu, arhitekta neprestano ponavlja identične rutine koncipirane na unutrašnjoj logici samog softvera. Projektantski proces je na taj način ograničen na one alate koje sadrži sam softver.

Želeći da prošire mogućnosti primene računara u arhitekturi, pojedini arhitektonski birovi odlučili su da sami kreiraju softverske alate prilagođene sopstvenim namenama, primenom generativnih algoritama. Generativni pristup modelovanju u arhitekturi podrazumeva primenu skriptova ili generativnih algoritama kao načina za generisanje arhitektonske forme. Primena generativnih algoritama je prelaz od

geometrijske reprezentacije ka algoritamskoj (semantičko/sintaksnoj) reprezentaciji u procesu arhitektonskog stvaralaštva. Za razliku od geometrijske reprezentacije prostora kojom se direktno manipulira sa geometrijskim entitetima, algoritamskom reprezentacijom prikazan je niz logičkih instrukcija. Kako Terzidis primećuje algoritamske strukture reprezentuju apstraktne paterne koje ne moraju biti neophodno povezane za prethodno vizuelno iskustvo i percepciju<sup>380</sup>. U tom smislu, primena algoritama predstavlja napredak u procesu istraživanja formi van granica zadatih imaginacijom i percepcijom (slika 191).

Iako se generativni algoritmi u arhitekturi počinju primenjivati tokom 80-tih godina XX veka, značajan napredak od geometrijske ka algoritamskoj reprezentaciji započeo je na samom prelazu iz XX u XXI vek. Razvoj hardvera, računarske grafike i nastanak objekto-orijentisanog programiranja, uticali su da generativni pristup modelovanju u arhitekturi ponovo dobije na značaju. Generativni algoritmi i kompjutacioni dizajn prepoznati su kao efikasan alat u strategiji produkcije i fabrikacije složenih geometrijskih struktura u arhitekturi ali i kao osnovni model u instrumentalnom pristupu fenomena kompleksnih adaptivnih sistema. Postoje tri osnovna pristupa primene generativnih algoritama u kontekstu teorije kompleksnih adaptivnih sistema u arhitekturi:

- kompjutaciona geometrija,
- sistemi bazirani na pravilima (rule-based systems),
- samo-organizujući sistemi.

**Kompjucionna geometrija** je oblast informatike koja se bavi primenom računarskih algoritama u rešavanju geometrijskih problema. Problemi kompjucionne geometrije vezani su kompjutersku grafiku i CAD/CAM sisteme, ali su našli primenu i u robotici, GIS sistemima, i dizajnu integrisanih kola. Problemi kompjucionne geometrije u kontekstu arhitektonskog dizajna odnose



```
PROCEDURE Script1;
VAR
  i,j : INTEGER;
  r,g,b : LONGINT;

BEGIN
  r:=0;g:=0;b:=0;
  j:=12;
  FOR i:=5 TO 300 DO
    BEGIN
      PenFore(r+i*175,g,b);
      MoveTo(2*i+10*j,Cos(2*pi*i/100)*15+10*j);
      LineTo(i+20*j,Sin(4*pi*i/100)*25+18*j);
      RotatePoint(i+2*j,2*j+i,-10*j);
      DSelectAll;
    END;
  END;
  RUN(Script1);
```

Slika 191

Generativni pristup dizajnu primenom algoritama i/ili skriptova: linijski crtež definisan skriptom (Vectorscript softvera VectorWorks).

<sup>380</sup> (Terzidis, 2003, str. 65-71)

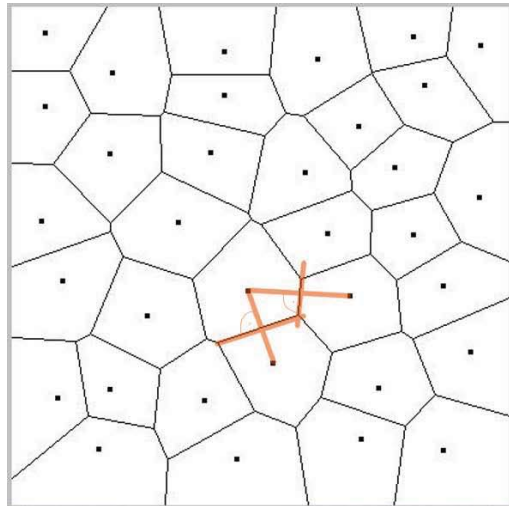


se najvećim delom na probleme teselacije poligonalnih površi i poliedarskih tela. Problemi teselacije u kontekstu instrumentalnog pristupa ideji kompleksnih adaptivnih sistema odnose se na različite modele dekompozicije prostora strukturalnih (materijalnih) sistema koji se javljaju u prirodi. U tom smislu, primena generativnih algoritama omogućava stvaranje različitih obrazaca teselacije prostora kao što su:

- voronoi dijagrami,
- Vejr-Felan struktura,
- aperiodično popločavanje,
- kreking teselacija.

*Voronoi dijagrami* odnosi se na specijalan tip dekomponovanja metričkog prostora determinisan rastojanjima od definisanog diskretnog skupa tačaka  $c$  u prostoru. Svaka tačka iz skupa  $c$  obrazuje ćelije voronoi dijagrama, odnosno skup tačaka koji je najbliži datoj tački iz skupa  $c$ . Voronoi ćelije mogu biti konveksni poligoni ili poliedarska tela, u zavisnosti da li je princip teselacije primenjen na skup tačaka u ravni ili prostoru. U zavisnosti od skupa tačaka koji definišu dijagram, voronoi ćelije može imati različite oblike. Voronoi dijagrami primenjuju se u brojnim naučnim disciplinama uključujući satelitsku navigaciju, mapiranje životinjskih staništa kao i u prostornom planiranju i GIS aplikacijama. Pojedini kompleksni paterni u prirodi kao što su oblik ćelija u tkivima ili šare na krznu žirafi, mogu se predstaviti voronoi dijagramima. Primena 3D voronoi dijagrama pruža velike mogućnosti u istraživanju arhitektonske forme. Neka od istraživanja generativnih alata u arhitekturi u projektima Endru Kudlesa (Andrew Kudless) kao što su *C\_Wall* i *N\_Table*, bazirana su na primeni voronoi dijagrama (slika 192).

*Vejr-Felan struktura* je način dekomponovanja prostora na ćelije jednakih zapremina na takav način da je njihova zajednička površina minimalna. Vejr-Felan struktura je poznata kao najbolje rešenje Kelvinovog problema, odnosno najefikasniji način pakovanja



Slika 192

Dekompozicija prostora voronoi ćelijama. Gore: način generisanja voronoi ćelija za dati skup tačaka. Stranice ćelija su upravne na duž koje spajaju susedne tačke. Dole: generativno istraživanje *C\_Wall* (2006) primenom 3D voronoi paternu Endru Kudlesa.

pene<sup>381</sup>. Vejr-Felan struktura se sastoji se od dva poliedarska tela: nepravilnog dodekaedra i tetrakaidekaedron. Takav način u prirodi javlja se kao način samo-organizacije pojedinih hemijskih struktura i kristala, a kao što je već pomenuto primenjen je kao model teselacije i strukturalnog rešenja u projektu Nacionalnog plivačkog centra u Pekingu 2008. godine. Isti generativni algoritam Kris Bos (Chris Bosse), glavni arhitekta na projektu Nacionalnog plivačkog stadiona, primenjuje i u okviru projekta *Digital Origami* na UTS univerzitetu u Sidneju 2007. godine. Projekat Digital Origami sačinjen je od 3500 ćelija Vejr-Felan strukture i ima za cilj da ukaže na mogućnosti primene kompleksnih trodimenzionalnih elemenata u enterijerskim intervencijama (slika 193).

Slika 193

Dekompozicija prostora poliedarskim telima Vejr-Felan strukture u projektu *Digital Origami* (2007) na UTS univerzitetu u Sidneju.



Pojam *aperiodičnog popločavanja* odnosi se na popločavanje ravni pločicama koje nemaju translacionu simetriju. Primenom aperiodičnih pločica, može se uočiti ponavljanje određenih paterna, ali ne na periodičan način. Patern aperiodičnog popločavanja pronađen je kao model organizacije strukture materijalnih sistema kao što je geometrijska organizacija kvazikristala. Kao što je već pomenuto,

<sup>381</sup> Dva fizičara Denis Vejr (Denis Weaire) i Robert Felan (Robert Phelan) su 1993. godine došli do otkrića da Vejr-Felan strukture koje je ponudilo bolje rešenje za takozvani Kelvinov Problem.

aperiodično popločavanje upotrebljeno je kao osnovni motiv u dekomponovanju fasadnog platna u projektima Ragata i Mek Dugala za *Storey Hall* i studija *Lab Architecture* za projekat *Federation Square* (slika 116). Eksperimentalna istraživanja forme Mark Fornsa (Marc Fornes) primenom kompjutacionog dizajna na projektima *Aperiodic Vertebrae* i *Aperiodic Series*, ukazuju na nove mogućnosti i napredak u primeni generativnih algoritama baziranih na aperiodičnom popločavanju (slika 194).

Slika 194

Geneativna istraživanja Mark Fornsa *Aperiodic Vertebrae* (levo) i *Aperiodic Series* (desno) baziranog na Dancerovom 3D aperiodičnom paternu (Danzer tiles).



*Kreking teselacija* u računarskoj grafici se odnose na primenu algoritama koji simuliraju generisanje linija prslina na površi krutih materijala kao što su osušena zemlja, staklo ili keramika<sup>382</sup>. Različite paterne moguće je uočiti u zavisnosti od svojstva materijala i oblika tela. Kreking teselacija može se simulirati u zavisnosti od različitih predefinisanih parametara. Bendžamin Aranda (Benjamin Aranda) i Kris Laš (Chris Lasch) ponudili su konceptulani okvir kreking teselacije kao generatora forme u arhitekturi. Prema Arandi i Lašu kreking algoritam se odnosi na metod defragmentacije površi ili volumena na samoslične geometrijske figure rekurzivnom procedurom. Rekurzivno pravilo kreking algoritma koji primenjuju Aranda i Laš bazirano je na povezivanju temena poligonalnog objekta sa svojim geometrijskim težištem. Kreking teselacija nastaje

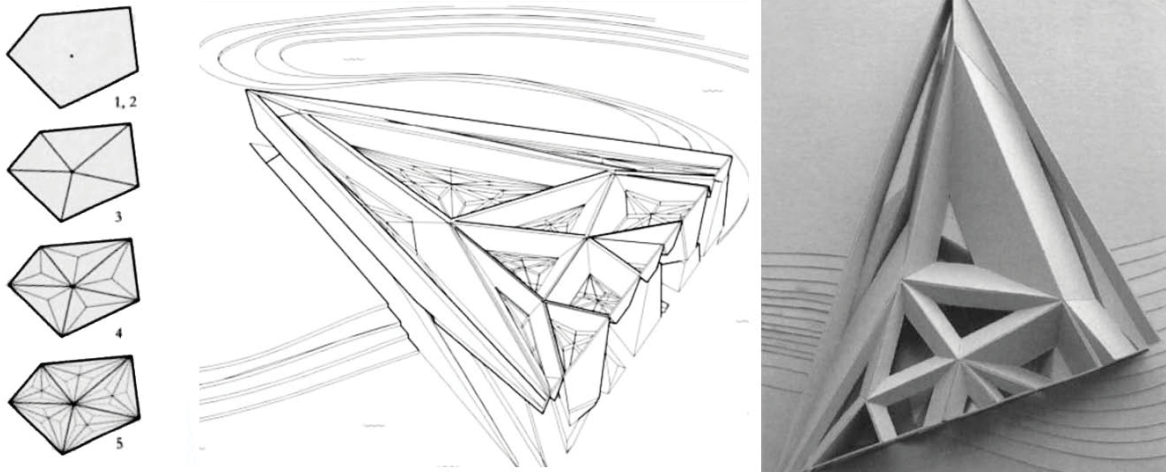
<sup>382</sup> (Iben & O'Brien, 2000, str. 198)

procesom iteracije za dato rekurzivno pravilo. U konkursnom projektu za Muzej Busan na reci Nakdong (2004), Aranda i Laš koriste kreking teselaciju kao način za generisanje forme, dekomponovajući inicijalan oblik trostrane prizme (slika 195).

Slika 195

Primena kreking teselacije prema Arandi i Lašu.

Levo: Prikaz geometrijske teselacije kroz tri iteracije kreking algoritmom. Sredina i desno: kreking teselacija u genezi forme konkursnog projekta za Muzej Busan,

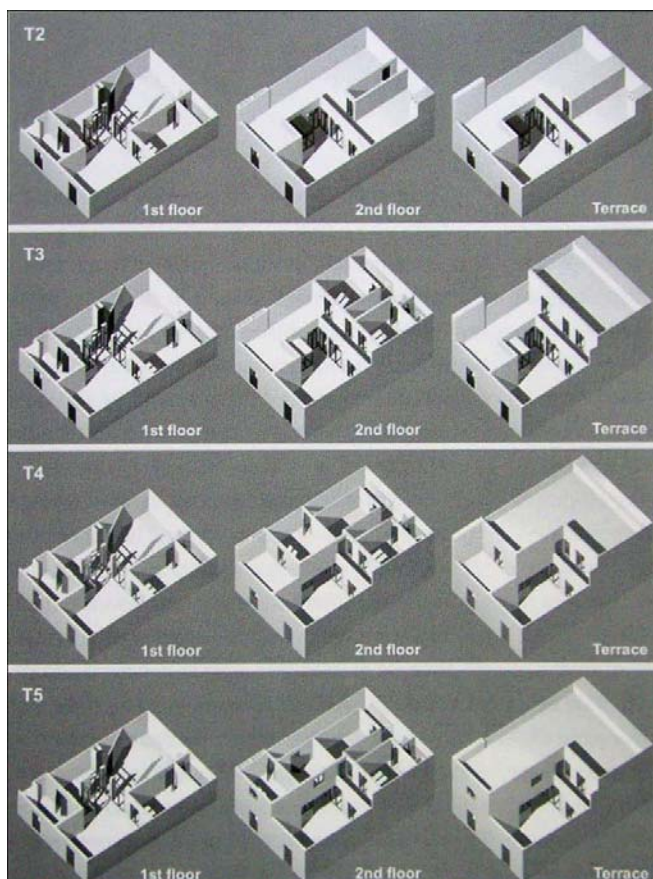


**Sistemi bazirani na pravilima** (rule-based systems) koriste se kao način za čuvanje i manipulaciju podacima u svrhe interpretacije informacija na željeni način. Sistemi bazirani na pravilima sastoje se od inicijalnih podataka, skupa pravila koja se na njih primenjuju i načina interpretiranja podataka. Generisanje geometrijskih oblika primenom sistema baziranih na pravilima odnosi se na primenu generativnih algoritama, gde se primenom određenog pravila ili procedure kroz proces iteracije, konstantno razvija forma. Jedna od osnovnih karakteristika kompleksnih sistema je da se primenom jednostavnih pravila mogu dobiti složene i emergentne forme, iskorišćena je kao jedan od osnovnih koncepata instrumentalnog pristupa kompleksnosti u arhitekturi. Dva osnovna tipa sistema bazirana na pravilima koji se koriste kao tehnike kompjucionog dizajna u arhitekturi su:

- Gramatika oblika,
- L-Sistemi.



*Gramatika oblika* je vrsta sistema baziranog na pravilima za generisanje geometrijskih oblika kroz dva koraka: prepoznavanje datog oblika i njegove eventualne zamene drugim oblikom<sup>383</sup>. Gramatika oblika sastoji se od skupa pravila koja se rekurzivno primenjuju na inicijalni oblik. Pravilom se definiše načina na koji se određeni oblik transformiše ili zamenjuje drugim. Gramatika oblika je jedan od prvih načina primene generativnih algoritama u arhitekturi i bio je baziran na radu Džordž Stinija (George Stiny) i Džejms Gipsa (James Gips) iz 1971. godine. Prve dve decenije gramatika oblika primenjivana je kao analitički metod<sup>384</sup>. Primenu gramatike oblika kao metoda za generativna istraživanja forme je među prvima ukazao Žoze Duarte (José Duarte) 1998. godine, koristeći se postojećim projektima kuća *Malagueira* arhitekta Alvara Size<sup>385</sup> (slika 196).



Slika 196

Projektantske varijacije bazirane na projektu kuće *Malagueira* Alvara Size, primenom gramatike oblika, prema Žoze Duarteu.

<sup>383</sup> (Tapia & Duarte, 1999)

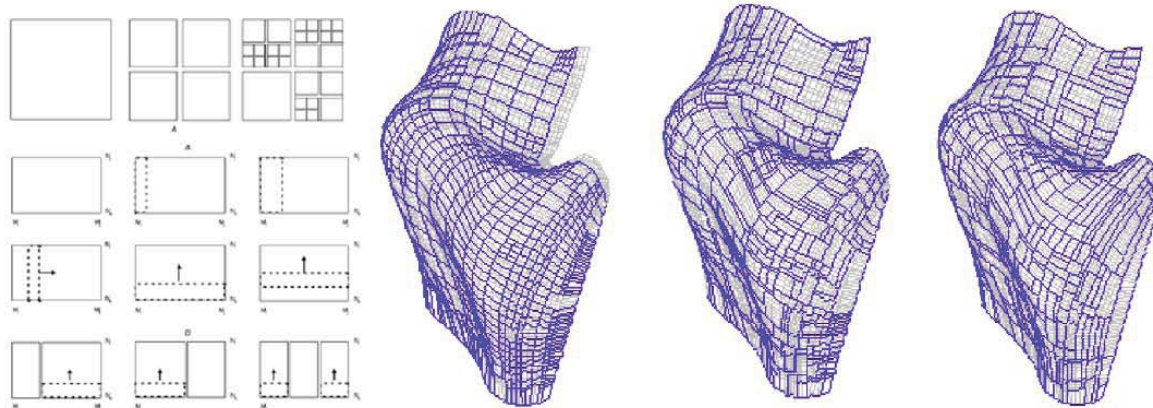
<sup>384</sup> (Knight, 1999)

<sup>385</sup> (Duarte, 1998)

Gramatika oblika pruža različite perspektive u primeni generativnog dizajna. U projektu *Experience Music*, Frenk Gerija (2002), gramatika oblika je istovremeno primenjen kao alat za generisanje kompleksnih paterna na dvostruko zakrivljenoj fasadi i kao metod optimizacije (slika 197). Dvostruko zakrivljena površ fasade je prvo diskretizovana na manje porši u ortogonalnom rasteru. Gramatika oblika je dalje definisana na takav način da se definišu regioni u kojima je zakrivljenost površi u granicama date tolerancije. Na taj način generisan je velik broj varijacija podele fasade. Proces fabrikacije uveo je dodatna ograničenja u pogledu veličine panela, koja su uvedena kao dodatna pravila. Finalni patern panelizacije površi je jedna od optimalnih varijacija dobijenih primenom generativnog algoritma gramatike oblika.

Slika 197

Pravila generisanja paterna definisana gramatikom oblika i reprezentativni rezultati teselacije površi u projektu *Experience Music*, Frenk Gerija (2002)



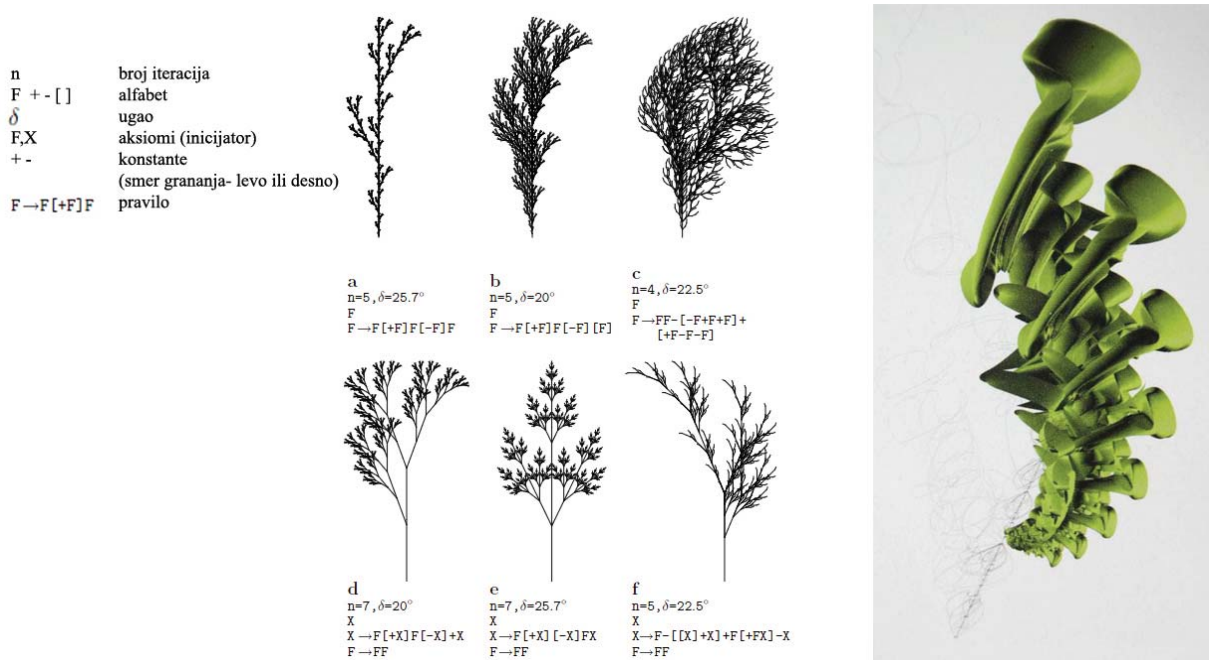
Generativni pristup modelovanju u urbanim okruženja primenom gramatike oblika, omogućen je kreiranjem softvera *CityEngine* 2008. godine. *CityEngine* koristi jedinstveni programski jezik *CGA Shape Grammar* korišćen za proceduralno modelovanje u urbanizmu i arhitekturi. Modelovanje *CityEnginom* omogućava postepeno i konstantno dodavanje detalja kompleksnim modelima gradova pomoću seta pravila procesom iteracije.

Pojam *L-sistem* ili *Lindenmajer* sistem odnosi se na varijantu *formalne gramatike*<sup>386</sup> koja se najčešće koristi kao model za simulaciju procesa rasta biljaka. L-sistem se sastoji od inicijalnog stringa i pravila kojim se pojedini simboli u stringu zamjenjuju drugim simbolima. Geometrijskom interpretacijom L-sistema mogu se generisati fraktalni oblici. Rekurzivna logika L-sistema vodi ka samosličnim formama koje su u prvi mah našle primenu u simulaciji rasta biljaka<sup>387</sup>.

L-sistemima se mogu generisati kompleksne geometrijske forme primenom pravila i procesom iteracije. Svakom iterativnom koraku može se dodeliti diskretna vremenska jedinica *t*, koja beleži evolutivni razvoj forme. Karl Ču razvija teorijske okvire *genetske arhitekture* oslanjajući se na generativne tehnike simulacije evolutivnih sistema. Eksperimentalne forme *X-phylum* (slika 198) i *Phylogon* koje Ču razvija tokom 90-tih godina, nastaju primenom generativnih algoritama baziranih na L-sistemima.

Slika 198

Levo: primeri modelovanja botaničkih struktura primenom L-sistema prema Lindenmajeru i Prusinkijeviču. Desno: eksperimentalna forma *X-phylum* (1999) Karl-Čua nastala primenom generativnih algoritama baziranih na L-sistemima



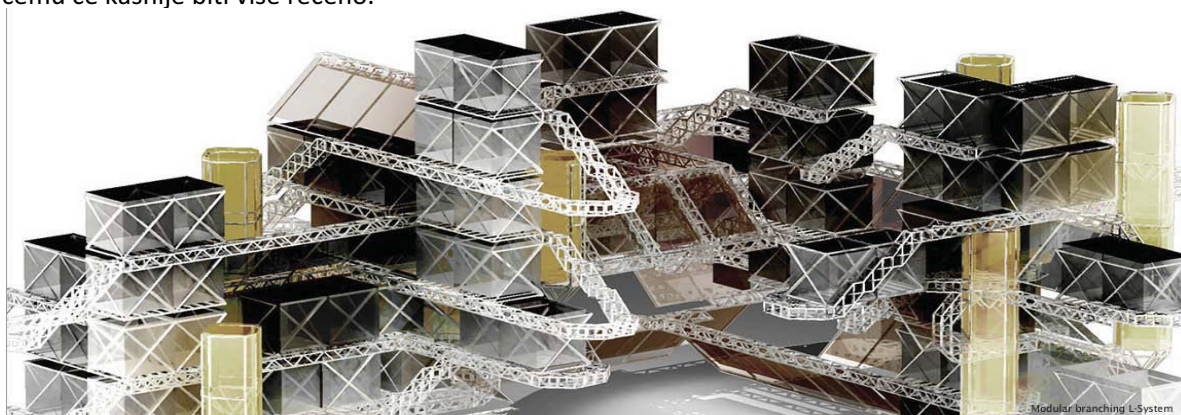
<sup>386</sup> L-sistem nastao je pod uticajem rada o formalnoj gramatici Noama Čomskog 1957. godine. Rad Noama Čomskog bio je uticajan ne samo za modernu lingvistiku već je našao primenu i u načinu zapisivanja sintakse u računarsko-informatičkim teorijama. Mađarski biolog Aristid Lindenmajer (Aristid Lindenmayer) je 1968. godine razvio sopstveni matematičko-informatički model za paralelni prepis stringa, po kojem je L-sistem i dobio ime.

<sup>387</sup> (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 2004)

Tokom prve decenije XXI veka Majkl Hansmejer (Michael Hansmeyer) je kroz niz projekata istraživao potencijal generativnih algoritama baziranih na L-sistemima u procesu geneze arhitektonske forme. U svojim projektima Hansmejer potencijal L-sistema istražuje sa dva aspekta. Prvi se odnosi na vizualizaciju stringova L-sistema i karakteristika dizajna koje se takvim načinom mogu generisati. Drugi aspekt se bavi problemom modularnosti sadržane u logici L-sistema i načina na koji se može postići interakcija sa okruženjem<sup>388</sup> (slika 199). Mogućnosti L-sistema u kreiranju algoritama kojima se simulira morfo-genetski process u biološkim sistemima iskorišćen je za kreiranje genetskih algoritama kao i za razvoj integrisanog, generativno-performativnog pristupa modelovanju o čemu će kasnije biti više rečeno.

Slika 199

Modularno razgranati L-sistem, prema Majkl Hansmejeru.



**Samo-organizovanost** sistema u kompjutacionom dizajnu odnosi se na primenu matematičko-informatičkih modela koji simuliraju osobine samo-organizovanosti kompleksnih adaptivnih sistema. Drugim rečima, samo-organizovani sistemi simuliraju adaptivni dinamički proces u kojem se sistem menja, prilagođava i održava bez spoljašnjih uticaja ili kontrole. Dva osnovna matematičko-informatička modela samo-organizovanog sistema koja su našla primenu u arhitekturi su:

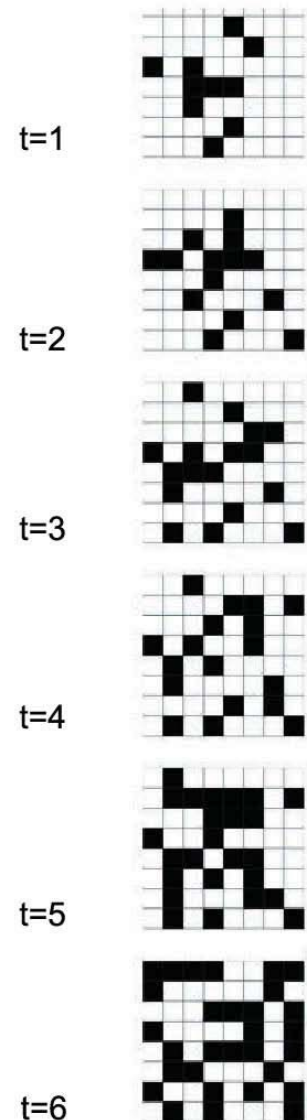
- celularni automati i
- multi-agentni sistemi

<sup>388</sup> Videti detaljnije online portfolio Majkl Hansmejera: [http://www.mh-portfolio.com/L\\_Systems/ls2.html](http://www.mh-portfolio.com/L_Systems/ls2.html) (pristupljeno 24. avg. 2010)



*Celularni automat* je matematički model fizičkih sistema u kojima je prostor i vreme diskretizovano i fizičke veličine su uzete iz konačnog skupa diskretnih vrednosti<sup>389</sup>. Celurani automat se sastoji od uniformne matrice, sa diskretnim promenljivama za svaku ćeliju (slika 200). U takvom modelu razvoj se odvija kroz diskretne vremenske korake, tako što se vrednost promenljive za svaku ćeliju menja pod uticajem vrednosti promenljivih u susjednim ćelijama u prethodnom koraku. Promenljive se ažuriraju u svim ćelijama simultano u zavisnosti od promenljivih u okolnim ćelijama a prema definisanim lokalnim pravilima. Istraživanje i primena diskretnih modela celularnih modela je direktno vezana i uslovljena razvojem računarstva. Iterativna procedura primenjuje se za svaku ćeliju nezavisno, a definisano lokalnim pravilom, odnosno funkcijom. Građevinski inženjer i pionir u informacionim tehnologijama Konrad Zuse piše knjigu 1969. godine *Rechner Raum (računajući prostor)* u kojoj postavlja teoriju da se svi zakoni prirode mogu diskretizovati i na taj način se čitav univerzum može posmatrati kao izlazni podatak determinističke kalkulacije ogromne celularne automate. Zuseova knjiga postavila je temelje teoriji digitalne fizike, koja je zajedno sa brojnim implikacijama celularnih automata u različitim naučnim disciplinama uticala na stvaranje nove paradigme prostora. Celularni automati ponudili su okvir za ideju *diskretnog prostora-vremena*, koji je sačinjen od izolovanih jedinica (tačaka ili ćelija) i čije se promene mogu posmatrati u diskretizovanim vremenskim trenucima.

Celularni automati pomažu da se bolje razumeju neki fenomeni koji se javljaju u samo-organizovanim sistemima u prirodi. Obrasci ponašanja, strukture i razvoja bioloških sistema vrlo često se vođeni jednostavnim lokalnim pravilima, zbog čega se mogu



Slika 200

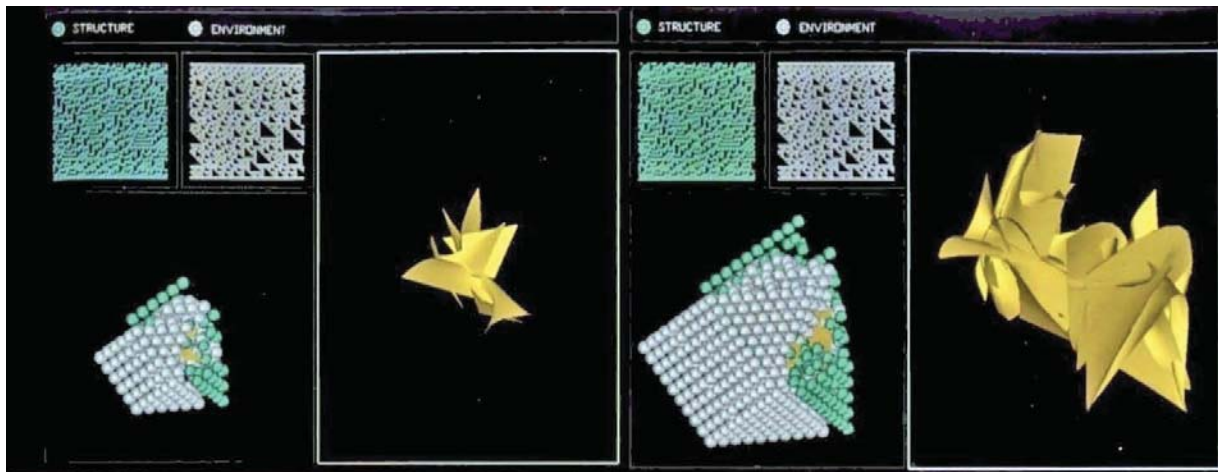
Primer razvoja dvodimenzionalnog celularnog automata u ortogonalnom matrici.

<sup>389</sup> (Wolfram, 1983)

dobro opisati modelima celularnih automata<sup>390</sup>. Jednostavna nelinearna pravila mogu dovesti do nastanka kompleksnih obrazaca kakvi postoje u biljnom i životinjskom svetu<sup>391</sup>. Nastanak i razvitak celularnih automata bili su ključni za razvoj genetskih algoritama i kompjuterskih modela koji simuliraju veštački život i imaju značajnu ulogu u razvitku sistema sa veštačkom inteligencijom<sup>392</sup>. Celularni automati su prepoznati kao način na koji se mogu posmatrati kompleksni obrasci i paterni ponašanja u samo-organizujućim sistemima u kojima su poznata sva pravila koja definišu ponašanje i interakciju ćelija.

Slika 201

Primena celularnih automata u studijskom projektu Džona Frejzera i Manita Rastongija. Razvoj strukture trodimenzionalnog celularnog automata kontrolisan je međusobnom interakcijom dvodimenzionalnih celularnih automata koji kontrolišu strukturu (zeleno) i okruženje (siva boja)



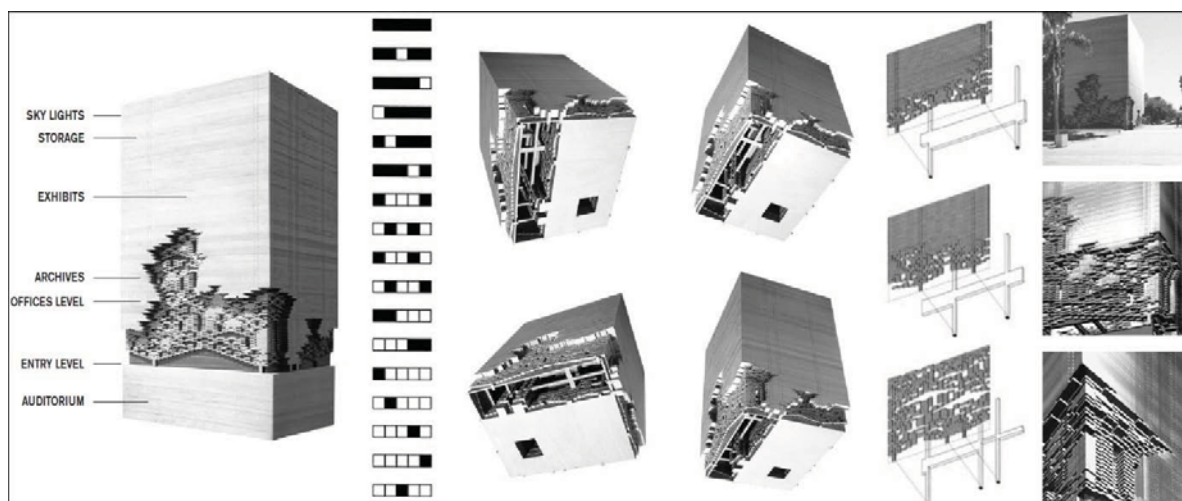
Celularni automati kao model evolutivnog razvoja arhitektonske forme senzitivne na okolinu, prvi primenjuje Džon Frejzer sa saradnicima na studijskom programu *Diploma Unit 11* na AA škole u Londonu početkom 90-tih godina. Frejzer se prvi put susreće sa celularnim automatima 60-tih godina u matematičkoj laboratoriji, ali ih tek početkom 90-tih godina koristi kao alat za generativno istraživanje adaptivnih formi. Slično celularnom automatu *Game of Life* Džona Konveja, evolucija i razvoj čitave strukture kontrolisan je lokalnim pravilima koje određuju stanje susednih ćelija za svaku

<sup>390</sup> Ibid.

<sup>391</sup> Ibid.

<sup>392</sup> Najpoznatiji primer modela celularnih automata je "Igra života" (Game of Life) koju je otkrio britanski matematičar Džon Konvej 1970. godine. Pomenuti model je jedna od najjednostavnijih primera samo-organizujućih sistema u kojem se iz veoma jednostavnih pravila mogu pojaviti kompleksni paterni i ponašanja strukture.

iteraciju. U studijskom projektu Frejzerovog studenta-saradnika Manit Rastogija (Manit Rastogi), dva dvodimenzionalna celularna automata korišćeni su za generisanje trodimenzionalnog celularnog automata. Jedan je kontrolisao razvojnu strukturu a drugi okruženje. Razvoj strukture trodimenzionalnog celularnog automata kontrolisan je međusobnom interakcijom dvodimenzionalnih celularnih automata (slika 201).



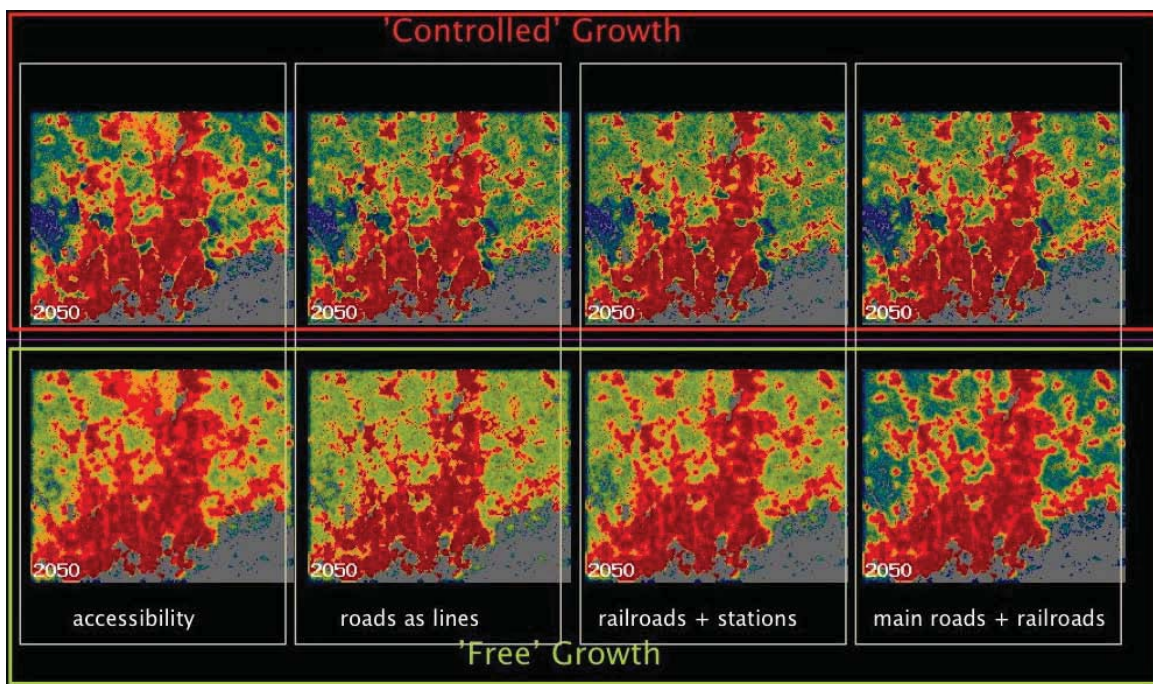
Generativni pristup modelovanju primenom celularnih automata primenjuju i druge arhitektae tokom poslednje dve decenije: Karl Ču, Ingebor Roker (Ingeborg M. Roker) i Majk Silver (Mike Silver). Konkurnsi projekat za Univerzitetski muzej umetnosti i dizajna u San Hozeu Majk Silvera (2003), je primer realizacije konkretnog arhitektonskog zadatka primenom celularnih automata (slika 203). U pomenutom projektu Silver koristi dvodimenzionalni celularni automat od pet ćelija za realizaciju kompleksnog paterna na fasadi sačinjenog od staklenih i kamenih blokova. U te svrhe kreiran je softver Automason Ver 1.0. Na taj način elimisana je potreba za izvođačkim crtežima složenih paterna fasade na papiru, a istovremeno je omogućeno jednostavno praćenje i nadzor izgradnje takve strukture pomoću Smart Telefona koji podržavaju primenu pomenutog softvera<sup>393</sup>.

Slika 202

Primena celularnih automata u generisanju fasade: Konkurnsi projekat za Univerzitetski muzej umetnosti i dizajna u San Hozeu (2003) Majk Silvera.

<sup>393</sup> (Silver, 2004, str. 51)

Emergencija i samo-organizovanost je tokom 90-tih godina prepoznata kao jedna od karakteristika urbanističkih razvoj gradova. Simulacija kompleksnih urbanističkih sistema primenom celularnih automata se pojavila već tokom 90-tih godina, ali je modelovanje rasta gradova pomoću CA, relativno nov pristup. U svojoj knjizi *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models* (2005), Majkl Beti je prikazao neke od mogućnosti primene celularnih automata u modelovanju simulacije rasta gradova (slika 203).



*Multi-agentni sistem* (MAS) je sistem komponovan od velikog broja interaktivnih inteligentnih agenata. Inteligentni agent je pojam iz oblasti veštačke inteligencije i odnosi se na autonomni entitet koji posmatra i reaguje na okruženje i usmerava svoje aktivnosti ka postizanju određenog cilja. Multi-agentni sistemi se koriste za rešavanje problema koje bi bilo nemoguće rešiti primenom individualnog agenta ili monolitnog sistema. Agenti u multi-agentnom sistemu ispoljavaju tri osnovne karakteristike: autonomnost agenata, lokalni pogled na sistem (nemogućnost sagledavanja čitavog sistema) i decentralizacija

Slika 203

Predviđanje urbanog razvoja Helsinkija za 2050. godinu primenom SLEUTH modela celularnog automata. SLEUTH (Slope, Land cover, Exclusion, Urbanization, Transportation, Hillshade) model korišćen je za predviđanje razvoja nekoliko desetina metropola širom sveta.

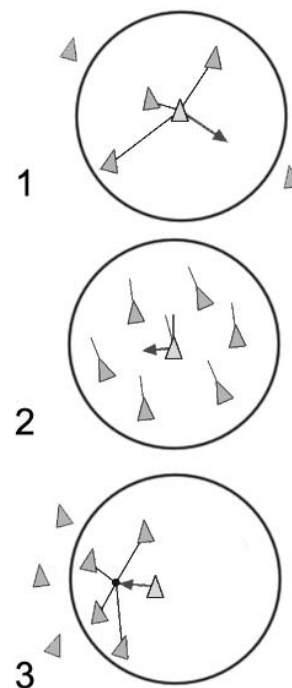


(nepostojanje hijerarhijske struktura među agentima)<sup>394</sup>.

Primena multi-agentnih sistema u arhitekturi bazirana je na apliciranju simulacije inteligencije jata (swarm intelligence). Pojam *inteligencije jata* odnosi se na opisivanje ponašanja decentralizovanog samo-organizovanog, veštačkog ili prirodnog sistema. Inteligencija jata razvijen je kao koncept koji se primenjuje u oblasti veštačke inteligencije za simulaciju inteligentnog ponašanja u okviru prirodnih populacija. Inteligencijom jata mogu se simulirati pojave kao što su rojevi insekata, jata ptica ili riba, krda životinja ili kretanja ljudi i urbana dinamička okruženja.

Algoritmi za simulacije inteligencije jata počinju se razvijati od 1986. godine kada je Krejg Reynolds (Craig Reynolds) razvio prvi program koji simulira kretanje jata ptica<sup>395</sup> (slika 204). Modelovanje simulacijom inteligencije-jata našlo je primenu u različitim oblastima od filmske industrije specijalnih efekata preko logistike, robotike, transportnih sistemima i GIS-a.

Inteligencija jata i modelovanje multi-agentnim sistemima prepoznata je kao važna urbanistička paradigma u poslednjih nekoliko godina. Multi-agentni sistemi su prepoznati kao važan model u simulaciji budućeg rasta i razvoja gradova. Takvi modeli su danas naročito važni s obzirom na nepredvidiv razvoj gradova pod uticajem ogromnih migracije stanovništva u gradske sredine. Kako Manuel Delanda (Manuel DeLanda) uočava, inteligentnim agentima mogu biti prikazane različiti nivoi ponašanja socijalnih sistema. U tom smislu model multi-agentnih sistema može biti iskorišćen za razvoj i razumevanje procesa odlučivanja u razvoju gradova<sup>396</sup>. Projekat rekonstrukcije obale Melburna (*Melbourne Docklands*) arhitektonskog studija *Kokkugia* (2008) je jedan od prvih primera



Slika 204

Tri osnovna pravila za simulaciju ponašanja jata na osnovu pozicije i brzine agenatoboidova, prema Reynoldsu.

Pravilo 1: održavati minimalno rastojanje između susednih agenata.

Pravilo 2: usmeriti agenta ka pravcu koji imaju i ostali agenti u okruženju.

Pravilo 3: pomeriti agenta ka geometrijskom težištu agenata u okruženju.

<sup>394</sup> (Wooldridge, 2002)

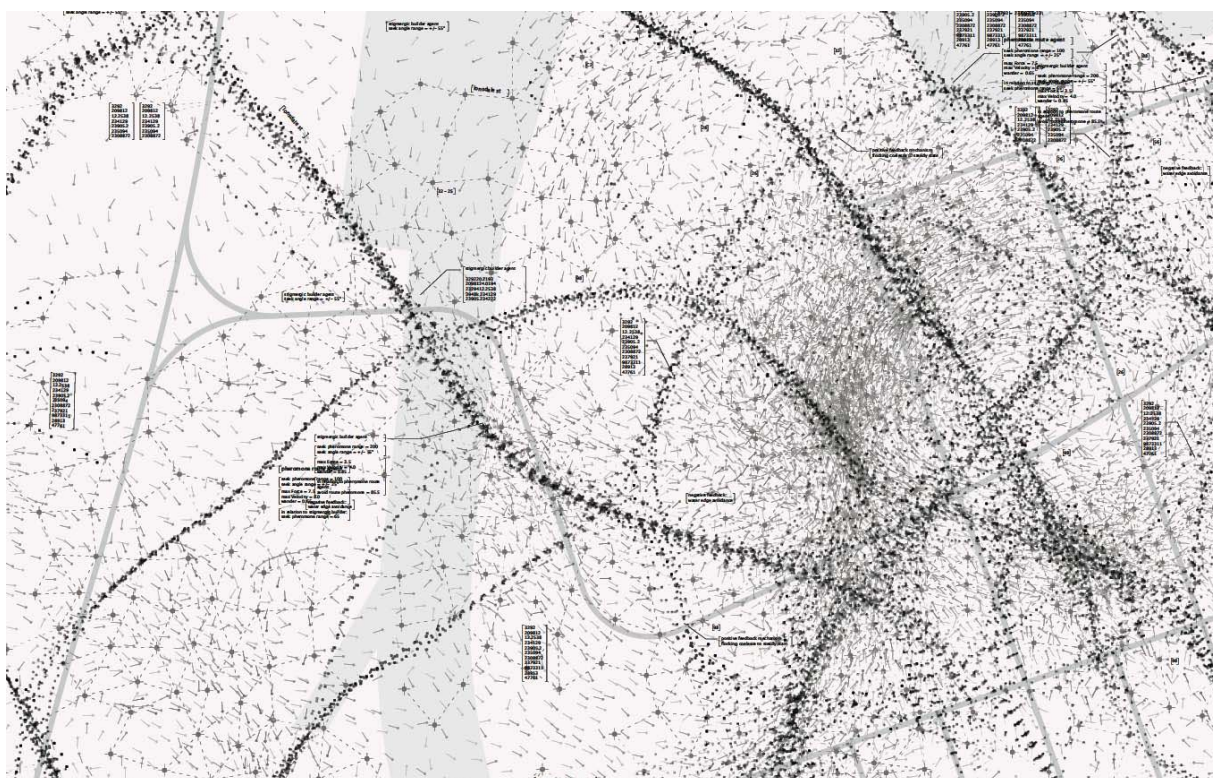
<sup>395</sup> Boidovi, naziv za agente u multi-agentnom sistemu Krejg Renoldsovog programa je i danas uobičajen naziv za inteligentne agente u okviru MAS-a.

<sup>396</sup> (Leach, 2009, str. 61)

primene simulacije jata u projektovanju urbanističkog razvoja (slika 205). Umesto simulacije zaposedanja arhitektonskih sadržaja trenutnom populacijom, studio *Kokkugia* u projektu *Melbourne Docklands* razvijaju fleksibilan samo-organizujući sistem: „primena logike jata u urbanizmu omogućava novi pristup: od kreiranja *master plana* (generalnog urbanističkog plana) do kreiranja *master algoritma*, kao urbanističkog alata. Takav prelaz označava promenu u koncepciji urbanističko planiranja baziranog na sukcesivnom donošenju odluka od većih ka manjim razmerama, ka simultanom procesu u kome skup odluka na lokalnom nivou intereaguje u generisanju kompleksnog urbanističkog sistema. Umesto projektovanja urbanističkog plana koji zadovoljava konačan skup kriterijuma, urbanističke instrukcije su programirane u skup agenata koji imaju mogućnost samo-organizacije“<sup>397</sup>.

Slika 205

Detalj sekvence iz simulacije multi-agentnog sistema u projektu *Melbourne Docklands* (2008), studija *Kokkugia*.



<sup>397</sup> Prema sajtu studija *Kokkugia*: <http://www.kokkugia.com/> (pristupljeno 20. avg. 2010)

### 3.4.2.4. Arhitektonski dizajn baziran na analizama performansi

Dizajn baziran na analizama performansi podrazumeva pristup generisanju arhitektonske forme u kome su osnovne projektantske intencije bazirane na optimizaciji performansi definisanih određenim kriterijumima. Pojam performansi postao je jedan od ključnih termina u savremenoj arhitektonskoj teoriji i praksi krajem XX veka i u širem kontekstu se odnosi na različite finansijske, tehničko tehnološke i kriterijume održivog razvoja koji utiču na ponašanje i oblik zgrade. Koncept dizajna baziranog na performansama potiče od 60-tih godina XX veka, kada se pojavljuju prvi digitalni alati koji simuliraju ponašanja objekta u datom okruženju. Jedan od prvih primera primene digitalnih alata za analizu performansi objekta razvijen je tokom 70-tih godina u okviru ABACUS-a, istraživačkog centra na univerzitetu *Strathclyde* u Glazgovu<sup>398</sup>. Programski paket PACE imao je mogućnost evaluacije koštanja, aktivnosti i iskorišćenosti prostora. ABACUS-ov projekat je već tada ponudio konceptualne okvire dizajnu baziranom na performansama, ali je tek razvoj digitalnih tehnologija početkom 90-tih godina omogućio da se takav pristup počne intenzivnije razvijati.

Za razliku od operativnog, parametarskog ili generativnog pristupa digitalnom dizajnu, performativni pristup se bazira na tehnikama optimizacije i simulacije ponašanja objekta u zavisnosti od predefinisanih kriterijuma. U tom smislu digitalni alati dizajna baziranog na performansama mogu se podeliti u dve grupe:

- digitalni alati za simulaciju ponašanja objekta u datom okruženju i
- digitalni alati za optimizaciju oblika u odnosu na predefinisane kriterijume.

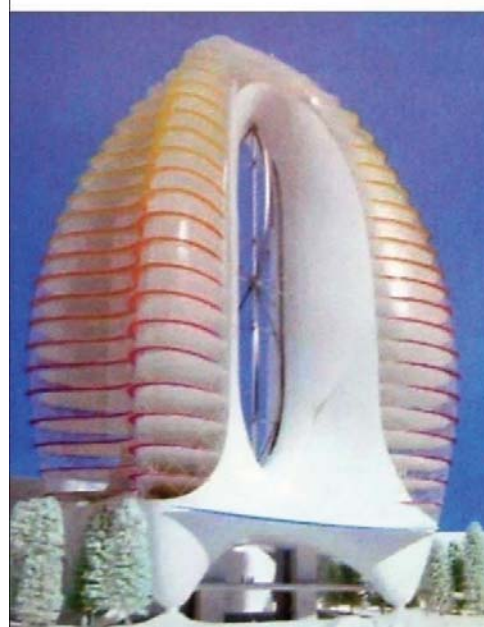
---

<sup>398</sup> (Kolarevic, 2005, str. 196)



Pod pojmom simulacije ponašanja objekta u datom okruženju podrazumeva se reprezentacija parametara u sistemu koji utiču na njen oblik i ponašanja u funkciji vremena. Proces simulacije je ključan za dizajn i analizu ponašanja kompleksnih materijalnih sistema u određenom vremenskom periodu<sup>399</sup>. U te svrhe najčešće se koriste CFD softveri (Computational fluid dynamics) kojima se mogu simulirati različita dinamička okruženja. Metoda konačnih elemenata (MEK na srpkom- engl: FEM, Finite element Method), je jedan od metoda diskretizacije u numeričkim analizama koje primenjuju CFD softveri, koji se intenzivno koristi u brojnim inženjerskim industrijama od aeronautike, preko bioinženjeringa, automobilske industrije, građevinarstva i arhitekture. CFD Softveri kao što su ANSYS, primenom MEK metode omogućavaju vizuelnu reprezentaciju uticaja sila na sistem u različitim dinamičkim okruženjima (termodinamičkim, elektromagnetnim, opterećenja i deformacije mehaničkog sistema).

Distribucija solarne energije ili strujanje vazduha su neki od ključnih parametara koji se koriste u CFD za analizu energetske efikasnosti fasadnih platna. Jedan od prvih primera primene CFD softvera za određivanje optimalnih performansi arhitektonskog omotača je projekat ZED (1995) arhitektonskog studija *Future Systems* (slika 206). ZED projekat razvijen je na ideji samoodrživog objekta koji koristi energiju vetra i solarnu energiju. Zakrivljen oblik fasade nastao je pod uticajima aerodinamičkih analiza koji minimalizuju uticaj vazdušnih strujanja na po obodima zgrade i usmeravaju vetar ka središtu objekta gde se nalaze turbine za generisanje električne energije. Na samom prelazu XX u XXI vek nastalo je nekoliko objekata čiji je dizajn bio baziran na analizama performansi. Projekti Frenk Gerija za Gugenhajmov muzej u Bilbaou, Eksperience music u Sijetlu, Diznijeva koncertna dvorana u Los Anđelesu ili Piter Kukov i Kolin Furnijeov Kunsthaus u Gracu su primeri objekata u kojima je strukturalna optimizacija bila ključna za generisanje finalnog oblika objekta



Slika 206

Gore:CFD analiza strujanja vazduha firme Arup u projektu ZED, (1995) arhitektonskog studija *Future Systems*.

Dole: maketa objekta ZED sa formom nastalom kao rezultat analize performansi

<sup>399</sup> (Hensel, Menges, & Weinstock, 2010, str. 19)

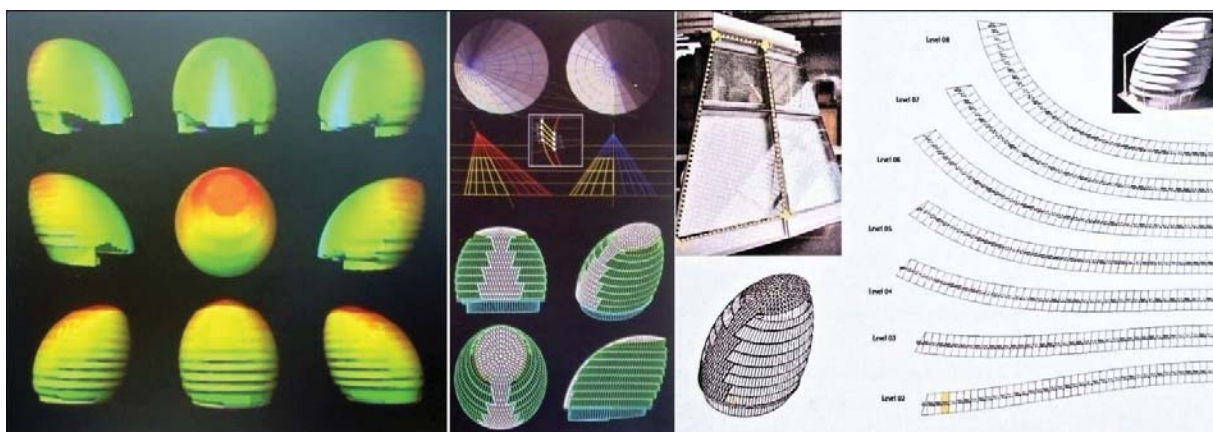


složene forme. Sferoidan oblik Fosterovog objekta GLA u Londonu (2002) nastao je kao rezultat analize više parametara: od akustičkih analiza enterijera, energetske efikasnosti omotača do strukturalne analize (slika 207). Finalan oblik objekta ima 25% manju površ od kocke identičnog volumena, a konfiguracija fasadnog platna je direktan rezultat analize insolacije. Konačan oblik spiralnih rampi u enterijeru dobijen je iz akustičkih analiza enterijera, a dvostruko zakrivljena površ fasadnog platna je dodatno racionalisana omotačem koji se sastoji od jednostruko zakrivljenih panela, čime su znatno redukovani troškovi izvođenja<sup>400</sup>.

Slika 207

Dizajn baziran na analizama performansi: Greater London Authority (GLA) London (2002) Foster+Partners.

Levo: solarna studija za GLA objekat. Sredina i desno: racionalizacija geometrije. Oblik objekta je prvo diskretizovan na segmente konusa, a zatim na kvadrove-četvorostrane poligone.



Pojam **optimizacije** odnosi se na pronalaženje najpovoljnijeg rešenja za dati problem u odnosu na predefinisani skup kriterijuma. Primena metoda optimizacije kao tehnike dizajna u procesu arhitektonskog stvaralaštva podrazumeva dizajn računarskog algoritma u kojem su definisani parametri i varijable koje vode do optimalnog rešenja. Na taj način može se posmatrati primena generativnih algoritama kao načina za pronalaženje optimalnog rešenja toroidalne forme konstrukcije za natkrivanje Britanskog muzeja u Londonu (1999-2000). Generativnim algoritam rešavao je problem optimizacije oblika površi na takav

<sup>400</sup> Gausove analize zakrivljenosti su jedan od ključnih metoda u strukturalnoj optimizaciji arhitektonskog omotača objekta složenih geometrijskih površi. Većina objekata Frenk Gerija je troškove izgradnje redukovala primenom gausove analize, gde je finalan oblik optimizovan na skup pravoizvodnih i razvojnih površi.

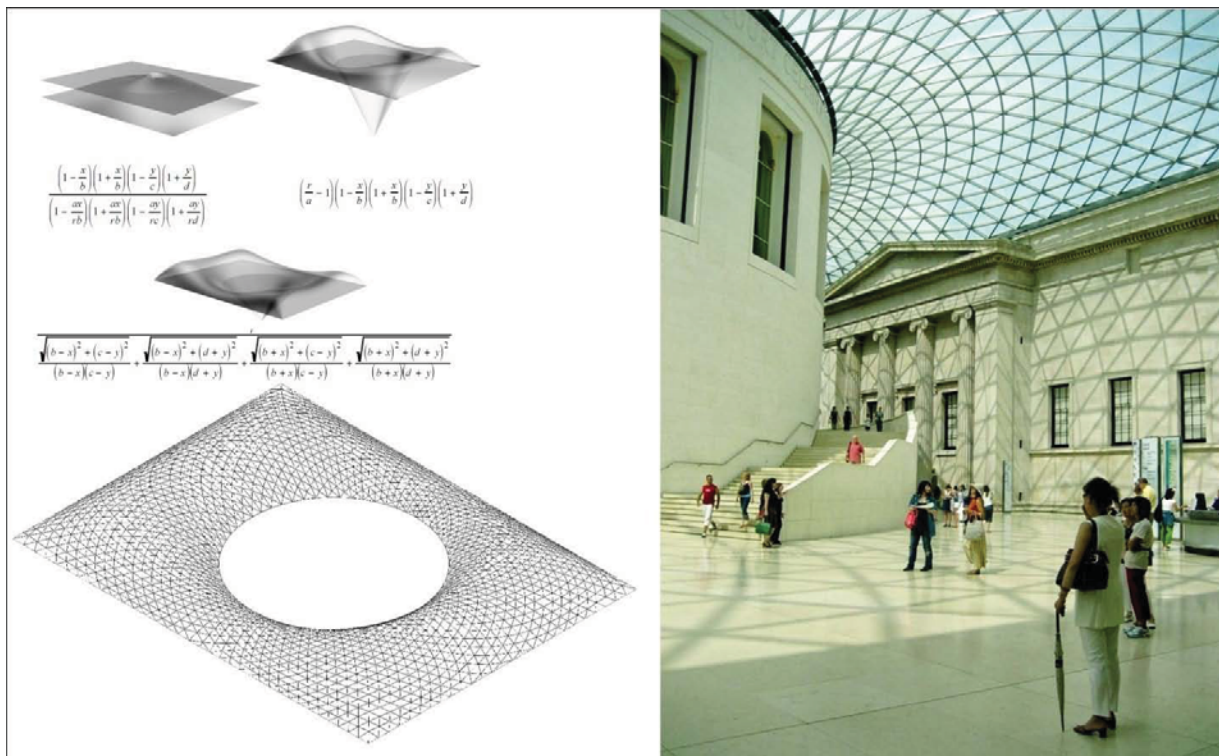
način, da konstrukcija bude samonosiva, uz istovremeno redukovanje horizontalnih sila u predefinisanim osloncima (slika 208).

Pozicija čvorova rešetkaste konstrukcije definisan je inicijalnim rasterom u odnosu na projekciju date površi. Pomoću tri algebarske jednačine definisane su tri površi nad datim osloncima, koje individualno zadovoljavaju neke od predefinisanih kriterijuma. Algebarske jednačine su iskorišćene za pravljenje algoritma baziranom na principima dinamičke relaksacije, gde je procesom iteracije dobijena konačna pozicija čvorova rešetkaste konstrukcije toroidalne površi<sup>401</sup>.

Slika 208

Optimizacija oblika površi i određivanje pozicije čvorova rešetkaste konstrukcije u projektu natrivanja Britanskog muzeja u Londonu (1999-2000), Foster+Parters.

Levo gore: generisanje površi superponiranjem površi koje zadovoljavaju neke od predefinisanih kriterijuma. Levo dole: Izometrijski prikaz strukturalnog rastera nakon dinamičke relaksacije. Desno: fotografija izvedenog natrkivanja.



Metaheuristički algoritmi predstavljaju posebnu klasu algoritama koji se intenzivno koriste kao alat u procesu inženjerskog dizajna<sup>402</sup>. Metaheuristički algoritmi prate - jednostavan set pravila koji daju približna i aproksimirana rešenja. Genetski algoritmi predstavljaju posebnu klasu evolutivnih algoritama koji se

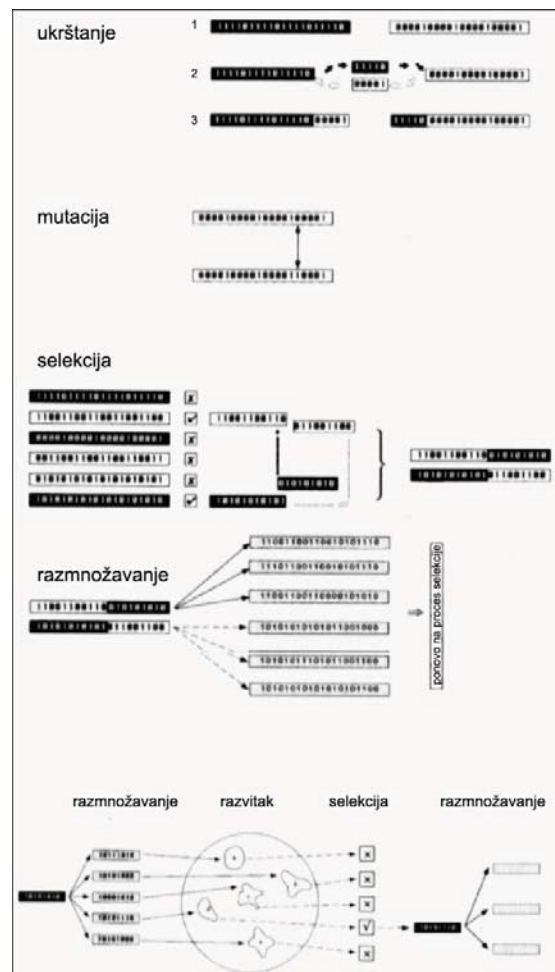
<sup>401</sup> (Williams, 2001, pp. 435-439)

<sup>402</sup> (Fasoulaki, 2008, str. 19)

istovremeno koriste kao alat optimizacije i za generisanje forme u inženjerskom i industrijskom dizajnu. Koncept genetskih algoritama razvio je Džon Holand kao metaheuristički metod rešavanja problema adaptacije i optimizacije simulirajući teoriju evolucije bioloških sistema. Genetski algoritmi transformišu set individualnih objekata koji predstavljaju inicijalnu populaciju u novu generaciju, koristeći se Darwinovim principom reprodukcije i opstanka najpodesnijih jedinki.

Džon Frejzer je prvi arhitekta koji je istraživao mogućnosti genetskih algoritama u procesu arhitektonskog dizajna. Frejzerova istraživanja bila su inspirisana fundamentalnim formativni procesom i informativnim sistemom prirode, a model u arhitekturi je posmatran kao vrsta veštačkog života (Artificial life)<sup>403</sup>. Prema Frejzeru teorijski okviri fenomena kompleksnosti koji je ponudio Džon Holand, napravio je napredak ka generalizaciji koncepcije adaptivnog modela u odnosu na specijalizovan pristup u biologiji<sup>404</sup>. U tom smislu adaptivnost podrazumeva progresivnu modifikaciju date strukture ponavljanjem radnje ili funkcije određenih operatora<sup>405</sup>. Drugim rečima adaptivni model podrazumeva primenu *genetskog algoritma* koji koristi iterativni proces za generisanje emergentnih formi nastalih u odnosu na zadate performanse i simulirano okruženje. Prema Frejzeru, genetski algoritam je *klasa paralelnih evolutivnih adaptivnih procedura* koje imaju strukturu stringa<sup>406</sup> (slika 209). Oni predstavljaju kodiranu formu parametara koji kontrolišu rešavanje određenog problema. Slično hromozomima u prirodi, proces evolucije dobija se ukrštanjem i mutacijom informacija.

Genetski algoritmi Frejzer opisuje kao paralelna procedura, jer se bave pretraživanjem u okviru populacije potencijalnih rešenja umesto nasumičnog pretraživanja ili podešavanja specifično odabrane varijante. Te procedure se smatraju adaptivnim jer se



Slika 209

Prikaz procesa kodiranja evolutivnog procesa genetskim algoritima. Diagrami prikazuju način digitalnog ukrštanja, mutacije, selekcije i reprodukcije podataka pomoću binarnog stringa. Prema Rejmond Čui, Frejzerovom studentu saradniku na Diplomski unit 11 (1989-1994), a po uzoru na Holandov model.

<sup>403</sup> (Frazer, 1995, str. 11-14)

<sup>404</sup> Ibid. str. 57.

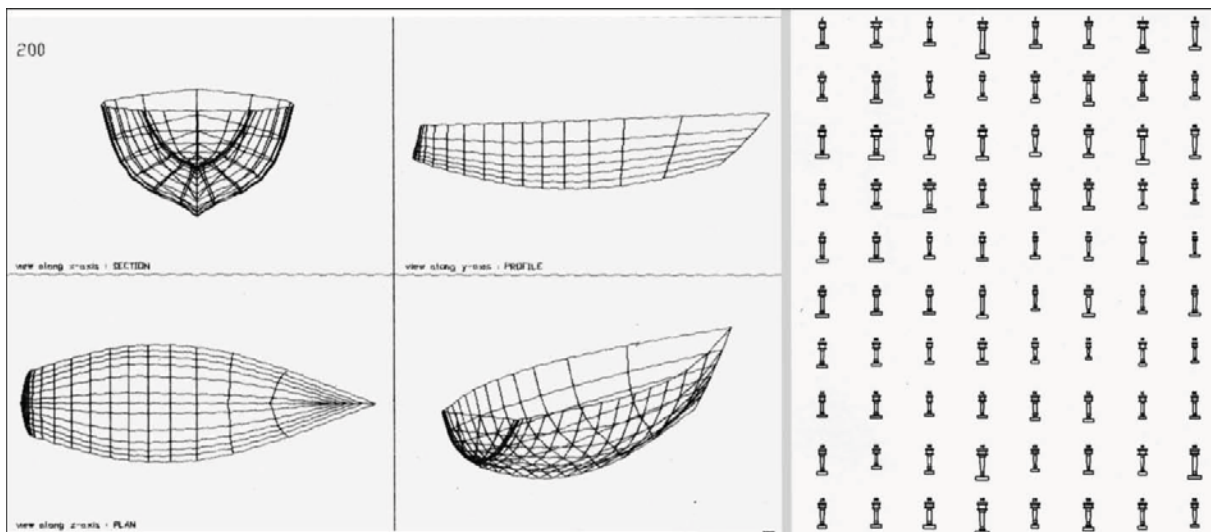
<sup>405</sup> Ibid.

<sup>406</sup> Ibid. 58.

optimalne varijante dobijaju kroz male i sukcesivne varijacije u okviru razvoja populacije kroz nekoliko generacija. Genetski algoritmi korišćeni su pre svega za rešavanje problema i optimizacije u situacijama kada je moguće jasno formulisati problem i kriterijume za rešavanje. Frejzer je zajedno sa svojim asistentom Piterom Gremom (Peter Graham) predočio mogućnosti primene genetskih algoritama u nekoliko istraživačkih projekata kao što su *Evolucija oblika toskanskog stuba* (1993), nastaloj na osnovu pravila proporcija Džejmgs Gibsa (James Gibbs) i *Optimizacija performansi trupa trkačkog glisera* (1993) (slika 210). U pomenutim projektima korišćena je “prirodna” i “veštačka” selekcija za odabir mutacija optimalnih performansi. Kod “prirodne” selekcije, računar je sam vršio odabir na osnovu zadatih predefinisanih kriterijuma, dok je kod “veštačke” prepušten slobodan izbor korisnika na osnovu vizuelne procene<sup>407</sup>.

Slika 210

Primena genetskih algoritama u projektima Džona Frejzera i Pitera Grema. Levo: *Optimizacija performansi trupa trkačkog glisera* (1993). Desno: *Evolucija oblika toskanskog stuba* (1993),



Metod optimizacije performansi u procesu arhitektonskog stvaralaštva primenom genetskih algoritama je intenzivno istraživana tokom poslednje dve decenije. Genetski algoritmi su do sada imali najveću primenu u rešavanju problema vezanih za analizu konstrukcija i energetske efikasnosti. Postoje

<sup>407</sup> Ibid. str. 61-63.



brojne studije koje se bave optimizacijom sistema za grejanje, ventilaciju i klimatizaciju<sup>408</sup> kao i za optimizaciju elemenata konstrukcije<sup>409</sup>.

Evolutivni algoritmi primenjeni su kao metod optimizacije u pozicioniranju konstruktivnih elemenata na projektu Nacionalnog stadiona Peking arhitekata Hecog i Demeuron (slika 211). Naizgled nasumično pozicioniranje greda u konstruktivnom sklopu krova stadiona nastao je kao rezultat osnovne projektantske intencije i metoda optimizacije u definisane parametrima konstrukcije i montaže elemenata. Naizgled nasumični raspored greda stadiona nastao je kao rezultat preseka vertikalne ravni i inicijalnog omotača stadiona. Ograničenja u pogledu konstrukcije i montaže zahtevala su da rastojanja između greda ne budu ni previše velika ni previše mala i da neki od uglova između greda ostanu nepromenjeni. Konstruktivni zahtevi i način naizgled proizvoljnog generisanja osa nametnuo je primenu evolutivnog algoritma kojim bi se kroz niz populacija dobilo optimalno rešenje.

Slika 211

Primena evolutivnih algoritama u procesu konstruktivne optimizacije u projektu Nacionalnog stadiona Peking (2005), Hecog i Demeurona. Prikaz različitih populacija kroz generacije gde je poslednja (dole desno) pokazuje rešenje koje zadovoljava kriterijume. Crvenom bojom označene su oblasti u kojima se javlja greška u odnosu na definisane kriterijume (rastojanje između greda preveliko ili premalo u odnosu na zadate vrednosti).



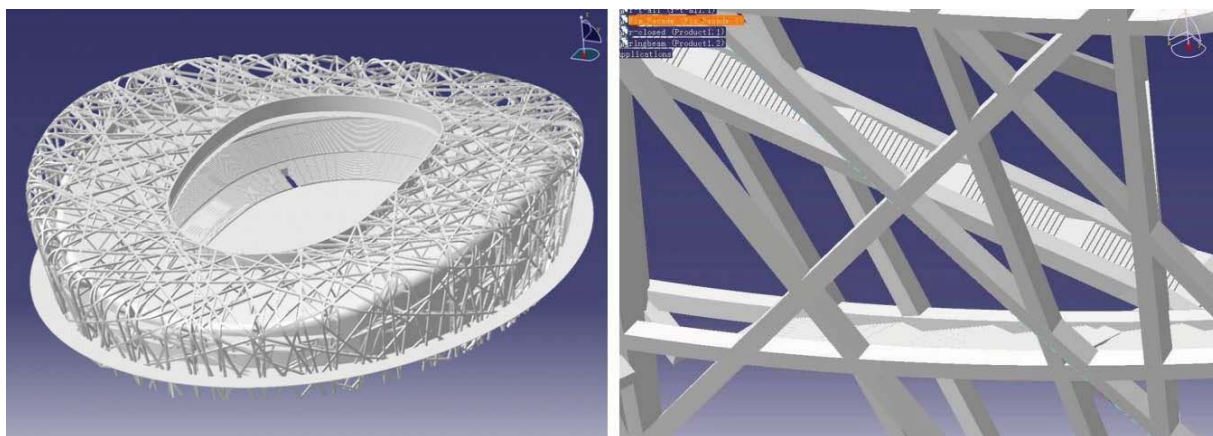
<sup>408</sup> (Caldas & Norford, 2003)

<sup>409</sup> (Arciszewski & Kicinger, 2005)

Prva generacija pozicioniranja greda nastala je nasumično. U prvoj generaciji postojao je izuzetno velik broj grešaka. Primenom evolutivnog algoritma kroz neznatno menjanje parametara, odnosno mutacije osnovnog genetskog koda, generisane su nove generacije. U svakoj narednoj generaciji selektovane su „jedinke“, varijanta rešenja koja su sadržale manji broj grešaka i one bi bile ponovo mutirane. Primenom evolutivnog algoritma kroz proces od 600 generacija, razvijeno je rešenje koje je zadovoljavalo tražene kriterijume<sup>410</sup>. Proces veštačke evolucije omogućio je da se ubrza proces koji bi konvencionalnom primenom CAD parametarskih alata potrebao nekoliko meseci. Nakon odabira konačnog rešenja evolutivnim algoritmom, projekat je dalje razvijan parametarskim alatima za modelovanje pomoću softvera *DigitalProject* (slika 212).

Slika 212

Prikaz digitalnog modela Nacionalnog stadiona Peking, kreiranog pomoću parametarskog BIM softvera *DigitalProject*.



Projekat nacionalnog stadiona u Pekingu je jedan od primena kombinovanja metoda optimizacije sa parametarskim i generativnim tehnikama modelovanja. Integrisan pristup generativnih tehnika modelovanja sa dizajnom baziranom na performansama je sledeći korak u razvoju primene digitalnih alata u procesu arhitektonskog stvaralaštva o čemu će biti više rečeno u narednom poglavlju.

---

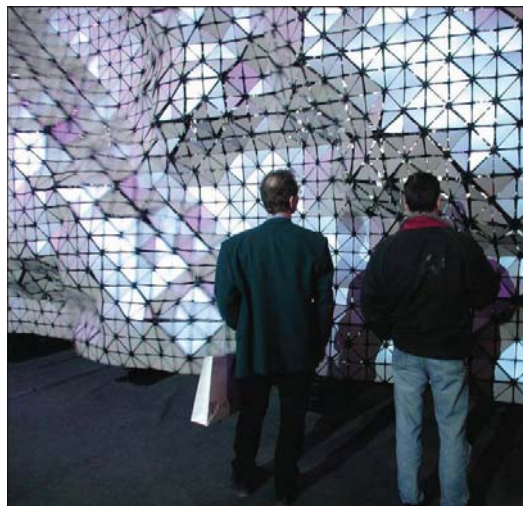
<sup>410</sup> (Hovestadt & Bühlmann, str. 4)

### 3.4.2.5. Generativno-performativni pristup modelovanju u arhitekturi

Generativno- performativni pristup modelovanju u arhitekturi podrazumeva integrisanu primenu generativnih tehnika modelovanja i metoda analiza, simulacija i optimizacije geometrijske strukture objekta. Drugim rečima digitalni alati koriste se istovremeno za generisanje geometrijskih oblika, evaluaciju i rekonfiguraciju u odnosu na definisane parametre performansi. Kombinovanje različitih tehnika modelovanja sa analizama performansi i metodama optimizacije predstavljaju prvi korak ka integrisanom, generativno-performativnom pristupu modelovanju.

Nova teorijska paradigma koja posmatra arhitekturu kao kompleksan adaptivni sistem uticao je na razvoj generativno-performativnog pristupa modelovanju, koji se u arhitekturi javio početkom prve decenije XXI veka.

Generativno-performativni model je nova paradigma u arhitekturi koja strukture fasadnih platna objekata posmatra kao inteligentne adaptivne sisteme koji reaguju na uticaje okruženja. Takav pristup zahteva „napredak u teorijskom razmatranju arhitekture koja više nije fiksni statičan objekat već kompleksni metabolički i inteligentni materijalni sistem sa životnim ciklusom, koji je u mutualnoj vezi sa okruženjem drugih aktivnih sistema“<sup>411</sup>. Projekat interaktivnog zida *Aegis Hyposurface* (1999-2001) projektantskog studija *dECOi* koji se deformiše pod uticajem stimulansa iz okruženja (slika 213) ili Fiber kule (2004) Makoto Sei Vatanabea (Makoto Sei Watanabe) u kojoj se struktura fibera kreće pod uticajem sila vetra ili zemljotresa dok unutrašnja opna ostaje uvek u istoj poziciji, su neki od realizovanih primera koji ilustruju novi način mišljenja o prostoru u arhitekturi koji je interaktivan, fleksibilan, i sposoban da prilagodi oblik pod uticajima iz okruženja<sup>412</sup>.



Slika 213

Projekat interaktivnog zida *Aegis Hyposurface* (1999-2001) koji se deformiše pod uticajem stimulansa iz okruženja.

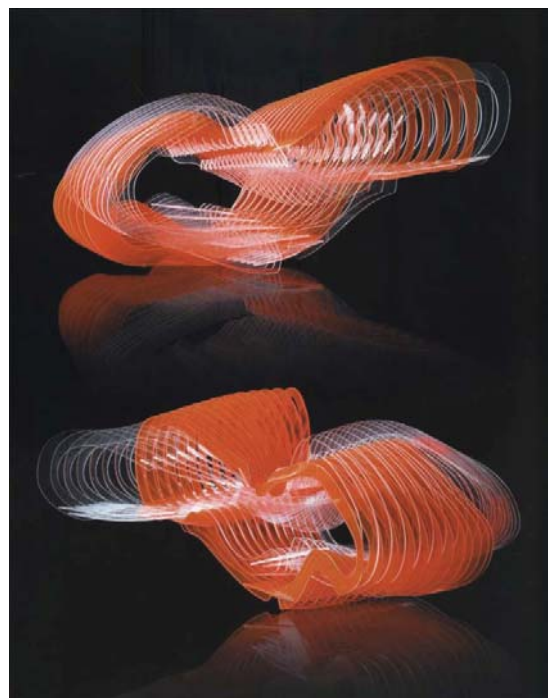
<sup>411</sup> (Hensel, Menges, & Weinstock, 2010, str. 20)

<sup>412</sup> Alati i heuristika takvom pristupu osim generativno-performativnih digitalnih modela može zahtevati i izradu fizičkih interaktivnih modela, tehnike digitalne fabrikacije, programiranja i robotike.

Eksperimentalni istraživački projekti u okviru MIT-ovog *Emergent Design Group* i *Emergent Technologies and Design* (EmTech) na AA školi, postavili su osnove generativno-performativnom pristupu modelovanju u arhitekturi.

Martin Hemberg i Una-Mej O'Rejli (Una-May O'Reilly) u okviru istraživačkog tim na MIT-u *Emergent Design Group* razvili su digitalni alat *Genr8*, 2001 godine kao dodatak za softversku platformu *Maya*, sa ciljem da se omogući simulacija rasta digitalno generisane površi senzitivno na spoljašnje uticaje i okruženje. Razvoj forme u digitalnom okruženju omogućen je HEMLS (Hemberg-Extended-Map-Lindenmayer-System) sistemom baziranom na proširenoj mapi L-sistema i evolutivnog algoritma<sup>413</sup>. Od 2002 godine *Genr8* je korišćen kao digitalni alat na nizu studentskih projekata u okviru *EmTech* programa na AA školi u Londonu, sa ciljem da se istraže strateške mogućnosti evolutivnih algoritama i veštačke inteligencije u procesu dizajna (slika 214). Potencijali i ograničenja od inicijalne forme do procesa fabrikacije su istražene prelazom ka istraživanju performansi oblika kroz brojne populacije i generacije istovremeno zadržavajući strukturalne kapacitete i geometrijske karakteristike<sup>414</sup>.

Generativno-performativna istraživanja digitalne morfogeneze u okviru EmTech master programa na AA školi pokrenuo je niz novih metoda baziranim na biomimetičkim modelima i teoriji kompleksnih adaptivnih sistema. Projekat master teze "Razgranati ventilacioni omotač" (Branching Respiration Skin, 2008) Jukio Minobe (Yukio Minobe) u okviru *EmTech* programa jedan je od primera koji ilustruje primenu generativno-performativnog modela u arhitekturi (slika 215). Minobe se u svojoj tezi bavi mogućnostima primene biomimetičkog modela sistema grananja (branching system) u arhitekturi. Sistem grananja primenjen je kao model za generisanje ventilacionih



Slika 214

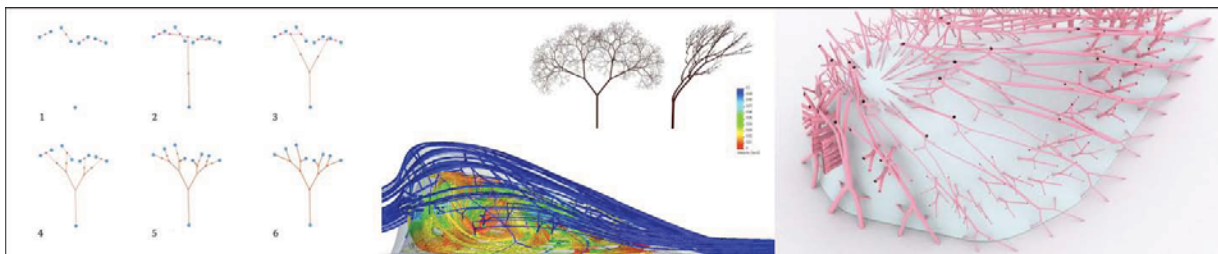
Morfofenetski eksperiment Ahim Mengesa na AA školi primenom digitalnog alata *Genr8*, sa ciljem da se istraže mogućnosti povezivanja procesa digitalne evolucije i CNC fabrikacije.

<sup>413</sup> (Hemberg, 2009)

<sup>414</sup> (O'Reilly, Hemberg, & Hensel, 2004, str. 52)



kanala, prema biomimetičkom modelu otvora humki termita, primeru kompleksne emergentne forme odličnih termoregulacionih karakteristika. U te svrhe razvijena su dva algoritma kojima se reguliše oblik strukture u zavisnosti od klimatskih uticaja i sistema grananja ventilacione mreže. Algoritam za generisanje ventilacione mreže (centroid branching algorithm) baziran je na primeni L-sistema, kojima je omogućeno kreiranje kontekstno-senzitivnih modela i biomimetičke simulacije fototropizma<sup>415</sup>. Primenom CFD softvera termoregulacija i ventilacija sistema analizirana je u digitalnom okruženju, čime su određivani parametri za sledeće iteracije u procesu razvoja forme.



Biomimetičke strategije koje integrišu strukturu, oblik i materijal kompleksnih adaptivnih sistema u jedinstveni heuristički proces je samo jedan od mogućih modela u budućim istraživanjima digitalne morfogeneze u arhitekturi. Kao što je u poglavlju o uticajima digitalnih alata na nove trendove u arhitektonskim istraživanjima pokazano, prelaz na digitalni medijum reprezentacije je proširio granice koje su se do tada oslanjale samo na geometrijske i fizičke modele. Digitalni alati omogućili su novi napredak u širenju granica teorije arhitektonske fenomenologije, od reprezentacije prostora ka reprezentaciji sistema.

Slika 215

Generativno-performativna istraživanja Jukio Minobe: razgranati ventilacioni omotač iz 2008. godine. Levo: Proces generisanja ventilacione mreže primenom *centroid branching* algoritma. Sredina gore: simulacija senzitivnosti modela na uticaje okruženja. Sredina dole: CFD analiza strujanja vazduha i uticaja na oblik i poziciju ventilacione mreže. Desno: Ehinoidna kupola sa srednjom gustinom ventilacionog grananja.

<sup>415</sup> (Hensel, Menges, & Weinstock, 2010, str. 156-161)

## 4. Završne napomene i zaključci

Dosadašnja istraživanja razvoja savremene arhitekture uglavnom su se fokusirala na uticaje socijalnih, ekonomskih i tehničko-tehnoloških parametara. U okviru ove disertacije pokazano je da, osim pomenutih parametara, geometrijska reprezentacija prostora u proučavanju razvoja savremene arhitekture zauzima značajno mesto. Na nastanak i razvoj arhitekture uticali su novi načini instrumentalnog mišljenja o prostoru kao i evolucije medijuma, tehnika i alata reprezentacije. Koncept prostora danas je od suštinske važnosti u teoriji arhitekture, ali je geneza takve ideje ukorenjena u modernom epistemološkom mišljenju, čiji se nastanak vremenski poklapa sa nastankom savremene arhitekture. Istovremeno, razvoj ideje prostora u matematici uticao je na šire kulturne okvire i na instrumentalni pristup u arhitekturi. Arhitektura XX veka potvrdila je stavove Poenkarea<sup>416</sup>, da nije bitno da li je jedan tip prostora istinitiji od nekog drugog, već koji je prostor prikladniji za interpretaciju određenog fenomena ili ideje. Slično, deterministička veza između medijuma i tehnika reprezentacije sa jedne strane i arhitektonskog crteža i načina mišljenja kroz projektivne tehnike je pokazana. U tom smislu može se zaključiti da je najveći napredak u procesu arhitektonskog stvaralaštva bio inicirani pojavom novih medijuma reprezentacije. Posmatrano u širem istorijskom kontekstu, ključni momenti su bili prelazak sa pergamenta na papir početkom renesanse, a u užem - pojava digitalnog medijuma reprezentacije. Implementiranje digitalnih tehnologija u proces arhitektonskog stvaralaštva nije samo omogućio brži, jednostavniji i pregledniji način razvoja projekta, već je ponudio nove modele za evaluaciju i razvoj arhitektonske forme. Novi modeli procesa geneze arhitektonske forme su ujedno pokrenuli pitanje uloge arhitekta u procesu projektovanja kao i preispitivanje tradicionalnih modela reprezentacije arhitektonskog dela. U tom smislu, pomak ka digitalnom dizajnu može biti definisan kao kontinualno prevazilaženje od tradicionalnog pristupa geometrijske reprezentacije ka algoritamskoj (semantičko/sintaksoj) reprezentaciji, čije su karakteristike kompleksnost, samosličnost i emergencija. Stoga se prelaz od analognog ka digitalnom medijumu ili od geometrijske ka algoritamskoj reprezentaciji može identifikovati i kao evolucija u arhitektonskom diskursu od teorije prostora ka teorijama sistema. U tom smislu napredak od koncepta prostora ka konceptu sistema može se tretirati kao sledeći nivo apstrakcije u strukturiranju teorijskog diskursa u arhitekturi.

### 4.1. Rezultati postignuti u istraživanju

U ovoj disertaciji je pokazan način na koji su transponovane koncepcije prostora i sistema iz matematike u šire kulturne okvire i arhitekturu. Istovremeno, istražen je uticaj razvoja medijuma, tehnika i alata reprezentacije na evoluciju u procesu arhitektonskog mišljenja i stvaralaštva. U odnosu na pomenuta dva osnovna aspekta istraživanja uticaja geometrijske reprezentacije prostora na savremenu arhitekturu, sumirani su rezultati postignuti u istraživanju.

---

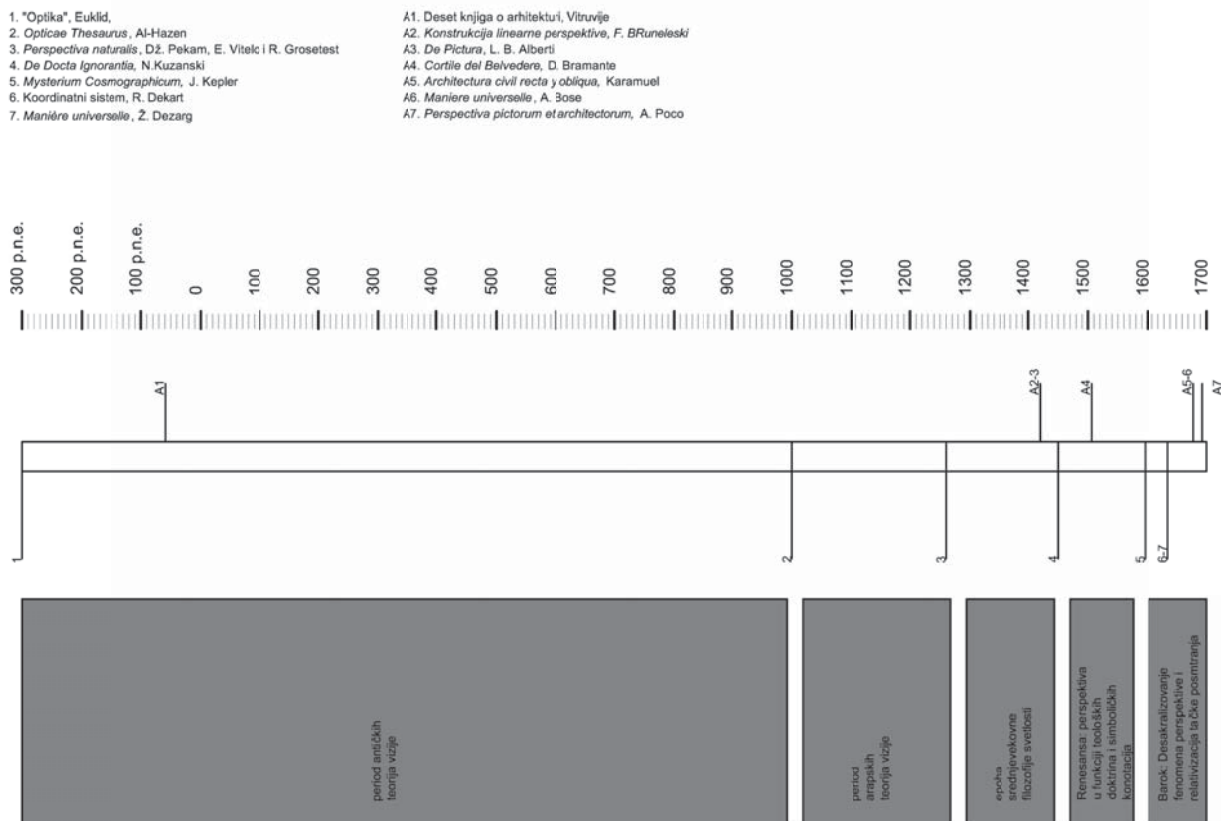
<sup>416</sup> Parafrazirana Poenkareoeva misao koju je publikovao u u poglavlju "Neeuklidska geometrija" svog čuvenog dela *La science et l'hypothèse* (1902)

- Koreni razvoja savremene arhitekture podudaraju se sa razvojem modernog mišljenja o prostoru. Ideja nastanka kartezijanskog prostora uzrokovana je stvaranjem kartezijanskog načina mišljenja po kojem je prostor imaginacije i percepcije izjednačen. Ključni momenti u razvoju ideje kartezijanskog prostora u arhitekturi bili su relativizacija položaja tačke posmatrača i razvitak i sistematizacija tehnika crtanja.
- Razvoj koncepcija prostora u matematici imale su jednu od ključnih uloga u razvoju reprezentacije prostora u arhitekturi. Dominantan način mišljenja o prostoru u arhitekturi je i dalje baziran na ideji trodimenzionalnog kartezijanskog prostora, ali su i druge koncepcije poput neuklidskih,  $n$ -dimenzionalnih i topoloških prostora imale značajnu ulogu u razvoju savremene arhitekture različitih epoha.
- Avangardni umetnički pokreti početkom XX veka imali su snažan uticaj na relativizaciju koncepcije prostora u umetnosti i arhitekturi. Takav uticaj je bio najsnažniji tokom 20-tih i 30-tih godina XX veka, ali su digitalne tehnologije 90-tih godina XX veka uticale na reafirmaciju takvih ideja. Pomeranje granica shvatanja prostora, iniciralo je drugačiji pogled na geometrijsku formu i modele reprezentacije u arhitekturi.
- Prelaz ka apstraktnijim definicijama geometrijskog prostora (topološki prostori) u kojima kvantitativne karakteristike kao što su pozicija i udaljenost nisu relevantne, uticao je i na apstraktniji način sagledavanja problema prostora u arhitekturi. Topološki pristup koncepcije prostora u arhitekturi se javlja prvi put sredinom XX veka, ali su digitalne tehnologije imale ključnu ulogu za razvoj instrumentalnog pristupa. Digitalno radno okruženje je prepoznato kao medijum reprezentacije topološkog prostora u kojem su omogućene modulacije arhitektonskih oblika.
- Naučna dostignuća i filozofski pravci koji se oslanjaju na teorijski okvir kompleksnih adaptivnih sistema, nude nove pravce u koncipiranju prostora u arhitekturi. Nove ideje prostora u matematici, fizici i filozofiji nauke imaju značaj u ponovnom redefinisaju okvira koncepcije prostora u arhitekturi.
- Važnu ulogu u nastanku savremene arhitekture sa aspekta uloge medijuma i tehnika reprezentacije, je imala intenzivna primena crteža i prelaz od simboličke ka estetskoj reprezentaciji. Osnivanje škola inženjerskih disciplina zajedno sa razvojem štampe i sve većim brojem publikacija o arhitekturi i tehnikama crtanja, imale su neposrednog uticaja na njen razvoj.
- Nastanak i razvoj digitalnog medijuma reprezentacije imao je ključnu ulogu u razvoju novih pristupa u generisanju arhitektonske forme. Prelaz ka digitalnom medijumu omogućio je kreiranje i primenu novih alata reprezentacije u funkciji evaluacije, optimizacije i strategija produkcije. U tom smislu, generativni pristup modelovanju, dizajn baziran na performansama i generativno-performativni dizajn prepoznat je kao okvir za nove mogućnosti u istraživanju arhitektonske forme.

## 4.2. Pregled rezultata istraživanja

Pregled istraživanja uticaja geometrijske reprezentacije prostora na savremenu arhitekturu dat je na narednim stranama u vidu pratećih priloga. Periodizacija šireg vremenskog okvira data je u odnosu na razvoj teorija vizije i njene veze sa kosmologijom, koje su imale najvećeg uticaja na poimanje i reprezentaciju prostora u arhitekturi do XVIII veka. Periodizacija sa hronološkim pregledom ključnih događaja u razvoju teorija vizije i poimanja prostora u arhitekturi do XVIII veka dat je u prilogu 1. U Prilogu 2. dat je komparativni prikaz razvoja prostora u matematici, širim prostornim okvirima i arhitekturi. Komparativnim prikazom razvoja dat je hronološki pregled važnih momenata razvoja koncepcija prostora koji su pomenuti u tekstu disertacije. Prelaz sa analognog na digitalni medijum reprezentacije u arhitekturi je jedan od najvažnih momenata u razvoju instrumentalnog pristupa različitim koncepcijama prostora ali i novih tehnika i alata reprezentacije. U Prilogu 3. dat je razvoj primene digitalnih alata reprezentacije u arhitekturi od sredine XX veka, zajedno sa referentnim događajima u razvoju matematičko-informatičkih modela i softvera. Hronološkim pregledom u Prilogu 3. pokazano je da je najveći broj digitalnih alata reprezentacije u arhitekturi razvijen i intenzivno u upotrebi od 90-tih godina XX veka.

### Prilog 1. Hronološki pregled ključnih događaja u razvoju teorija vizije i poimanja prostora u arhitekturi od antike do XVIII veka

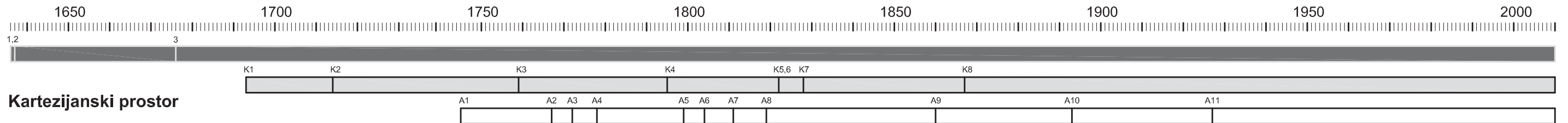




# Prilog 2: Komparativni prikaz razvoja koncepcija prostora u matematici, širim naučno-kulturnim okvirima i arhitekturi

- Koncept prostora u matematici
- Koncept prostora u širim kulturnim okvirima (nauka, filozofija, umetnost)
- Koncept prostora u arhitekturi

Napomena: Pregled razvoja dat je za istorijske reference pomenute u disertaciji



## Kartezijanski prostor

- |  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| 1 1636 Posthumno objavljen rad (1675) P. Ferra                 | K4 1795 <i>Géométrie descriptive</i> , G. Monž                              | A2 1767 <i>Collection de Divers Sujets de Vases.</i> Ž.-L. Ležej                    | A8 1819 <i>Précis des Leçons d'Architecture</i> , Ž. N. L. Diran |
| 2 1637 <i>La Géométrie</i> , R. Dekart                         | K5 1822 <i>Traité des propriétés projectives des figures</i> , Ž.V. Ponsele | A3 1772 <i>A Dissertation on Oriental Gardening</i> , Sir V.Čembers                 | A9 1860 <i>Bekleidungstheorie</i> , G. Semper                    |
| 3 1676 <i>Enumeratio linearum tertii ordinis</i> , I. Njutn    | K6 1822 <i>On isometrical Perspective</i> , V.Fariš                         | A4 1778-88 <i>Essai sur l'Art</i> , E. L. Bule                                      | A10 1893 <i>Essence of Architectural Creation</i> , A. Šmarsov   |
| K1 1693 <i>Perspectiva pictorum et architectorum</i> , A. Poco | K7 1828-32 <i>Das Naturzeichen</i> , Piter Šmit                             | A5 1799 <i>Perspektivna studija</i> F. Gili   | A11 1927 <i>Moller House, (Raumplan)</i> A. Los                  |
| K2 1714 <i>Monadologija</i> , G. Lajbnic                       | K8 1867 <i>Handbuch der Physiologischen Optik</i> , H. fon Helmholtz        | A6 1804 <i>Arhitektura iz ugla umetnosti, obi čaja i zakonodavstva</i> , K. N. Ledu |  |
| K3 1759 <i>Die Freye Perspektive</i> , J. Lamber               | A1 1745 <i>Carceri</i> , Đ. B. Piranezi                                     | A7 1811-25 <i>Ridžent ulica London</i> , Dž. Neš                                    |  |

## Neeuklidski i višedimenzionalni prostori

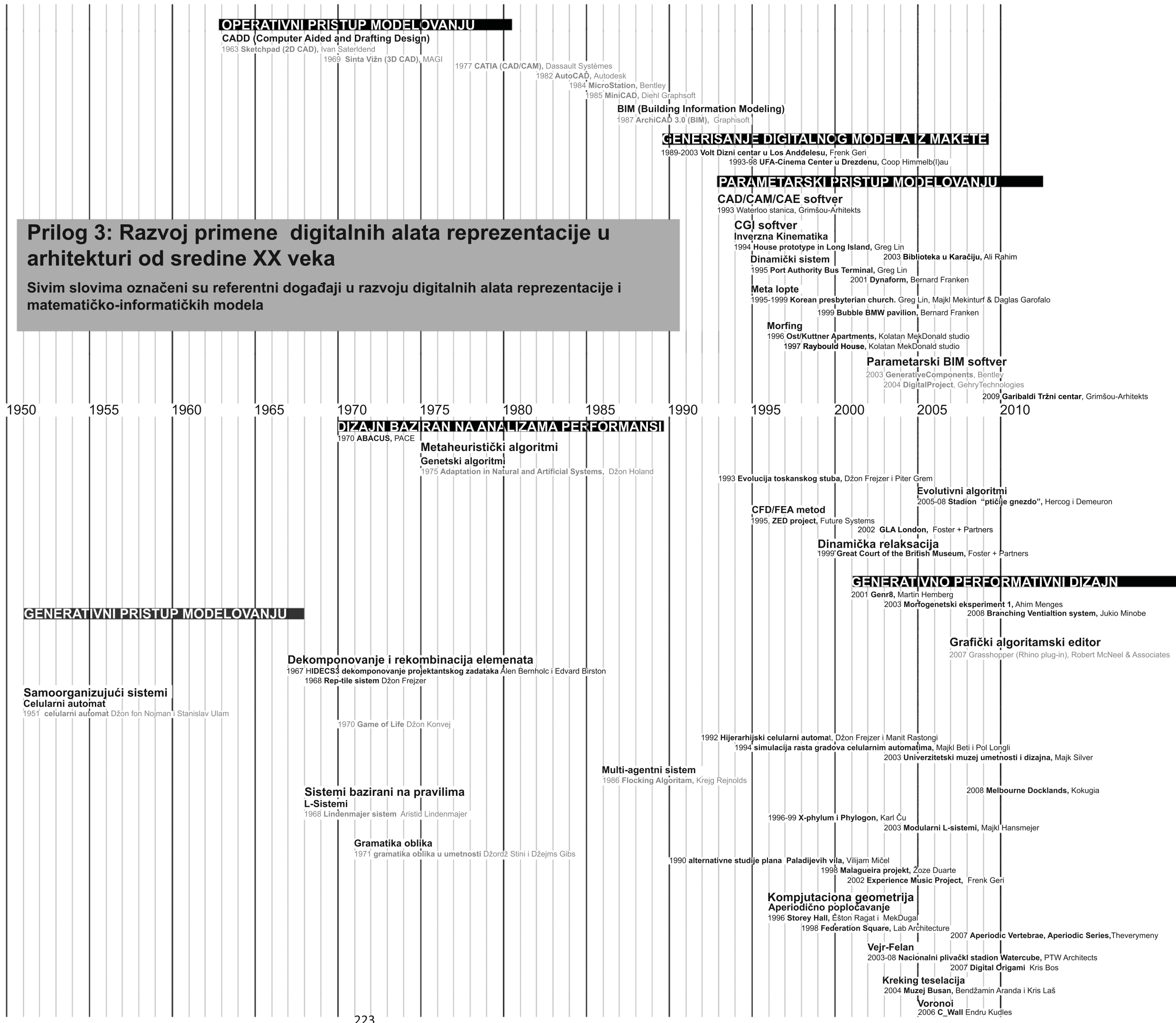
- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1 1829 osnove neeuklidske geometrije, J. Boljaj i N. Lobačevski                 | 9 1904 <i>The Fourth Dimension</i> , Č.H. Hinton                            | A2 1923 <i>Soba PROUN</i> , E.Lisicki                                       | A7 1927 <i>Apstraktni kabinet</i> , E. Lisicki                          |
| 2 1846 konfiguracija tačaka u četvorodimenzionalnom prostoru, A. Kejli          | 10 1907 <i>Koncept četvorodimenzionalnog prostor-vremena</i> , H. Minkovski | A3 1924 <i>Ka plastičnoj arhitekturi</i> , T. fan Duizburg                  | A8 1990 <i>Grande arche</i> , E. fon Šprehelsen                         |
| 3 1850 <i>Prikaz 4D poltopla</i> , L. Šlefli                                    | K1 1884 "Flatland: Romansa u više dimenzija", E. Abot                       | A4 1924 <i>Kuća Schröder</i> , G. Ritveld                                   | A9 1995 <i>ether/I instalacija</i> , dECOi                              |
| 4 1854 "O hipotezama i osnovi geometrije", G. Riman                             | K2 1888 "Drugi svet ili četvrta dimenzija", A.T. Šofild                     | A5 1925 <i>Dizajn jednopordične kuće</i> , T. fan Duizburg i K. fan Esteren | A10 2002 <i>Mala teserakt kuća u Rinebeku</i> , S. Hol                  |
| 5 1867 <i>Erlangen program</i> , F. Klajn                                       | K3 1910 <i>Portret Ambroise Vollarda</i> , P. Pikaso                        | A6 1925 <i>K. und Pangeometrie</i> , E. Lisicki                             | A11 2002 <i>Škola arhitekture Cornell univerziteta u Itaki</i> , S. Hol |
| 6 1868 <i>Modeli hiperboličkog prostora</i> , E. Beltrami, F. Klajn, A.Poenkare | K4 1913 <i>plastični dinamizam</i> U. Bočoni                                |   |   |
| 7 1884 <i>Sistem paralelnih koordinata</i> , M. d'Okanj                         | K5 1936 <i>Manifeste dimensioniste</i> , Š. Sirato                          |   |   |
| 8 1903 <i>Traité élémentaire de géométrie à quatre dimensions</i> , E. Žufre    | A1 1923 <i>Kontra-konstrukcija</i> , T. fan Duizburg                        |   |   |

## Topološki prostori

- |   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| 1 1847 <i>Vorstudien zur Topologie</i> , J. B.t Listing                           | K5 1970 <i>dizajn simbola za reciklažu baziran na mobiusovoj traci</i> , G. Anderson | A6 1990 <i>konkursno rešenje Rebstockparka u Frankfurtu</i> , P. Ajzenman      | A15 1996 <i>Arnhem centrale model klajnovne boce</i> , UN Studio            |
| 2 1858 opisana i definisana Mobiusova traka, A.F. Mobius i J.B. Listing           | K6 1982 <i>Pojam sajberprostor u noveli "Spaljeni hrom"</i> , V. Gibson              | A7 1991 <i>Alteka poslovna zgrada</i> , P. Ajzenman                            | A16 1996 <i>biblioteka L'HUEI univerziteta u Ženevi</i> , P. Ajzenman       |
| 3 1882 opisana i definisana Klajnova boca, F.Klajn                                | K7 1988 <i>Le pli - Leibniz et le baroque</i> , Ž.Delez                              | A8 1992 <i>konkursni projekat za kongresni centar u Nari-Japan</i> , B. Širdel | A17 1997 <i>Animate Form</i> , G. Lin                                       |
| 4 1895 <i>Analysis Situs</i> , A. Poenkare  | K8 1989 <i>World Wide Web</i> , Istraživački institut CERN                           | A9 1992 <i>Instalacija u Unite Habitation u Brieju</i> , Francuska, Dž. Kipnis | A18 1998 <i>Studija mobijus kuće</i> , S. Perela i R. Karpenter             |
| 5 1914 prvi put pojam topološki prostor, F. Hausdorf                              | K9 1991 <i>morfinj tehnika u filmu Terminator 2</i> D. Kamerun                       | A10 1992 <i>Maks Rajnhart kuća u Berlinu</i> , P. Ajzenman                     | A19 2000 <i>privremeni paviljon Living Tomorrow</i> , Amsterdam, UN Studio  |
| 6 1922 preciznija definicija topološkog prostora, K. Kuratovski                   | K10 1995 <i>City of Bits</i> , Vilijam Mičel   | A11 1993-98 <i>Mobius kuća u Het Guiu</i> , UN Studio                          | A20 2008 <i>Twist House</i> , Akilalberg studio                             |
| 7 1968-72 teorija katastrofe R. Tom   | A1 1955 <i>Termin topologija u tekstu o arhitekturi</i> , R. Banam                   | A12 1993 <i>Konkursni projekat za biblioteku Žisio u Parizu</i> , R. Kulhas    | A21 2009 <i>Klajn boca jednopordična kuća</i> , Mekbrajd Čarls Rajan studio |
| K1 1917 <i>On growth and Form</i> , D. Tompson                                    | A2 1957 <i>Snowball Appliance</i> , A. i P. Smitson                                  | A13 1993 <i>Folding in Architecture</i> , G. Lin                               |   |
| K2 1933 <i>topološka karta metro stanica Londona</i> , H. Bek                     | A3 1965 <i>"Grad nije stablo"</i> K. Aleksander                                      | A14 1995 <i>međunarodni lučki terminal u Jokahomi</i> , FOA                    |   |
| K3 1936 <i>Umetnička skulptura mobiusove trake "Traka bez kraja"</i> , M. Bil     | A4 1978, <i>Kaneređo projekat (mobijusova traka)</i> , P. Ajzenman                   |  |   |
| K4 1963 <i>drvorez Crveni mravi baziran na ideji Mobijusove trake</i> , M.C. Ešer | A5 1989 <i>Die Anhlater Faltung</i> , K. J. Kristijansen                             |  |   |

## Kompleksni adaptivni sistemi

- |   |  |  |
|---|--|--|
| 1 1963 <i>Deterministic Nonperiodic Flow</i> , Edvard Lorenc            | K2 1980 <i>A Thousand Plateaus (Smooth/Striated space)</i> , Delez & Guatari | A6 1997 <i>From object to field</i> , Sten Alen                        |
| 2 1967 <i>How Long Is the Coast of Britain?</i> , Benoa Mandelbrot      | A1 1993 <i>Evolucija oblika toskanskog stuba</i> , Dž. Frejzer               | A7 1998 <i>Federation Square</i> , Lab Architecture                    |
| 3 1980 <i>Kompleksni adaptivni sistemi</i> , Džon Holand, Marej Gel-Men | A2 1993 <i>Folding in Architecture</i> , Greg Lin                            | A8 1999 <i>X-phylum i Phylogon</i> , Karl Ču                           |
| 4 1986 <i>Flocking Algoritam</i> , Krejg Rejnolds                       | A3 1994 <i>Fractal Cities</i> , Majkl Beti i Pol Longli                      | A9 2003-08 <i>Nacionalni plivački stadion Watercube</i> PTW Architects |
| 5 1986 <i>Artificial Life</i> , Christopher Langton                     | A4 1995 <i>Port Authority Bus Terminal</i> , Greg Lin                        | A10 2004 <i>Reebok centalna prodavnica</i> , Ali Rahim                 |
| K1 1968 <i>Différence et Répétition</i> , Delez                         | A5 1996 <i>Storey Hall</i> , Ešton Ragat i MekDugal                          | A11 2008 <i>Melbourne Docklands</i> , Kokkugia                         |



**Prilog 3: Razvoj primene digitalnih alata reprezentacije u arhitekturi od sredine XX veka**

Sivim slovima označeni su referentni događaji u razvoju digitalnih alata reprezentacije i matematičko-informatičkih modela

### 4.3. Buduća istraživanja

Prelaz na digitalni medijum reprezentacije otvorio je mogućnosti u razvoju novih alata i tehnika u procesu modelovanja, evaluacije, simulacije optimizacije i produkcije. U odnosu na dobijene prikazane rezultate, ovaj rad otvara buduće pravce mogućih istraživanja u arhitekturi u odnosu na sledeće aspekte geometrijske reprezentacije prostora:

- primena veštačke inteligencije u procesu dizajna i produkcije,
- implementacija biodinamičkih modela u procesu istraživanja arhitektonske forme i
- razvoj novih digitalnih alata i tehnika reprezentacije.

Uloga veštačke inteligencije u procesu arhitektonskog stvaralaštva nije nova, ali njen potencijal do sada nije u punoj meri iskorišten. Dosadašnja razmatranja inteligentnih sistema u CAAD-u (Computer Aided Architectural Design), svodila su se na primenu BIM i parametarskih alata koji osim informacija o geometriji objekta nose i pojedine attribute iz baze podataka (BIM) i/ili geometrijske relacije (asocijativne) veze sa drugim objektima (parametarski model). Nove tendencije u razvoju CAD/CAM i BIM sistema mogu biti usmerene ka softverskim paketima u kojima bi veštačka inteligencija bila inkorporirana kao pomoć projektantima u različitim fazama projektantskog procesa. Takvi sistemi bi bili sposobni da uče tokom projektantskog procesa, na osnovu kontinualnog ponavljanja istih radnji u procesu projektovanja, nudeći predloge redizajna elemenata strukture u svrhe geometrijske ili strukturalne optimizacije elemenata.

Inspiracija u arhitekturi oblicima iz prirode bionika i koncept "organske arhitekture" tradicionalno je ukorenjen u arhitektonski diskurs. Sa druge strane nova paradigma kompleksnih adaptivnih sistema u arhitekturi nametnula je nov pristup istraživanju bioloških modela u arhitekturi. Nove tendencije u biomimetičkom dizajnu posmatraju biološke modele kao dinamičke i materijalne sisteme. U tom smislu biomimetički konstruktivni sistemi sačinjeni od kompozitnih vlakana ili membrana se mogu posmatrati kao novi pravci u istraživanju hijerarhije i organizacije kompleksnih geometrijskih struktura.

Proces projektovanja skriptovima i parametarskim modelovanjem zahteva poznavanje novog semantičkog sistema reprezentacije i logiku geneze arhitektonske forme kompjutacionim alatima. Osnovni problemi i ograničenja u pogledu daljeg razvoja tehnika i alata reprezentacije odnose se na približavanje jezika i simbola novih tehnika i medijuma reprezentacije korisniku - arhitekti. Za generativni pristup modelovanju potrebne su kognitivne predispozicije, te je stoga arhitektama potreban afinitet ka programiranju za takav pristup generisanja forme. Razvoj CAD paketa koji podržavaju proceduralno modelovanje, kao i grafičkih algoritamskih editora su mogući pravci ka intuitivnijoj primeni generativnog pristupa dizajnu.

## 5. Bibliografija

- Ackerman, J. S. (2002). *Origins, Imitation, Conventions*. Massachusetts: MIT Press.
- Allen, S. (1997). From Object to Field. *Architectural Design: Architecture After Geometry*, str. 24-31.
- Alberti L.B., (1988). *De Re Aedificatoria*, Book1: Lineamenti, u: *On the Art of Building in ten books*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts (USA)
- Albertini, T. (2004). Mathematics and Astronomy. U C. M. Bellitto, T. M. Izbicki, & G. Christianson (Eds.), *Utroducing Nicholas of Cusa: a guide to a renaissance man* (str. 373-409). Mahwah, New Jersey: Paulist Press.
- Bénézit, E., & Jacques, B. (1999). *Dictionnaire Critique et Documentaire des Peintres, Sculpteurs, Dessinateurs et Graveurs de Tous les Temps et de Tous les Pays par un Groupe d'Écrivains Spécialistes Français et Étrangers*. Pariz: Gründ Paris.
- Batty, M. (2005). *Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press.
- Batty, M., & Longley, P. (1994). *Fractal Cities*. San Diego, CA and London: Academic Press.
- Bauer, G. C. (1979). From Architecture to Scenography: The Full Scale Model in the Baroque Tradition. U *La Scenographia Barocca*. Bologna: Editrice C.L.U.E.B.
- Berressem, H. (2005). Multiplicity: Foldings u Architectural and Literal Landscapes. U K. Benesch, & K. Schmidt (Eds.), *Space u America: theory, history, culture* (str. 91-105). Amsterdam: Rodopi B.V.
- Boccioni, U. (1913). *Plastic Dynamism*, Futurist Manifestos, ed. Apollonio, Umbro, str. 93.
- Boersma, L. S. (2000). From 'indications of a like-minded striving' to 'artsy-craftsy tinkering'. Theo van Doesburg and suprematism. *Jong Holland (Special issue: Theo van Doesburg)*, 16 (2), 27-31.
- Booker, P. J. (1963). *A History of Engineering Drawing*. London: Chatto Windus.
- Boyer, C. B. (1991). *A History of Mathematics*. New York: John Wiley & Sons.
- Boullée, E.-L. (1778-88). *Architecture, essai sur l'art Arhitektura*, Prevod na srpski: Ristivojević, Mihjalović M. i Jovanović V., 1999. Beograd: Građevinska knjiga.
- Branner, R. (1963). Villard de Honnecourt, Reims and the Origin of Gothic Architectural Drawing. *Gazette des Beaux-Arts* 61, 129-146.
- Bradley, T. (1834). *Practical geometry, linear perspective, and projection*. London: Baldwin and Cradock.
- Bredin, H. (2002). Medieval Art Theory. U P. Smith, & C. Wilde (Eds.), *A companion to art theory*. Blackwell Publishing.



- Bryon, H. (2009). Measuring the qualities of Choisy's oblique and axonometric projections. *Colloque Centenaire Auguste Choisy 1841-1909: L'architecture et l'art de bâtir* (str. 31-62). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Caldas, L. G., & Norford, L. K. (2003). Genetic Algorithms for Optimization of Building Envelopes and the Design and Control of HVAC Systems. *Journal of Solar Energy Engineering*, str. 343-352.
- Chambers, S. W. (1772). *A Dissertation on Oriental Gardening*. London: Printed by W. Griffin.
- Cohen, P. S. (2001). *Contested Symetries and Other Predicaments in Architecture*. New York: Princeton Architectural Press.
- Chernikhov, Y. (1931.). *Конструкция архитектурных и машинных форм*. Prevod na srpski: Bojić, M., Beograd: Građevinska knjiga.
- de Wolf, T., & Holvoet, T. (2004). Emergence and Self-Organisation: a statement of similarities and differences. *Proceedings of the International Workshop on Engineering Self-Organising Applications*, (str. 96-110). New York.
- Debanné, J. (1995). Master teza. *GuarUo Guarini's Sindone Chapel: Between Reliquary and Cenotaph*. McGill University.
- Deleuze, G., & Guattari, F. (1987). *A Thousand Plateaus: capitalism and schizophrenia*. London: Continuum.
- Deleuze, G., & Guattari, F. (2009). The Smooth and the Striated - The Matematical Model. U M. Hensel, C. Hight, & A. Menges (Eds.), *Space Reader: Heterogenous space u architecture* (str. 45-52). Chichester: Wiley.
- Descargues, P. (1976). *Traites de Perspective*. Paris.
- Derbyshire, J. (2004). *Prime Obsession: Bernhard Riemann and the Greatest Unsolved Problem u Mathematics*. New York: Penguu .
- Di Cristina, G. (2001). *Architecture and Science*. London: Willey Academy.
- Durand, J.-N. L. (1819). *Précis des leçons d'architecture données à l'école polytechnique*. Prevod na srpski: Bogdanović, I., Baštić M., Đorđević, M., 2005. Beograd: Građevinska knjiga.
- Dubreuil, J. (1643-1649). *La perspective pratique, nécessaire a tous peUtres, graveurs, architectes, brodeurs, sculpteurs, orferres, tapisseurs et autres qui se meslent de desseigner, 3 vol*. Paris: Chez Jean DinPuis.
- Duarte, J. (1998). Using Grammars to Customize Mass Housing: the Case of Siza's Houses at Malagueira. *IAHS World Congress on Housing*. Lisbon.
- Eisenman, P. (1993). Folding in Time: The Singularity in Rebstock. *Architectural Design*, str. 38-42.
- Eisenman, P. (1987). *Houses of Cards*. New York: Oxford University Press.
- Eisenman, P. (1999). *Peter Eisenman: Diagram Diaries*. New York: Universe Publishing.
- Eisenstein, S. M. (1989). Montage and Architecture (reprint iz 1937). *Asemblage* (10), 111-131.
- Eisenstein, S. (1977). Piranesi, or the Fluidity of Forms. *Oppositions* 11, 83-110.
- Emmer, M. (2004). *Mathland*. Basel: Birkhauser.

- Evans, R. (2000). *The Projective Cast: Architecture and its Three Geometries*. Massachusetts: MIT Press.
- Fasoulaki, E. (2008, jun). Integrated Design: a Generative Multi-performative Design Approach. *Master teza* . MIT.
- Frazer, J. (1995). *An Evolutionary Architecture*. London: Architectural Association.
- Frampton, K. (1980). *Modern Architecture a Critical History*. Prevod na srpski: Nikolić, M., 2004. Beograd: Orion art.
- Gehlen, A. (1988). *Man, His Nature and Place in the World*. New York: Columbia University Press.
- Gideon, S. (1941). *Raum, Zeit, Architektur*. Prevod na srpski: Radonić, M., Trbojević R., 2000. Beograd: Građevinska knjiga.
- Girón Sierra, F. J., & Gil Crespo, I. J. (2009). La influencia del dibujo de Choisy en España: notas para su estudio. *Auguste Choisy 1841-1909: L'architecture et l'art de bâtir* (str. 235-260). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Glymph, J. (2003). Evolution of the Digital Design Process. U B. Kolarevic (Ed.), *Architecture U the Digital Age: Design and Manufacturing* (str. 103-120). London: Routledge.
- Goldshmidt, G., & Klevitsky, E. (2004). Graphic Representation as Reconstructive Memory: Stirling's German Museum Projects. U *Design Representation* (str. 37-63). London: Springer-Verlag.
- Gomez, A. P., & Pelletier, L. (2000). *Architectural representation and Perspective Hinge*. Massachusetts: MIT Press.
- Henderson, L. D. (1984). *The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art*. Cambridge, MA: Leonardo.
- Hassler, U., & Pliego, E. (2009). Josef Durm and Auguste Choisy: a working relationship. *Colloque Centenaire Auguste Choisy 1841-1909: L'architecture et l'art de bâtir* (str. 261-276). Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Healy, D. (2009). *Doktorska disertacija: Tracing the genesis of the inhabitable picture plane*. Dublin: University College Dublin.
- Hejduk, J. (1985). *Mask of Medusa*. New York: Rizzoli Publications.
- Hersey, G. L. (2000). *Architecture and Geometry U the Age of the Baroque*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Hensel, M., Menges, A., & Weinstock, M. (2010). *Emergent Technologies and Design: Towards a Biological Paradigm for Architecture*. Oxford: Routledge.
- Hesselgren, L. (2006). Design at all Scales. U A. Chaszar (Ed.), *Blurring the Lines: Computer-Aided Design and Manufacturing U Contemporary Architecture* (str. 16-26). Chichester: Wiley-Academy.
- Hight, C., Michael, H., & Menges, A. (2009). En Route: Towards a Discourse on Heterogenous Space beyond Modernist Space-Time and Post-Modernist Social Geography. U C. Hight, H. Michael, & A. Menges (Eds.), *Space Reader: Heterogenous Space u Architecture* (str. 9-37). Chichester: John Wiley & Sons.
- Himmelblau, C. (1999). Workshop in Computing: Planning of the UFA-Palast with CAD. *In Form Z* , str.14.
- Iben, H. N., & O'Brien, J. F. (2000). Generating Surface Crack Patterns. *Graphical Models* , 71, 198-208.

- Jencks, C. (1973). *Modern Movements in Architecture*. Prevod na srpski: Maksimović, S., Litvinović S., 1990. Beograd: Građevinska knjiga.
- Jencks, C. (2002). *The New Paradigm in Architecture: The Language of Post-Modernism*. Prevod na srpski: Milosavljević. M., 2007. Beograd: Orion Art.
- Johnson, P., & Hitchcock, H. R. (1932). *International Style* Prevod na srpski: Trbojević I., Beograd: Građevinska knjiga.
- Jones, E. (1992). Jim and I. *The Architectural Review* (191), 68-69.
- Jopling, J. (1835). *The Practice of Isometrical Perspective*. London: M. Taylor.
- Kaufmann, E. (1933). *Von Ledoux bis Le Corbusier: Ursprung und Entwicklung der Autonomen Architektur*. Wien, Passer.
- Kaufmann, E. (1952). *Three Revolutionary Architects: Boullée, Ledoux, and Lequeu*. Transactions of the American Philosophical Society, Vol. 42, No. 3. str. 431-564.
- Kaku, M. (1994). *Hyperspace: A scientific odyssey through parallel universes, time warps, and the 10th dimension*. Oxford: Oxford University Press.
- Kolarevic, B. (2005). Computing the Performative. U A. Malkawi, & B. Kolarevic (Eds.), *Performative Architecture: Beyond Instrumentality* (str. 193-203). London: Routledge.
- Kostof, S. (2000). *The architect: chapters in the history of the profession*. London: Oxford University Press.
- Kotnik, T. (2006, oktobar). Algorithmic Extension of Architecture. *master teza* . Ciri: ETH.
- Krippner, S. (1994). Chaos Theory and Humanistic Psychology: The Third Revolution and the Third Force. *Journal of Humanistic Psychology vol 34. no 3. , 48-61.*
- Lalvani, H. (2001). Meta Architecture. U G. Di Cristina (Ed.), *Architecture and Science* (str. 178-184). London: Wiley Academy
- Leach, N. (2009). Swarm Urbanism. *Digital Cities AD: Architectural Design* , 56-63.
- Le Corbusier. (1923). *Vers une Architecture*, Prevod na srpski: Nikolajević R., 1999.. Beograd: Građevinska knjiga.
- Lemagny, J.C. (2002). *Visionary Architects: Boullée, Ledoux, Lequeu*. Santa Monica CA: Hennessey & Ingalls
- Ledoux, C.N, (1804). *L'Architecture considérée sous le rapport de l'art, des mœurs et de la législation*, Prevod na srpski: Jovanović V., 2002. Beograd: Građevinska knjiga.
- Lenin, V. I. (1909). The Faction of Supporters of Otvovism and God-Building. *Proletary (suplement broju 47-48) , 11 (24).*
- Levy, F., & Murnane, R. J. (2004). *The new division of labor: how computers are creating the next job market*. Princeton: Princeton University Press.

- Lissitzky, E. (1930). *Russland. Die Rekonstruktion der Architektur in der Sowjetunion*. Prevod na srpski: Trbojević R., 2000. Beograd: Orion Art.
- Lindberg, D. C. (1976). *Theories of Vision from al-KUdi to Kepler*. Čikago: University of Chicago.
- Lynn, G. (1999). *Animate Form*. New York: Princeton Architectural Press.
- Lynn, G. (1993). Architectural Curvlinearity: The Folded, the Pliant and the Supple. *Architectural Design* 63, no.3/4 str. 8-15.
- Lynn, G. (1995). Blobs. *Journal of Philosophy and the Visual Arts* (6).
- Madec, P. (1986). *Boullée*, . Paris: Fernand Hazan.
- Mallgrave, H. F. (2005). *Architectural Theory: An Anthology from Vitruvius to 1870*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Mandelbrot, B. (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. W.H.Freeman.
- Mandoul, T. (2008). From rationality to utopia. U M. Carpo, & L. Frederique (Eds.), *Perspective, Projections & Design* (str. 151-162). London i New York: Routledge.
- Marr, D. (1982). *Vision: A computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Massumi, B. (2003). Line Parable for the Virtual. U J. Beckmann (Ed.), *The Virtual Dimnesion: Architecture, Representation and Crash Culture* (str. 304-322). New York: Princeton Architectural Press.
- McCullough, M. (2006). 20 Years of Scripted Space. *Architectural Design* , 76 (4), 12-15.
- Mitchell, W. J. (1995). *City of Bits*. Cambridge, Massachusetts, London: MIT Press.
- Norberg-Schulz, C. (1972). *Existence, Space and Architecture*. Prevod na srpski: Maksimović, M., 2006. Beograd: Građevinska knjiga.
- Novak, M. (2001). Transarchitecture and hypersurfaces operations of Transmodernity. U G. Di Cristina (Ed.), *Architecture and Science* (str. 153-157). London: Wiley Academy.
- O'Reilly, U., Hemberg, M., & Hensel, M. (2004). Evolutionary Computation and Artificial Life U Architecture. *Architectural Design* , 49-53.
- Pittman, J. (2003). Building Information Modeling: Current Challenges and Future Directions. U B. Kolarevic (Ed.), *Architecture U the Digital Age: Design and Manufacturing* (str. 255-258). New York i London: Taylor & Francis.
- Pottman, H., Asperl, A., Hofer, M., & Axel, K. (2007). *Architectural Geometry*. Exton, PA: Bentley Institute Press.
- Potie, P. (2008). Sophisticated geometry, baroque composition. U M. Carpo, & F. Lemerle (Eds.), *Perspective, Projections & Design* (str. 105-113). London i New York: Routledge.
- Protevi, J. (2006). Deleuze, Guattari and Emergence. *Paragraph: A Journal of Modern Critical Theory* , 29 (2), 19-39.
- Prusinkiewicz, P., & Lindenmayer, A. (2004). *The Algorithmic Beauty of Plants*. New York: Springer-Verlag.



- Rahim, A. (2007). *Catalytic Formations Architecture and Digital Design*. London and New York: Taylor & Francis.
- Risselada, M. (1989). Introduction. U M. Risselada (Ed.), *Raumplan versus Planlibre: Adolf Loos and Le Corbusier, 1919-1930* (str. 6-9). New York: Rizzoli.
- Rocha, L. M. (1999). Complex Systems Modeling: Using Metaphors From Nature in Simulation and Scientific Models. *BITS: Computer and Communications News*. Computing, Information, and Communications Division. Los Alamos National Laboratory. November 1999.
- Rocker, I. M. (2006). When code matters. *Architectural Design*, str. 16-25.
- Ruby, A. (1998). architecture in the Age of Virtual Dissapearance. U Beckmann J. (Ed.), *The Virtual Dimnesion: Architecture, Representation and Crash Culture* (str. 178-188). New York: Princeton Architectural Press.
- Oechslin, W. (1982). The Well-Tempered Sketch. *Daidalos* 5, 99-110.
- Schank Smith, K. (2005). *Architects' Drawings*. Oxford: Elsevier.
- Sharples, C., & Sharples, W. (2006). Drawing U the Digital Age. U A. Chaszar (Ed.), *Blurring the Lines: Computer-Aided Design and Manufacturing U Contemporary Architecture*. Chichester: Wiley-Academy.
- Silver, M. (2004). Building Without Drawings: Automason Ver 1.0. *Architectural Design: Programming Cultures: Architecture, Art and Science U the Age of Software Development*, str. 46-51.
- Somol, R. E. (2007). Dummy Text, or The Diagrammatic Basis of Contemporary Architecture. *RiSCO*, 168-178.
- Steele, J. (1994). Drawing to Displacement. U J. Steele (Ed.), *Architecture in Process* (str. 6-10). London: Academy Group Ltd.
- Stojaković V. & Tepavčević B., Image-based modeling approach in creating 3D morphogenetic reconstruction of Liberty Square in Novi Sad, *Journal of Cultural Heritage*, DOI: 10.1016/j.culher.2010.06.001 (u štampi)
- Stojaković V. & Tepavčević B., (2009). *Optimal Methods for 3D Modeling of Devastated Architectural Objects*, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W1 ISPRS, Trento, Italy, str. 1-6.
- Šiđanin, P. (2001). *A Cognitive Framework for an Urban Environment Design Tool*. Delft, The Netherlands: DKS
- Šiđanin P. & Tepavčević B., (2010). *Maketarstvo za studente arhitekture*, Novi Sad, Fakultet tehničkih nauka
- Taton, R. (1951). *L'oeuvre mathématique de G. Desargues*. Paris: Paris Presses. Universitaires de France.
- Terzidis, K. (2003). *Expressive Form, a conceptual approach to computational design*. New York : Spon Press.
- Thomine-Berrada, A. (2008). Pictorial versus intellectual representation. U M. Carpo, & F. Lemerle (Eds.), *Perspective, Projections & Design* (str. 141-150). London i New York: Routledge.
- Thompson, D. (1945). *On Growth and Form*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Tzonis, A., & Winfried, N. (Eds.). (1990). *Walter Gropius Archive: An Illustrated Catalogue of the Drawings, Prints, and Photographs in the Walter Gropius Archive at the Busch-Reisinger Museum* (Vols. 1-4). Cambridge, MA: Garland Publishing/ Harvard University Art Museums.
- Waldrop, M. M. (1993). *Complexity: the emerging science at the edge of order and chaos*. New York: A Touchstone Book.
- Webb, A. (1904). Remise de la Médaille d'or du roi à M. Auguste Choisy, . *Annales des Ponts et Chaussées* (4), 211-218.
- Williams, C. J. (2001). The analytic and numerical definition of the geometry of the British Museum Great Court Roof. U M. Burry, S. Datta, A. Dawson, & A. J. Rollo (Eds.), *Mathematics design* (str. 434-440). Geelong, Victoria, Australia: DeakU University.
- Willink, A., (1893) *The World of the Unseen: An Essay on the Relation of Higher Space to Things Eternal*, New York, MacMillan
- Wolfram, S. (1983). Statistical Mechanics of Cellular Automata. *Reviews of Modern Physics* , 55, 601-644.
- Wooldridge, M. (2002). *An Introduction to MultiAgent Systems*. London: John Wiley & Sons Ltd
- van Berkel, B., & Bos, C. (2006). *Design Models: Architecture Urbanism Infrastructure*. London: Thames & Hudson
- van de Seek, J. (1989). Adolf Loos - patterns of town houses. U M. Risselada (Ed.), *Raumplan versus Plan Libre : Adolf Loos and Le Corbusier, 1919 - 1930* (str. 27-47). New York: Rizzoli.
- van Doesburg, T. (1924). Towards a plastic architecture. *De Stijl* , XII (6/7)
- Veltman, K. H. (2004). *The Sources of Perspective*. Preuzet 31. jula 2007, sa Virtual Maastricht McLuhan Ustitude, URL: <http://www.sumscorp.com/perspective/Vol1/title.html>
- Vesely, D. (2004). *Architecture in the age of divided representation*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Vitruvije, M. P. (2006). *Deset knjiga o arhitekturi*. Beograd: GrađevUska knjiga.
- Vujaklija, M. (1991). *Leksikon stranih reči i izraza*. Beograd: Prosveta.

#### **Korišćeni web izvori i online publikacije:**

- Arken Museum of Modern Art, *Nancy Burson: About the Work*. (n.d.). Preuzeto 23. jula 2010, URL:[http://www.arken.dk/content/us/arkens\\_collection/photography\\_and\\_graphics/nancy\\_burson/about\\_the\\_work](http://www.arken.dk/content/us/arkens_collection/photography_and_graphics/nancy_burson/about_the_work)
- Arciszewski, T., & Kicinger, R. (2005). *Structural Design Inspired by Nature*. Rome: AICC predavanje po pozivu. online verzija preuzeta 14 maja 2009. URL: <http://www.kicinger.com/publications/pdf/ArciszewskilCSEC2005.pdf> .

- Aurel, M. (2001, 10 3). *Predavanja Isomorphic Surfaces na kursu Computer Graphics for Architects* . Preuzeto 27. jula 2010, sa: Department of Architecture Hong Kong:  
URL: <http://courses.arch.hku.hk/ComGraphics/01-02/themes/isomorphic/Isomorphic%2001.ppt>.
- Banchoff, T. (1996). *Math 8: The Mathematical Way of Thinking - Historical Background*. Preuzeto 11. marta 2009. sa: Brown University Mathematics Department,  
URL: <http://www.math.brown.edu/~banchoff/STG/ma8/papers/anogelo/hist4dim.html>
- Boittu , M., Callahan, E., Goldberg, D., & Remes, J. (1998, Decembar). *Math That Makes You Go Wow: A Multi-Disciplinary Exploration of Non-Orientable Surfaces*. Preuzeto 30. januara 2010, sa: The Ohio State University, Department of Mathematics. URL: <http://www.math.ohio-state.edu/~fedorow/math655/yale/>
- Chu, K. (n.d.). Genetic Space. preuzeto 23. marta 2010, sa: Synworld playwork: hyperspace,  
URL: [http://synworld.t0.or.at/level2/soft\\_structures/allgemein/genetic.htm](http://synworld.t0.or.at/level2/soft_structures/allgemein/genetic.htm)
- Complexity Science Focus* , (n.d.). Studying Complexity Science. Preuzeto 27. februara 2010.  
URL: <http://www.complexity.ecs.soton.ac.uk/index.php?page=q1>
- Deppe, V. P. (2009, decembar 5). *Four cars rolled into one: Vario Research Car*. Retrieved jul 23, 2010, from URL: Mercedes-Benz Passion eBlog: <http://eblog.mercedes-benz-passion.com/2009/12/four-cars-rolled-into-one-vario-research-car/>
- Dpr-barcelona, (2009, Septembar 21). *Endless House | Frederick Kiesler*. Preuzeto 22 januara, 2010,  
URL: <http://dprbcn.wordpress.com/2009/09/21/endless-house-frederick-kiesler/>
- du Sautoy, M., (2009, mart 25). Go fourth... into another dimension preuzeto 18. maja 2008. sa: times online  
URL: [http://www.timesonline.co.uk/tol/life\\_and\\_style/article5969764.ece](http://www.timesonline.co.uk/tol/life_and_style/article5969764.ece)
- El Lissitzky, (1925). K. und Pangeometrie, (odlomak)* Preuzeto 17 maja, 2009. sa: g26.ch PLATTFORM FÜR KUNST KULTUR UND GESELLSCHAFT URL: [http://www.g26.ch/art\\_lissitzkij.html](http://www.g26.ch/art_lissitzkij.html)
- Frost A., (2004). *National Swimming Centre*, Preuzeto 10. maja 2001 sa: arcspace (2004, 19 januar),  
URL: <http://www.arcspace.com/architects/ptw/index.html>
- Guiney, A. (2001, 1 jul). *On the Boards*. Preuzeto 11 maja 11 2009, sa: All Business:  
URL: <http://www.allbusiness.com/construction/4359228-1.html>
- Hansmeyer, M., (n.d.). L-Systems in Architecture - What are L-Systems? Preuzeto 24. avgusta 2010 sa: Michael Hansmeyer Architecture *Portfolio* Supplement, URL: [http://www.mh-portfolio.com /L\\_Systems/ls2.html](http://www.mh-portfolio.com /L_Systems/ls2.html)
- Hadid, Z. (2003, 7 jul). *Exhibition Zaha Hadid Architecture MAK, Vienna*. Preuzeto juna 2, 2009, sa arcspace.  
URL: <http://www.arcspace.com/exhibitions/mak/>
- Hemberg, M. (2009, 5 21). *Genr8: a surface design tool based on generative growth and Evolutionary computation*. Preuzeto 23. marta 2010, sa MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory:  
URL: <http://projects.csail.mit.edu/emergentDesign/genr8/>
- Hovestadt, L., & Bühlmann, V. (n.d.). *Abstracting from the elements of nature – Towards a medial architectonics*. Preuzeto 27. avgusta 2010, sa holcimfoundation for Sustainable Construction:

URL:[http://www.holcimfoundation.org/Portals/1/docs/F10/ExpertPapers/F10\\_BlueWorkshop\\_Paper\\_HovestadtLudger.pdf](http://www.holcimfoundation.org/Portals/1/docs/F10/ExpertPapers/F10_BlueWorkshop_Paper_HovestadtLudger.pdf)

Howell, I., & Batcheler, B. (2005, maj). *Building Information Modeling Two Years Later –Huge Potential, Some Success and Several Limitations*. Preuzeto 16 jula 2010, sa The LaiserU Letter:  
URL: [http://www.laiserin.com/features/bim/newforma\\_bim.pdf](http://www.laiserin.com/features/bim/newforma_bim.pdf)

Inselberg, A. (2004). *Alfred Inselberg: Parallel Coordinates – How it happened*. Preuzeto marta 13, 2009, sa: School of Mathematical Sciences, Tel Aviv University. URL: <http://www.math.tau.ac.il/~aisreal/>

Kezys, J. (2005, 27 maj). *Presentation at the 25th Annual OCMA Conference, Shock of the New: The NonEuclidean bases of Modern Art*. Preuzeto 13 juna 13, 2008, sa: Mathematics Department of Mohawk College.  
URL: [http://math.mohawkcollege.ca/OCMA/conf05/Post\\_Conf05/john\\_Modern\\_%20Art.pdf](http://math.mohawkcollege.ca/OCMA/conf05/Post_Conf05/john_Modern_%20Art.pdf)

Knight, T. (1999). *Applications U Architectural Design, and Education and Practice*. Cambridge, MA: Department of Architecture School of Architecture and Planning, MIT, online publikacija Preuzeto 25. januara 2010.  
URL: [www.shapegrammar.org/education.pdf](http://www.shapegrammar.org/education.pdf).

Krikke, J. (1996). *A Chinese Perspective for Cyberspace*. Preuzeto 17. januara 2010, sa: International Institute for Asian Studies URL: <http://www.iias.nl/iiasn/iiasn9/eastasia/krikke.html>

Kokkugia studio, (n.d.). preuzeto 20. avgusta 2010. URL: <http://www.kokkugia.com/>

Lab architecture studio (n.d.). Preuzeto 10. maja 2010 URL: <http://www.labarchitecture.com/>

Laplace P. S., (1902). *A Philosophical Essay on Probabilities*. online verzija, Preuzeto 19 januara, 2010,  
URL: <http://www.archive.org/details/philosophicaless00lapliala>

Laiserin, J. (2002, decembar 16). *Comparing Pommies and Naranjas*. Preuzeto 16. jula 2010, sa The LaiserU Letter:  
URL: <http://www.laiserin.com/features/issue15/feature01.php>

Mendel, H., (n.d.). *Antička matematika*, preuzeto 11. avgusta 2010, sa: California State University,  
URL: <http://www.calstatela.edu/faculty/hmendel/Ancient%20Mathematics/Euclid/Optics/Optics.html>

Meiss J., (2007). Dynamical systems. Preuzeto 22 juna, 2009, sa: Scholarpedia, 2(2):1629,  
URL: [http://www.scholarpedia.org/article/Dynamical\\_systems](http://www.scholarpedia.org/article/Dynamical_systems)

Mollaert, M. (n.d.). *Olympic Games 1972 (Munich): Olympic stadium*. Preuzeto 6. jula 2010, sa: TensiNet:  
URL: <http://www.tensinet.com/database/viewProject/3779>

Novak, M. (2000). *Paracube*. Preuzeto maja 27, 2009, sa: Archilab Europe 2008 Architecture Strategique.  
URL: <http://www.archilab.org/public/2000/catalog/ftca01en.htm>

O'Connor, J., & Robertson, E. (2007, februar). *Duncan MacLaren Young Sommerville: Biography*. Preuzeto 18 februara 2008, sa: School of Mathematical and Computational Sciences.  
URL: <http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Sommerville.html>

Panin, T., (2003). *Doktorska disertacija: Space-art: The dialectic between the concepts of Raum and Bekleidung*, University of Pennsylvania, Philadelphia. *Dissertations available from ProQuest*. Paper AA13087446.  
URL: <http://repository.upenn.edu/dissertations/AA13087446>



Review painting , *Anamorphism painting techniques*, (n.d.). preuzeto 27. marta 2008.

URL: <http://www.reviewpainting.com/Anamorphism.htm>

Peil, T. (2005). *Survey of Geometry*. Preuzeto 11 februara, 2009, sa Minnesota State University Moorhead,

URL: <http://www.mnstate.edu/peil/geometry/C2EuclidNonEuclid/6Saccheri.htm>

Shimomisse, E. (1996). *History of Philosophy INthe Classical Period*. Preuzeto 23. septembra 2008, sa: California State University, The Centre for Philosophy and Phenomenological Studies,

URL: [http://www.csudh.edu/phenom\\_studies/greekphil/greek08.htm](http://www.csudh.edu/phenom_studies/greekphil/greek08.htm)

Stevin, S., (1594) .The Principal Works, [IV] The Art of War, Preuzeto 13. februara 2009, sa: Digital Library of the Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, URL: <http://www.historyofscience.nl/>

Stock-Allen, N. (1999). *History of the Graphic Design*. Preuzeto 10 juna 2010, sa: 20th century Avant garde

URL: [http://www.designhistory.org/20th\\_Century.html](http://www.designhistory.org/20th_Century.html)

Tapia, M. A., & Duarte, J. P. (1999). *Intro*. Preuzeta 10. januara 2010, sa: ShapeGrammar,

URL: <http://www.shapegrammar.org/intro.html>

*Temple Expiatori Sagrada Familia*, (n.d.). *Hyperbolic Paraboloid*. preuzeto 28. januara 2010,

URL: [http://www.sagradafamilia.cat/sf-eng/docs\\_instit/pdf/geom\\_04.pdf](http://www.sagradafamilia.cat/sf-eng/docs_instit/pdf/geom_04.pdf)

thingsmagazine,(2005, jul 29).[blog] Preuzeto 17 maja, 2009,

URL: [http://www.thingsmagazine.net/2005\\_07\\_01\\_oldthings.htm](http://www.thingsmagazine.net/2005_07_01_oldthings.htm)

Weissteu, E. W., Topology. Preuzeto 14 januara 2009, sa: MathWorld--A Wolfram Web,

URL: <http://mathworld.wolfram.com/Topology.html>

Wikipedia, (n.d.). Grande Arche preuzeto 18. maja 2008

URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Grande\\_Arche](http://en.wikipedia.org/wiki/Grande_Arche)

## 6. Izvori ilustracija

- 1 (Veltman K. , 1980, str. 14)
- 2 <http://medicine-history.blogspot.com/2008/11/book-of-optics-opticae-thesaurus.html>  
(10. jan. 2010)
- 3 (Vesely, 2004, str. 129)
- 4 (Vesely, 2004, str. 146)
- 5 (Vesely, 2004, str. 158)
- 6 levo: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pacioli.jpg> (10. jan. 2010)  
desno: <http://sewww.epfl.ch/SIC/SA/SPIP/Publications/spip.php?article1358>  
(10. jan. 2010)
- 7 (Vesely, 2004, str. 193)
- 8 (Newton, *Enumeratio linearum tertii ordinis*, 1797 str. 216.)
- 9 Ilustracija autora
- 10 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 20)
- 11 [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Andrej\\_Rubl%C3%ABv\\_001.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Andrej_Rubl%C3%ABv_001.jpg) (10. jan. 2010)
- 12 sa leva na desno redom:  
<http://chestofbooks.com/architecture/James-Fergusson/Illustrated-Handbook-of-Architecture---Christian-Architecture/776-P.jpg.html> (12. jan. 2010)  
<http://ened.tistory.com/archive/200805> (12. jan. 2010)  
[http://math.ucr.edu/home/baez/kepler\\_mysterium\\_cosmographicum.jpg](http://math.ucr.edu/home/baez/kepler_mysterium_cosmographicum.jpg)  
(12. jan. 2010)
- 13 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 31)
- 14 (Vesely, 2004, str. 170)
- 15 (Vesely, 2004, str. 169)
- 16 <http://www.wga.hu/art/p/peruzzi/farnesi3.jpg> (17. jan. 2010)
- 17 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 147)
- 18 Ilustracija autora
- 19 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 154)
- 20 [http://www.uni-mainz.de/bilder\\_presse/hortus\\_03.jpg](http://www.uni-mainz.de/bilder_presse/hortus_03.jpg) (12. jan. 2010)
- 21 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 201)
- 22 Gore: (Gomez & Pelletier, 2000, str. 186) dole: (Gomez & Pelletier, 2000, str. 188)
- 23 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 197)
- 24 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 136)
- 25 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 136)
- 26 (Booker, 1963, str. 84)
- 27 (Booker, 1963, str. 105)
- 28 [http://imgbase-scd-ulp.u-strasbg.fr/imgbase\\_lien/scdulp/H11542/0476.jpg](http://imgbase-scd-ulp.u-strasbg.fr/imgbase_lien/scdulp/H11542/0476.jpg)  
(12. jan. 2010)
- 29 [http://massengale.typepad.com/venustas/2004/06/regent\\_street.html](http://massengale.typepad.com/venustas/2004/06/regent_street.html) (9. jan. 2010)
- 30 (Descargues, 1976, str. 118)
- 31 (Schank Smith, 2005, str. 92)

32 (Diran, 2005, str. 114)

33 (Carpo & Lamerle, 2008, str. 156)

34 [http://www.artnet.com/Artists/LotDetailPage.aspx?lot\\_id=99DDEDEB0DFB6E77](http://www.artnet.com/Artists/LotDetailPage.aspx?lot_id=99DDEDEB0DFB6E77)  
(9. jan. 2010)

35 <http://rubens.anu.edu.au/htdocs/bytype/prints/piranesi/0007/713.JPG> (9. jan. 2010)

36 (Schank Smith, 2005, str. 78)

37 <http://www.hwupgrade.it/forum/showthread.php?p=22315625> (9. jan. 2010)

38 levo: (Ledu, 2002, str. 150) desno: (Ledu, 2002, str. 101)

39 (Ledu, 2002, str. 56)

40 (Vesely, 2004, str. 260)

41 [http://www.flatrock.org.nz/topics/history/assets/crystal\\_palace.jpg](http://www.flatrock.org.nz/topics/history/assets/crystal_palace.jpg) (9. jan. 2010)

42 <http://www.vienna.cc/english/karlsplatz3.htm> (9. jan. 2010)

43 (Risselada ed., str. 89)

44 (Le Korbizje, 1999, str. 149)

45 (Le Korbizje, 1999, str. 128)

46 [http://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb\\_concepts.html](http://map.gsfc.nasa.gov/universe/bb_concepts.html) (11. mart 2009)

47 Ilustracija autora

48 <http://translab.burundi.sk/code/vzx/#6> (11. mart 2009)

49 <http://www.math.tau.ac.il/~aiisreal/> (11. mart 2009)

50 [http://en.wikipedia.org/wiki/Superstring\\_theory](http://en.wikipedia.org/wiki/Superstring_theory) (11. mart 2009)

51 <http://www.ibiblio.org/eldritch/ea/F06.HTM> (11. mart 2009)

52 <http://www.ibiblio.org/eldritch/ea/F16.HTM> (11. mart 2009)

53 Preuzeto i redizajnirano iz (Emmer, 2004) (11. mart 2009)

54 gore: <http://digital.library.cornell.edu/m/math/index.php>; (11. mart 2009)  
dole: <http://www.etsav.upc.edu/signatures/tih03/anteriors/tard06/1123/1123.html>  
(11. mart 2009)

55 gore: <http://www.romansk.ku.dk/bib/hb/spec/marey.htm> (12 mart 2009)  
dole: <http://www.wsdstaff.net/~mmontierth/> (12 mart 2009)

56 gore: <http://insidethecosmiccube.blogspot.com/2007/11/inside-corpus-hypercubus.html>  
(12 mart 2009)  
dole: <http://www.techfak.uni-bielefeld.de/~walter/h2vis/> (12 mart 2009)

57 (Emmer, 2004, str. 47)

58 <http://greenlanddesign.org/colleg/tag/constructivism/> (13. mart 2009)

59 <http://neoplasticism.com/Theo-Van-Doesburg.html> (13. mart 2009)

60 <http://www.the-artfile.com/ArtFile/artists/rietsveld/schroederinteriordrawing.shtml>  
(13. mart 2009)

61 gore: (Evans, 2000, str. 343)  
dole: [http://www.eastsideprojects.org/files/gimings/12\\_el-lissitzky-abstract.jpg](http://www.eastsideprojects.org/files/gimings/12_el-lissitzky-abstract.jpg)  
(13. mart 2009)

62 gore: <http://www.athenaeum.ch/acturat2.htm> (13. mart 2009)  
sredina: <http://www.arthistory.upenn.edu/spr01/282/w5c2i05.htm> (12 mart 2009)  
dole: (Risselada ed., str. 110)

63 gore: <http://www.arch.mcgill.ca/prof/bourke/arch672/fall2002/arts.htm>  
(13. mart 2009)  
dole: <http://caad.arch.ethz.ch/teaching/nds/ws96/script/space/st-space.html>  
(13. mart 2009)

64 [http://www.aip.de/image\\_archive/images/einsteinturm\\_7443.jpg](http://www.aip.de/image_archive/images/einsteinturm_7443.jpg) (17. mart 2009)

65 levo: (Lisicki, 2000, str. 74)  
sredina gore, dole: (Černjihov, s.d., str. 80, 152) desno gore: (Lisicki, 2000, str. 95)  
desno dole: <http://coilhouse.net/2007/09/01/el-lissitzky/> (17. mart 2009)  
(Lisicki, 2000, str. 46)

66 gore: <http://www.stevenholl.com/project-detail.php?type=houses&id=52&page=0>  
(17. mart 2009)  
dole: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=374370> (17. mart 2009)

67 gore: [http://www.mediamatic.nl/magazine/8\\_2/Perella-Hyper.html](http://www.mediamatic.nl/magazine/8_2/Perella-Hyper.html) (17. mart 2009)  
sredina: <http://x2.i-dat.org/~cs/places/speed.pdf> (17. mart 2009)  
dole: <http://www.archilab.org/public/2000/catalog/novak/novaken.htm#>  
(17. mart 2009)

68 [http://figure-ground.com/vitra\\_fire/0011/](http://figure-ground.com/vitra_fire/0011/) (17. mart 2009)

69 [http://figure-ground.com/vitra\\_fire/0024/](http://figure-ground.com/vitra_fire/0024/) (17. mart 2009)

70 <http://www.newitalianblood.com/show.pl?id=687> (18. mart 2009)

71 od gore na dole: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/Image-Koenigsberg%2C\\_Map\\_by\\_Merian-Erben\\_1652.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/15/Image-Koenigsberg%2C_Map_by_Merian-Erben_1652.jpg) (18. mart 2009)  
<http://physics.weber.edu/carroll/honors/konigsberg.htm> (18. mart 2009)  
<http://www.learner.org/courses/mathilluminated/units/11/textbook/02.php>  
(18. mart 2009)

72 ilustracija autora

73 ilustracija autora

74 [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Oudin\\_coil\\_and\\_circuit\\_diagram.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Oudin_coil_and_circuit_diagram.png) (6. oktobar 2009)

75 <http://homepage.ntlworld.com/clivebillson/tube/tube.html> (6. oktobar 2009)

76 (Thompson, 1945, str. 1082,1083)

77 gore: <http://www.flickr.com/photos/20561948@N00/2813145674>  
(6. oktobar 2009)  
sredina:<http://www.boxvox.net/polyhedra/page/2/> (6. oktobar 2009)  
dole: <http://www.squidoo.com/mc-escher> (6. oktobar 2009)

78 <http://www.biennialoftheamericas.org/artists/pedro-reyes> (6. oktobar 2009)

79 <http://forums.macrumors.com/showthread.php?t=989396&page=10> (6. oktobar 2009)

80 [http://www.cartype.com/pics/6272/full/virtual\\_reality\\_system.jpg](http://www.cartype.com/pics/6272/full/virtual_reality_system.jpg) (6. oktobar 2009)

81 [http://www.mundi.net/maps/maps\\_020/walrus.html](http://www.mundi.net/maps/maps_020/walrus.html) (6. oktobar 2009)

82 (Mitchell, 1995, str. 205)

83 <http://www.team10online.org/> (6. oktobar 2009)

84 <http://www.arqred.mx/blog/2009/09/05/inner-circle-alison-and-peter-smithson-works/sheffield-u-project-competition/> (11. novembar 2009)

85 (Schank Smith, 2005, str. 198)

86 Kristofer Aleksander, *A City is Not a Tree*, 1966

87 Dave Ten Hoop, Peter Eisenmann: Between method and madness, semestralni rad 2009/2010 Eindhoven University of Technology

88 prve tri slike gore: [http://www.rebstockpark-ffm.de/rebstockpark\\_eisenman\\_e.htm](http://www.rebstockpark-ffm.de/rebstockpark_eisenman_e.htm)  
(11. novembar 2009)  
dole: [http://www.magazin-world-architects.com/de\\_07\\_43\\_onlinemagazin\\_praxistest\\_de.html](http://www.magazin-world-architects.com/de_07_43_onlinemagazin_praxistest_de.html) (11. novembar 2009)



89     gore: [http://www.nitrosaggio.net/H/DE%20LUCA/formazione/lecture/lecture\\_tecniques-design/DE\\_LUCA\\_did\\_tech-des3.htm](http://www.nitrosaggio.net/H/DE%20LUCA/formazione/lecture/lecture_tecniques-design/DE_LUCA_did_tech-des3.htm) (11. novembar 2009)  
dole: Peter Eisenman, *Written into the void: selected writings, 1990-2004*, 2007 str 14.

90     (Eisenman, 1996, str. 198)

91     (Lynn, 1999, str. 25)

92     Maketa za projekat biblioteka Žisio, Rem Kolhasa.

93     (Dženks, 1990, str. 236)

94     gore: <http://es.urbarama.com/project/kunsthhaus-graz> (14. januar2010)  
dole: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Birmingham\\_Selfridges\\_building.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Birmingham_Selfridges_building.jpg)  
(14. januar2010)

95     [http://www.moma.org/modernteachers/large\\_image.php?id=77](http://www.moma.org/modernteachers/large_image.php?id=77) (14. januar2010)

96     (Eisenman, 1999, str. 69,197) slika dole:  
<http://www.flickr.com/photos/10464475@N06/2411765183/> (14. januar2010)

97     gore: (van Berkel & Bos, 2006, str. 152)  
sredina:<http://arqhoy.blogspot.com/2007/06/mobius-house-het-gooi-holanda.html>  
(14. januar2010)  
dole: <http://www.riemerpostma.net16.net/begrippen.html> (14. januar2010)

98     <http://www.unstudio.com/unstudio/projects/living-tomorrow#img1> (14. januar2010)

99     <http://fromaardvarkstozinc.blogspot.com/2008/11/math-fractal.html> (15. januar2010)

100    <http://ngm.nationalgeographic.com/2007/07/swarms/swarms-photography>  
(15. januar2010)

101    [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Water\\_Crystals\\_on\\_Mercury\\_20Feb2010\\_CU1.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Water_Crystals_on_Mercury_20Feb2010_CU1.jpg)  
(15. januar2010)

102    [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lorenz\\_attractor\\_boxed.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lorenz_attractor_boxed.svg) (15. januar2010)

103    <http://www.chaoscope.org/gallery.htm> (15. januar2010)

104    [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Animated\\_fractal\\_mountain.gif](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Animated_fractal_mountain.gif) (15. januar2010)  
dole: <http://www.fractal-landscapes.co.uk/images.html> (15. januar2010)

105    <http://planning.cs.uiuc.edu/node379.html> (15. januar2010)

106    (Hensel & Menges, 2008, str. 102-103)

107    <http://www.amazon.co.uk/Folding-Architecture-Architectural-Design-Greg/dp/0470092181>  
(15. januar2010)

108    <http://sjet.wordpress.com/page/3/> (16. januar2010)

109    (Batty & Longley, 1994, str. 74)

110    (Frazer, 1995, str. 68-70)

111    (Frazer, 1995, str. 86,98)

112    (Hensel, Hight, & Menges, 2009, str. 44)

113    (Allen, 1997, str. 26,30)

114    (Lynn, 1999, str. 108-112)

115    (Rahim, 2007, str. 57,65)

116    levo: [http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture\\_colour/nonperiodic/](http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture_colour/nonperiodic/)  
(16. januar2010)  
desno: <http://www.bcl.com.au/melbourne/views/mk022.htm> (16. januar2010)

117    gore: <http://www.stylepark.com/en/architecture/these-bubbles-wont-burst/301348>  
(16. januar2010)  
dole: [http://gsdmaterialsollection.blogspot.com/2008\\_09\\_01\\_archive.html](http://gsdmaterialsollection.blogspot.com/2008_09_01_archive.html)  
(16. januar2010)

118 (Hensel & Menges, 2008, str. 28,29)

119 [http://www.bibliotecapleyades.net/sitchin/planeta12/12planeteng\\_02.htm](http://www.bibliotecapleyades.net/sitchin/planeta12/12planeteng_02.htm)  
(16. januar2010)

120 [http://uncpress.unc.edu/pdfs/SampleChapters/9780807831106\\_summers\\_vision\\_ch1.pdf](http://uncpress.unc.edu/pdfs/SampleChapters/9780807831106_summers_vision_ch1.pdf)  
(16. januar2010)

121 (Ackerman, 2002, str. 30)

122 (Ackerman, 2002, str. 41)

123 (Ackerman, 2002, str. 38)

124 levo: (Ackerman, 2002, str. 57)  
desno:<http://www.architecture.com/LibraryDrawingsAndPhotographs/PalladioAndTheVeneto/PalladioAndHisRegion/Villas/LaRotonda/Rotonda2.aspx> (16. januar2010)

125 levo: (Ackerman, 2002, str. 58) desno: (Ackerman, 2002, str. 145)

126 (Ackerman, 2002, str. 61)

127 levo: <http://www.studiolo.org/Photography/Judging/Judging-Serlio-Theatrical%20Set.jpg>  
(17. januar2010)  
desno: [http://www.spamula.net/blog/2004/01/perspectiva\\_literaria.html](http://www.spamula.net/blog/2004/01/perspectiva_literaria.html)  
(17. januar2010)

128 levo: (Schank Smith, 2005, str. 26) sredina:(Schank Smith, 2005, str. 30)  
desno: (Schank Smith, 2005, str. 32)

129 (Evans, 2000, str. 222)

130 [http://www.camillotrevisan.it/anet/trait\\_en.htm](http://www.camillotrevisan.it/anet/trait_en.htm) (17. januar2010)

131 (Schank Smith, 2005, str. 60)

132 <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/83/Sanguo2.PNG> (17. januar2010)

133 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 150)

134 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 246)

135 <http://arquitectura.cesr.univ-tours.fr/Traite/Images/Masson159Index.asp>  
(17. januar2010)

136 gore: <http://arquitectura.cesr.univ-tours.fr/Traite/Images/Masson159Index.asp>  
(17. januar2010) dole: (Gomez & Pelletier, 2000, str. 273)

137 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 206)

138 (Descargues, 1976, str. 154)

139 (Bradley, 1834, str. 6-7)

140 [http://picasaweb.google.com/lh/photo/HclHyInTn\\_xlUNVFHFuKjw](http://picasaweb.google.com/lh/photo/HclHyInTn_xlUNVFHFuKjw) (17. januar2010)

141 (Booker, 1963, str. 138)

142 (Booker, 1963, str. 119)

143 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 308)

144 (Evans, 2000, str. 235)

145 (Bryon, 2009, pstr. 43,46)

146 (Gomez & Pelletier, 2000, str. 301,302)

147 (Schank Smith, 2005, str. 106)

148 levo:  
<http://www.spurlock.illinois.edu/DBimages/origdigi/1900/1900.43/1900.43.0019C.1.jpg>  
(17. januar2010)  
sredina:[http://thetextileblog.blogspot.com/2008\\_12\\_01\\_archive.html](http://thetextileblog.blogspot.com/2008_12_01_archive.html) (17. januar2010)  
desno: <http://www.gettyimages.com/detail/56455772> (17. januar2010)

149 (Schank Smith, 2005, str. 144,160)

- 150 gore: (Schank Smith, 2005, str. 158)  
dole: [http://www.artnet.com/artists/lotdetailpage.aspx?lot\\_id=D6DBB1CEBDC31A0B](http://www.artnet.com/artists/lotdetailpage.aspx?lot_id=D6DBB1CEBDC31A0B)  
(17. januar2010)
- 151 levo: [www.fba.fh-darmstadt.de](http://www.fba.fh-darmstadt.de) (17. januar2010)  
desno: [http://www.moma.org/collection/artist.php?artist\\_id=7056](http://www.moma.org/collection/artist.php?artist_id=7056) (17. januar2010)
- 152 gore: (Schank Smith, 2005, str. 170) dole: (Schank Smith, 2005, str. 182)
- 153 <http://www.stoa-architecture.com/theorie/?p=152> (18. januar2010)
- 154 (Frempton, 2004, str. 133)
- 155 gore: (Risselada ed., str. 125) dole: (Frempton, 2004, str. 106)
- 156 levo: sredina:[http://etsavega.net/dibex/Stirling\\_Leicester.htm](http://etsavega.net/dibex/Stirling_Leicester.htm) (18. januar2010)  
desno: <http://www.flickr.com/photos/seier/4928152576/> (18. januar2010)
- 157 (Goldshmidt & Klevitsky, 2004, str. 44,45)
- 158 <http://prattspring08.blogspot.com/2008/01/la-maison-dom-ino-eisenmans-analysis.html>  
(18. januar2010)
- 159 (Eisenman, 1999, str. 65)
- 160 (Semerani, 2008, str. 23,24)
- 161 gore: <http://www.e-c-o-l-e.com/classics/hejduk/> (18. januar2010)  
sredina, dole: (Gomez & Pelletier, 2000, str. 343)
- 162 <http://appendx.org/superbiahomes/appxwebsite/appendx/issue3/cohen/headstart/index1.htm> (18. januar2010)
- 163 (Schank Smith, 2005, str. 120)
- 164 gore: (Evans, 2000, str. 293)  
dole:[http://angelfloresjr.multiply.com/journal/item/484/I\\_miss\\_the\\_20th\\_century\\_Le\\_Corbuser\\_Notre-Dame-du-Haut\\_in\\_Ronchamp\\_1950-55](http://angelfloresjr.multiply.com/journal/item/484/I_miss_the_20th_century_Le_Corbuser_Notre-Dame-du-Haut_in_Ronchamp_1950-55) (18. januar2010)
- 165 (Evans, 2000, str. 303,304,313)
- 166 levo: (Schank Smith, 2005, str. 178)  
desno:[http://www.weblo.com/celebrity/available/asset\\_gallery/444092/2/Eero\\_Saarinen/](http://www.weblo.com/celebrity/available/asset_gallery/444092/2/Eero_Saarinen/)  
(18. januar2010)
- 167 <http://images.library.yale.edu/madid/showthumb.aspx?q=saarinen+terminal>  
(18. januar2010)
- 168 <http://sr789.wordpress.com/2007/10/18/ivan-sutherland/> (18. januar2010)
- 169 (Rocker, 2006, str. 22)
- 170 [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Apple\\_Macintosh\\_Desktop.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Apple_Macintosh_Desktop.png) (18. januar2010)
- 171 (Choo, 2004, str. 2)
- 172 [http://www.arcad.com/details/cad\\_details.shtml](http://www.arcad.com/details/cad_details.shtml) (18. januar2010)
- 173 gore: <http://www.steven.mcgann.com/amorphism.html> (18. januar2010)  
dole: <http://www.travelpod.com/travel-blog-entries/courtneybrannan/1/1271017605/tpod.html> (19. januar2010)
- 174 <http://users.telenet.be/ogawasatoshi/doorwaardplan.jpg> (19. januar2010)
- 175 6gore:[http://1.bp.blogspot.com/\\_S57BC5oDY9s/S4Y7J9XRb4I/AAAAAAAAABD8/ZR3RQmKt9jw/s1600-h/CAD+1977.gif](http://1.bp.blogspot.com/_S57BC5oDY9s/S4Y7J9XRb4I/AAAAAAAAABD8/ZR3RQmKt9jw/s1600-h/CAD+1977.gif) (19. januar2010)  
dole: <http://www.cadoutsourcingservices.com/bim-4d-modeling.php> (19. januar2010)
- 176 Autorova ilustracija
- 177 (Pottman, Asperl, Hofer, & Axel, 2007, str. 278)
- 178 (Pottman, Asperl, Hofer, & Axel, 2007, str. 280)

- 179 (Kolarevic, 2003, str. 19)  
 poslednja dole: <http://funkyjunkie.wordpress.com/2007/08/08/materialities/>  
 (19. januar2010)
- 180 (Lynn, 1999, str. 160, 161)
- 181 levo: <http://www.nancyburson.com/pages/onewithdna.html>  
 desno: [http://mercedes-benz-blog-trivia.blogspot.com/2010\\_01\\_31\\_archive.html](http://mercedes-benz-blog-trivia.blogspot.com/2010_01_31_archive.html)  
 (20. januar2010)
- 182 levo: (Zellner, 1999, str. 28,29)  
 desno: <http://www.sfmoma.org/artwork/110177#> (20. januar2010)
- 183 levo: <http://wiki.blender.org/index.php/File:Bsod-particles-metaballs.jpg>  
 (20. januar2010)  
 desno: (Lynn, 1998, str. 165)
- 184 (Zellner, 1999, str. 143,145)
- 185 (Kolarevic, 2005, str. 21,132)
- 186 levo: 3ds max help sredina, desno:(Lynn, 1999, str. 158,160)
- 187 (Rahim, 2007, str. 119,121)
- 188 (Kolarevic, 2003, str. 124,125)
- 189 (Mangelsdorf, 2010, str. 42)
- 190 (Mangelsdorf, 2010, str. 44)
- 191 Slajd Toni Kotnika, sa predavanja na ETH.
- 192 gore: <http://research.engineering.wustl.edu/~pless/546/lectures/L11.html>  
 (20. januar2010)  
 dole: [http://matsysdesign.com/category/projects/c\\_wall/](http://matsysdesign.com/category/projects/c_wall/) (20. januar2010)
- 193 levo: [http://atelier-ad.blogspot.com/2008\\_02\\_01\\_archive.html](http://atelier-ad.blogspot.com/2008_02_01_archive.html) (20. januar2010)  
 desno: <http://ohsoosun.blogspot.com/2007/05/digital-origami-with-chris-bosse.html>  
 (20. januar2010)
- 194 levo: <http://generatorx.no/gx20workshop/> (20. januar2010)  
 desno: [http://tvmny.blogspot.com/2007\\_11\\_01\\_archive.html](http://tvmny.blogspot.com/2007_11_01_archive.html) (20. januar2010)
- 195 (Aranda & Chris, 2003, str. 57-59)
- 196 (Kolarevic, Architecture in the Digital Age - Design and Manufacturing, 2003, str. 77)
- 197 (Fasoulaki, 2008, str. 13)
- 198 levo: (Prusinkiewicz & Lindenmayer, 2004, str. 25)  
 desno: <http://www.archinet.sk/Archinfo/images/clanky/FIG2.JPG> (21. januar2010)
- 199 <http://www.michael-hansmeyer.com/> (21. januar2010)
- 200 (Rocker, 2006, str. 24)
- 201 (Frazer, 1995, str. 89)
- 202 (Silver, 2004, str. 47-51)
- 203 <http://www.casa.ucl.ac.uk/andy/blogimages/helsinki2050.jpg> (21. januar2010)
- 204 Autorova ilustracija
- 205 (Leach, 2009, str. 60)
- 206 (Kolarevic, 2003, str. 24)
- 207 (Kolarevic, 2003, str. 86,87)
- 208 (levo, sredina) (Williams, 2001, str. 336,339)  
 desno: <http://www.travelmuse.com/articles/london/sightseeing-buses> (21. januar2010)
- 209 (Frazer, 1995, str. 58)
- 210 (Frazer, 1995, str. 61,62)



- 211 (Kotnik, 2006, str. 52)
- 212 [http://www.gehrytechnologies.com/index.php?option=com\\_jportfolio&cat=3&project=35&Itemid=25](http://www.gehrytechnologies.com/index.php?option=com_jportfolio&cat=3&project=35&Itemid=25) (21. januar2010)
- 213 [http://www.architectmagazine.com/Images/tmp881D.tmp\\_tcm20-159208.jpg](http://www.architectmagazine.com/Images/tmp881D.tmp_tcm20-159208.jpg)  
(21. januar2010)
- 214 (O'Reilly, Hemberg, & Hensel, 2004, str. 48)
- 215 <http://architecturalecologies.com/projects/branching-respiration-skin/>  
(19. avgust. 2010)

Dijagram 1 (Grafik: Kotnik, 2006, str. 33)