

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У БЕОГРАДУ

Мр Раша С. Андрејевић

СИНТЕЗА ОПТИМАЛНЕ СТРУКТУРЕ  
РЕВЕРЗИБИЛНОГ МЕХАНИЗМА  
ЛАМИНАТОРА ПРИМЕНОМ  
АКСИОМАТСКОГ ПРОЈЕКТОВАЊА

докторска дисертација

Београд, 2013.

University of Belgrade

Faculty of MECHANICAL ENGINEERING

Raša S. Andrejević M.Sc.ME

OPTIMAL STRUCTURE SYNTHESIS OF  
REVERSIBLE MECHANISM OF  
LAMINATOR USING AXIOMATIC DESIGN

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2013.

### **Комисија за оцену и одбрану дисертације**

**Ментор:** др Срђан Бошњак, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

**Чланови комисије:** др Александар Вег, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Бојан Бабић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Миодраг Стоименов, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Ненад Павловић, редовни професор  
Универзитет у Нишу, Машински факултет

**Датум одбране:**

## **СИНТЕЗА ОПТИМАЛНЕ СТРУКТУРЕ РЕВЕРЗИБИЛНОГ МЕХАНИЗМА ЛАМИНАТОРА ПРИМЕНОМ АКСИОМАТСКОГ ПРОЈЕКТОВАЊА**

### **Резиме**

Слојевање или ламинација тестане траке је једна специфична операција која постоји код линија за производњу тврдог кекса и крекера што је другачије у односу на осталу кондиторску опрему. Том операцијом формира се вишеслојна структура теста која има вишеструко позитиван ефекат на крајњи производ. Умирују се напони у тестаној траци изазвани стањивањем траке, добија се ваздушаста структура од мехурића заробљених између суседних слојева (повећан волумен) и претапају се слојеви теста дајући униформну траку.

Квалитет ламинирања теста првенствено зависи од квалитета саме машине – ламинатора и њеног уређаја за слојевање, односно реверзибилног механизма који треба да обради улазне сировине (брашно, уље, масноћа, адитиви), без обзира на одступања њиховог квалитета.

Циљ ове дисертације је да се методолошким приступом креира таква класа и структура механизма са интегрисаним погоном која ће остварити захтевано кретање, а као крајњи резултат дати добро формирану, слојевиту тестану траку. Упркос чињеници да тесто може бити променљивог вискозитета и адхезивности процес континуалног слагања и пресавијања мора континуално да се одвија уз истовремено ослобађање индукованих напона. Ови захтеви могу да се остваре успешно синтетизованом структуром и погоном реверзибилног механизма нове генерације.

Досадашња истраживања и студије о кретању, обликовању и слојевању тестане траке, а са аспекта оптималне синтезе структуре и погона извршних механизма не пружају могућност непосредне синтезе новог решења. Ради проналажења квалитетнијег решења потребно је било применити алате савремених метода, као на пример аксиоматско пројектовање. Применом методологије аксиоматског пројектовања, веома јасно, параметарски, и квантификованим критеријумима успешно се дефинишу технолошки захтеви и пројектни простор новог решења.

Пошто се ради о области конструисања прехранбено - кондиторских машина што се истражује унутар фабричких развојно - истраживачких центара, то је доступан веома мали број публикованих остварења. Најзначајнија доступна документација везана је за патентна решења. Ту је дефинисан примарни простор постојећих решења и слободни простор за синтезу новог решења које неће задирати у постојеће патентне захтеве.

У том смислу, разматрањем већ примењених решења уређаја за слојевање, изабран је циљ истраживања чијим реализовањем се омогућава изналажење оригиналног решења које треба да представља технолошки напредак у односу на постојеће стање у овој техници.

На светском тржишту постоје линије за производњу кекса и крекера код којих се користе различита решења механизма за ламинацију тестане траке. Вишегодишњим испитивањем показало се да ниједно од тих решења не може да излазни производ високог квалитета за улазне сировине које варирају у широком дијапазону. За разлику од тих познатих решења новоконструисани реверзибилни механизам за ламинирање показао је изузетну флексибилност и примењивост код сировина слабијег квалитета. Тим је отворен широк простор за развој, примену и пласман ове класе реверзибилног механизма за слојевање.

Закључује се да је потпуно оригинално постављена методологија за синтезу оптималне структуре реверзибилног механизма, да је развијено примењиво решење, да је дефинисан 3D модел и извршена виртуална верификација функционалности, да је затим према оригиналној радионичкој и склопној документацији израђено прототипско решење и да је кроз оперативно испитивање доказана потпуна валидност постављеног решења.

**Кључне речи:** слојевање – ламинација тестане траке, реверзибилни механизам, аксиоматско пројектовање, декомпозиција, оптимална синтеза,

**Научна област:** Машинство

**Ужа научна област:** Теорија машина и механизма

**UDK 62-1/-9(043.3)**

## **OPTIMAL STRUCTURE SYNTHESIS OF REVERSIBLE MECHANISM OF LAMINATOR USING AXIOMATIC DESIGN**

### **Abstract**

Layering or lamination of a dough strip is a specific operation that appears in product lines for hard biscuits and crackers, which is different compared to other conдитory equipment. This operation forms a multilayered structure of the dough that has multiple positive effects to the final product. Thus, the dough strip stresses induced by the strip thinning are soothed, the airy structure, created by the bubbles trapped between adjacent layers, is obtained (increased volume) and the dough layers are blended giving a uniform dough strip.

The quality of a laminated dough depends primarily on the quality of the machine – the laminator and its layering device, i.e. reversible mechanism which processes the incoming raw materials (flour, oil, grease, additives), regardless of the quality differences.

The aim of this thesis is the creation of such a class and structure of mechanism with integrated drive by a methodological approach that will achieve the required movement and give the well formed layered dough structure. Despite the fact that dough viscosity and adhesiveness can vary, the stacking and folding process must proceed continually with the releasing the induced stresses at the same time. These requirements can be achieved successfully by the synthesized structure and reverse drive mechanism of the new generation.

Previous research and studies of the motion, forming and layering of a dough strip do not provide the possibility of direct synthesis of a new solution in terms of optimal synthesis of the structure and drive of the executive mechanisms. In order to find better solutions, it was necessary to apply the tools of modern methods, such as axiomatic design. By the applying the axiomatic design methodology, the technological requirements and the design space of a new solution are defined successfully, clearly, parametric and by the quantifiable criteria.

Since this is a field of constructing food - conдитory machines, which are explored within the factory development and research centers, a very small number of published

works, are available. The most important accessible documents are related to the patent solutions. The primary space of the existing solutions is defined here, as well as the free space for the synthesis of a new solution that will not interfere with existing patent requirements.

Regard this, by the consideration of implemented solutions for layering device, the research goal was chosen, which realization enables the finding the original solution that would present a technological improvement over the current situation in this technique.

There are lines for the production of cookies and crackers on the world market based on the use of different mechanism solutions for the dough strip lamination. Long term study showed that none of these solutions can deliver the high quality product output for the input raw materials which vary in a wide range. In contrast to these known solutions, the newly-designed reversible mechanism for lamination demonstrated exceptional flexibility and applicability for lower quality raw materials. On this way, the wide space for the development, implementation and marketing of this class of layering reversible mechanism is opened.

It is concluded that the set of methodologies for the synthesis of optimal structure of the reversible mechanism is founded completely original, the applicable solutions has been developed, 3D model has been defined and virtual functionality verification has been realized, then, the prototype solution is accomplished after original technical documentation, and the complete validity of the solutions is proved by the operational test.

**Keywords:** Layering – the dough strip lamination, reversible mechanism, axiomatic design, decomposition, optimal synthesis

**Scientific discipline:** Mechanical Engineering

**Scientific sub discipline:** Theory of Machines and Mechanisms

**UDK 62-1/-9(043.3)**

# САДРЖАЈ

<b>1. УВОД</b> .....	1
<b>2. РАЗВОЈ ИДЕЈЕ О ПРОИЗВОДЊИ КЕКСА</b> .....	4
<b>3. ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПАК ПРОИЗВОДЊЕ ТВРДОГ КЕКСА И КРЕКЕРА</b> .....	9
<b>3.1 Сировине за производњу тврдог кекса и крекера</b> .....	10
<b>3.2 Складиштење сировина</b> .....	12
<b>3.3 Припрема и замес сировина</b> .....	12
<b>3.4 Печење</b> .....	14
<b>3.5 Хлађење</b> .....	16
<b>3.6 Паковање и складиштење</b> .....	16
<b>3.7 Структура технолошких операција машинске обраде теста у         производњи тврдог кекса и крекера</b> .....	17
<b>4. АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋИХ ТЕХНИЧКИХ РЕШЕЊА</b> .....	22
<b>4.1 Анализа постојећих конструктивних решења уређаја за слојевање         код ламинатора</b> .....	24
4.1.1 Уређај за слојевање са повратним ваљцима .....	24
4.1.2 Уређај за слојевање ламинатора WERNER & PFLEIDERER .....	25
4.1.3 Уређај за слојевање ламинатора BAKER PERKINS .....	29
4.1.4 Уређај за слојевање ламинатора Hecrona .....	31
<b>4.2 Анализа патентних решења уређаја за слојевање код ламинатора</b> .....	33
4.2.1 Метода за слојевање теста, OAKES Corporation .....	33
4.2.2 Ламинатори за теста SIMON VICARS Limited .....	36
4.2.3 Метода слојевања тестане траке, NABISCO Inc .....	38
4.2.4 Уређај за слојевано тесто, FRANK H. HUBBARD .....	41
4.2.5 Уређај за преклапање теста, PILLSBURY Company .....	44
4.2.6 Уређај за ламинацију тестане траке, Rheon Automatic Machinery .....	47
<b>4.3 Провера техничких система</b> .....	50



<b>5. АКСИОМАТСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ</b> .....	53
<b>5.1 Теоријска разматрања</b> .....	53
<b>5.2 Дефиниција пројектовања</b> .....	54
<b>5.3 Циљеви аксиоматског пројектовања</b> .....	56
<b>5.4 Улога аксиома у развоју науке и технологије</b> .....	58
<b>5.5 Оквир аксиоматског пројектовања</b> .....	59
5.5.1 Појам домена .....	59
5.5.2 Дефиниције .....	60
5.5.3 Успостављање релација између потреба клијента и функционалних захтева .....	61
5.5.4 Аксиома независности .....	62
5.5.5 Декомпоновање и хијерархија .....	66
5.5.6 Потреба за упоредним инжењерингом .....	67
5.5.7 Аксиома информације .....	68
5.5.8 Смањивање количине информације интеграцијом пројектних параметара.....	69
5.5.9 Пројектовање без потпуне информације .....	69
<b>5.6 Аксиоматско пројектовање и друге методологије</b> .....	71
<b>5.7 Примена методе аксиоматског пројектовања у развоју     реверзибилног механизма</b> .....	73
5.7.1 Пројектовање кроз декомпозицију .....	73
5.7.2 Декомпозиција FR и DP, конструктивна матрица, ограничења .....	74
5.7.3 Декомпозиција FR <sub>1</sub> (формирање тестане траке погодне за слојевање) и DP <sub>1</sub> (концепт формирања тестане траке) .....	76
5.7.4 Декомпозиција FR <sub>11</sub> (остваривање формата тестане траке) и DP <sub>11</sub> (систем за калибрацију) .....	77
5.7.5 Декомпозиција FR <sub>12</sub> (остваривање кретања тестане траке) и DP <sub>12</sub> (систем за кретање) .....	78
5.7.6 Декомпозиција FR <sub>111</sub> (остваривање дебљине тестане траке) и DP <sub>111</sub> (ваљци за финалну калибрацију) .....	80
5.7.7 Декомпозиција FR <sub>113</sub> (спречавање лепљења тестане траке) и DP <sub>113</sub> (механизам за одвајање тестане траке са ваљака) .....	81

5.7.8	Декомпозиција FR <sub>121</sub> (остваривање супротносмерног обртања пара ваљака) и DP <sub>121</sub> (модул за остваривање супротносмерног обртања пара ваљака) .....	83
5.7.9	Декомпозиција FR <sub>1111</sub> (могућност подешавања растојања између ваљака) и DP <sub>1111</sub> (механизам за подешавање растојања између ваљака) .....	85
5.7.10	Декомпозиција FR <sub>11111</sub> (константна паралелност уздужних оса ваљака) и DP <sub>11111</sub> (склоп улежиштења ваљака) .....	86
5.7.11	Декомпозиција FR <sub>11112</sub> (синхроно закретање оса ваљака по кружном луку) и DP <sub>11112</sub> (механизам за закретање оса ваљака по кружном луку) .....	87
5.7.12	Декомпозиција FR <sub>2</sub> (остваривање процеса слојевања тестане траке) и DP <sub>2</sub> (концепт остваривања слојевања тестане траке) .....	89
5.7.13	Декомпозиција FR <sub>21</sub> (остваривање слојевања хоризонталним реверзибилним кретањем) и DP <sub>21</sub> (концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање) .....	91
5.7.14	Декомпозиција FR <sub>22</sub> (одржавање хомогене структуре тестане траке током слојевања) и DP <sub>22</sub> (концепт наменског третирања тестане траке) .....	97
5.7.15	Декомпозиција FR <sub>23</sub> (могућност промене броја тестаних слојева) и DP <sub>23</sub> (модул за промену броја тестаних слојева) .....	99
5.7.16	Декомпозиција FR <sub>211</sub> (могућност компензације истицања тестане траке) и DP <sub>211</sub> (модул за компензацију тестане траке) .....	99
5.7.17	Декомпозиција FR <sub>212</sub> (Формирање слојеване тестане траке) и DP <sub>212</sub> (Модул за слојевање тестане траке) .....	102
5.7.18	Декомпозиција FR <sub>213</sub> (синхронизовано кретање реверзибилног механизма при компензацији и слојевању) и DP <sub>213</sub> (погонски модул) .	104
5.7.19	Декомпозиција FR <sub>2111</sub> (остваривање прихвата тестане траке) и DP <sub>2111</sub> (транспортна трака модула за компензацију) .....	106
5.7.20	Декомпозиција FR <sub>2112</sub> (остваривање компензације у току транспорта) и DP <sub>2112</sub> (колица за компензацију) .....	107
5.7.21	Декомпозиција FR <sub>2121</sub> (транспорт тестане траке за остваривање слојевања) и DP <sub>2121</sub> (транспортна трака модула за слојевање) .....	108
5.7.22	Декомпозиција FR <sub>2122</sub> (слојевање тестане траке) и DP <sub>2122</sub> (колица за слојевање) .....	109

5.7.23	Декомпозиција FR <sub>2133</sub> (остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за компензацију) и DP <sub>2133</sub> (подсклоп за остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за компензацију) .....	110
5.7.24	Декомпозиција FR <sub>2134</sub> (остваривање кретања погонских ваљака транспортне траке за слојевање) и DP <sub>2134</sub> (подсклоп за остваривање кретања погонских ваљка транспортне траке за слојевање) .....	111
5.7.25	Декомпозиција FR <sub>2135</sub> (остваривање реверзибилних кретања колица за компензацију и слојевање) и DP <sub>2135</sub> (подсклоп за остваривање реверзибилних кретања колица за компензацију и слојевање) .....	112
5.7.26	Декомпозиција FR <sub>21112</sub> (спречавање проклизавања транспортне траке модула за компензацију) и DP <sub>21112</sub> (затезни уређај транспортне траке) .....	114
5.7.27	Декомпозиција FR <sub>21113</sub> (одржавање правца кретања транспортне траке модула за компензацију) и DP <sub>21113</sub> (уређај за вођење транспортне траке) .....	115
5.7.28	Декомпозиција FR <sub>21122</sub> (пријем и предаја компензационе дужине тестане траке) и DP <sub>21122</sub> (реверзибилни ход колица за компензацију) .....	115
5.7.29	Декомпозиција FR <sub>21212</sub> (спречавање проклизавања транспортне траке модула за слојевање) и DP <sub>21212</sub> (затезни уређај транспортне траке) .....	116
5.7.30	Декомпозиција FR <sub>21213</sub> (одржавање правца кретања транспортне траке модула за слојевање) и DP <sub>21213</sub> (уређај за вођење транспортне траке) .....	117
5.7.31	Декомпозиција FR <sub>21222</sub> (формирање двоструког тестаног слоја)и DP <sub>21222</sub> (реверзибилни ход колица за слојевање) .....	117
5.7.32	Декомпозиција FR <sub>21343</sub> (остваривање секвенцијалног кретања погонских ваљака транспортне траке за слојевање) и DP <sub>21343</sub> (подсклоп секвенцијалног кретања погонских ваљака) .....	118
5.7.33	Декомпозиција FR <sub>21353</sub> (остваривање синхронизације кретања колица за компензацију и слојевање) и DP <sub>21353</sub> (подсклоп синхронизације кретања колица за компензацију и слојевање) .....	119

5.7.34 Формирање пројектне матрице за Концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање .....	120
<b>6. CAD МОДЕЛИРАЊЕ РЕВЕРЗИБИЛНОГ МЕХАНИЗМА ПРЕМА РЕЗУЛТАТИМА АКСИОМАТСКОГ ПРОЈЕКТОВАЊА .....</b>	<b>121</b>
<b>6.1 Прорачун кинематичких параметара ламинатора .....</b>	<b>121</b>
6.1.1. Одређивање кинематичких параметара ваљака за калибрацију .....	123
6.1.2. Одређивање броја обртаја ваљчастих транспортера .....	125
6.1.3. Одређивање кинематичких параметара излазног транспортера .....	126
6.1.4. Одређивање кинематичких параметара реверзибилног механизма .....	126
6.1.5. Одређивање броја ламината .....	127
<b>6.2 Прорачун снаге ваљака .....</b>	<b>129</b>
<b>6.3 3D прикази реверзибилног механизма код ламинатора .....</b>	<b>132</b>
<b>7. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА ПРОТОТИПСКОГ РЕШЕЊА .....</b>	<b>139</b>
<b>8. ЗАКЉУЧАК .....</b>	<b>144</b>
<b>9. ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>147</b>
<b>СПИСАК СЛИКА</b>	
<b>СПИСАК ТАБЕЛА</b>	
<b>ПРИЛОЗИ ДИСЕРТАЦИЈЕ</b>	
<b>БИОГРАФИЈА</b>	
<b>Прилог 1 - Изјава о ауторству</b>	
<b>Прилог 2 - Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада</b>	
<b>Прилог 3 – Изјава о коришћењу</b>	

# 1 УВОД

Од почетка рада Центра за механику машина Машинског факултета Универзитета у Београду, област пројектовања прехрамбених машина била је једна од најважнијих активности. С обзиром на сложеност превазилажења нових технолошких проблема постављани су захтеви за њихово решавање. То је створило потребу за истраживачким активностима чији се резултати огледају у низу новонасталих техничких решења као и више урађених и одбрањених докторских радова. Ово, у тези презентирано, истраживање је континуитет рада Центра и Катедре за Теорију машина и механизма на усавршавању постојећих и проналажењу нових поступака у области прехрамбених машина.

Слојевање или ламинација тестане траке је једна специфична операција која постоји код линија за производњу тврдог кекса и крекера што је другачије у односу на осталу кондиторску опрему. Том операцијом формира се вишеслојна структура теста, која има вишеструко позитиван ефекат на крајњи производ. Умирују се напони у тестаној траци изазвани стањивањем, добија се ваздушаста структура од мехурића заробљених између суседних слојева (повећан волумен), претапају се слојеви теста, дајући униформну траку. Квалитет ламинирања теста првенствено зависи од квалитета саме машине - ламинатора, и њеног уређаја за слојевање, односно реверзибилног механизма који треба да обради улазне сировине (брашно, уље, масноће, адитиви), без обзира на одступање њиховог квалитета.

Уређаји за слојевање се састоје од више повезаних подсклопова. Први у низу је пријемни транспортер који допрема непрекидну тестану траку или њене комаде, зависно од концепта. Затим долази уређај за слагање чији извршни механизми остварују различита реверзибилна кретања и коначно излазни транспортер постављен управно на правац пријемног транспортера а испод уређаја за слагање како би се остварило униформно слојевање.

Показало се да постојећа опрема светских произвођача веома тешко или никако не може да пружи висок излазни квалитет производа за улазне сировине слабијег квалитета. Наиме, механизми код постојећих решења ламинатора немају флексибилност да изведу потпуно и коректно технолошку операцију слојевања па са улазном сировином слабијег квалитета долази до лепљења тестане траке, гомилања, неравномерног истицања, недоследног формирања.

Претпоставља се да би квалитетнија решења погона реверзибилног механизма могла да пружи успешно слојевање теста и да би и са улазним сировинама слабијег квалитета могла да се формира континуална, стабилна и добро формирана тестана трака.

Циљ ове дисертације је да се методолошким приступом креира таква класа и структура механизма са интегрисаним погоном који ће остварити пројектовано кретање, а као крајњи резултат дати добро формирану слојевиту тестану траку, при чему и трака променљивог нивоа вискозности и адхезивности може да се континуално слаже и пресавија, ослобађајући се истовремено претходно индукованих напона током пресовања и истискивања. Ово може да се оствари успешно синтетизованом структуром и погоном реверзибилног механизма нове генерације.

Досадашња сазнања о кретању, обликовању и слојевању тестане траке, а са аспекта оптималне синтезе структуре и погона извршних механизма не пружају могућност непосредне синтезе новог решења. Ради проналажења квалитетнијег решења потребно је било истражити могућности савремених метода као што је аксиоматско пројектовање ради превазилажења недостатака постојећих решења. Применом методологије аксиоматског пројектовања, веома јасно, параметарски, и квантификованим критеријумима успело у дефинисању технолошких захтева и пројектног простора новог решења.

Пошто се ради о области конструисања прехранбено - кондиторских машина што се истражује унутар фабричких развојно - истраживачких центара, то је доступан веома мали број публикованих остварења. Најзначајнија доступна документација везана је за патентна решења. Ту је дефинисан примарни простор постојећих решења и слободни простор за синтезу новог решења које неће задирати у

постојеће патентне захтеве. Истраживачки центри фирми "BAKER PERKINS", "HECRONA", "WERNER & PFLEIDERER" патентирали су решења уређаја за слојевање, која представљају широк технички оквир из којег треба преузети перформансе, и по могућности их применити, али исто тако поставити таква решења механизма која ће бити довољно боља од патентираних.

У том смислу, разматрањем већ примењених решења уређаја за слојевање, изабран је циљ истраживања чијим реализовањем се омогућава изналажење оригиналног решења које треба да представља технолошки напредак у односу на постојеће стање у овој техници па је тако настала теза ове дисертације.

**Предпостављено је да је могуће пронаћи такво решење структуре и погона реверзибилног механизма које ће остварити захтевано кретање и оперативне карактеристике слојевања тестане траке, тако да се широк дијапазон улазних сировина по квалитету и саставу, може прерадити у излазни производ захтеваног квалитета.**

## 2 РАЗВОЈ ИДЕЈЕ О ПРОИЗВОДЊИ КЕКСА

Према предању, први бисквит - кекс, је направљен у Кини пре 10.000 година. Прављен је тако што су сувој пиринчаној пити додавани сусам и воће. Постоје и подаци да је прављен од житарица које се мешају са водом и тако формирају пасту. Према наводима у литератури, кекс се добијао тако што би се формирана паста пекла на врућем камењу [1].

Такође је познато, да су Асирци имали обичај да припремају танки двопек, направљен од теста добијеног мешавином јечма и пшенице. Формиран двопек би се ређао у глинене вазе-посуде и пекао на жару.

Хиљадама година касније, у једној египатској гробници која датира 2.500 година пре нове ере, пронађени су прикази радника који потпирују ватру у пећи у којој су се пекли бисквити.

Појам бисквита у том периоду везан је за практичну, концентровану храну, сличну хлебу, која има основну одлику да буде добро очувана дуги период времена. То је био бродски двопек пре христове ере. Енциклопедијска дефиниција бродског двопека је: „порозна и сува мешавина брашна, која се добро обликује“. Овај бисквит садржи само 1-2% воде, па је потпуно тврд и самим тим тежак за дробљење и варење. И поред тога што овакве врсте кекса нису биле омиљене, оне су представљале основне намирнице морнара и војника.

Током времена мед је додат као компонента рецепта па је бисквит постао посебна врста пецива разнолика по врсти и садржају. У кухињи античке Грчке, као и Римског Царства, наилазимо на пецива направљена од брашна уља, млека и меда [2].

Током римског периода, пекаре су, поред осталих врста хлеба, производиле и посебну врсту под именом "војнички хлеб" или "морнарски хлеб". Овај хлеб је направљен од брашна, остављеног у води тридесет дана, без додавања соли или



квасца а затим је печен два пута. Припремљена, ова врста хлеба је могла да се чува веома дуго. Приликом дугих путовања војске, тесто је печено чак до четири пута.

Експанзија поморских путовања у шеснаестом веку па надаље довела је до развоја бисквита по облику и саставу каквог га ми и данас познајемо. Захваљујући својим нутритивним својствима и дуготрајности, кекс је тако постао неопходна храна за морнаре на вишемесечним путовањима.

Важна хранљива вредност ове мешавине, концентрисане у релативно малом волумену, омогућило је лакше снабдевање војске у току Првог светског рата. Три комада посебног тврдог кекса-хлеба били су дневни оброк војника. Рок трајања му је био до годину дана под условом да се чува у металној кутији и без утицаја влаге.

Име “biscuit” за све ове посланице установљен је у средњем веку. Етимолошки, ова реч потиче из латинског; “bis coctum”, што значи два пута печен.

Најстарије помињање бисквита, бар у англосаксонском свету, налази се у казивању истраживача Sir Martin Frobisher -а, током његовог боравка на атлантским обалама Северне Америке 1577. године. Између осталог, поменуо је да се свакодневна храна његових морнара састојала од пола килограма бисквита и галона пива.

Велика различитост рецепата, највише због чињенице што се разноврсни састојци, као што су шећер, маст, јаја, чоколада, воће и сл. додају основној смеси житарица, утицала је да се не постави прецизна класификација кекса.

Још од првих година постојања бисквитно тесто, чији се облик не мења процесом печења, коришћено је као средство креативног изражавања. Глинени прибор и посуђа за пециво, који су имали облик различитих животиња и цветова, или су били украшени портретима и сценама из свакодневног живота, су откривени у Индији, Месопотамији, Египту и Грчкој и сведоче о постојању посебног облика народне уметности. Израда пецива, у својим раним фазама, везана је за обележавање важних догађаја, верских прослава, промена годишњих доба, друштвених догађаја итд. Са појавом хришћанства, појавили се и први бисквитни калупи симболичког значења, као што је Звезда Витлејема, да би се после 16-ог

века, употребом дрвеног посуђа прављеног од кедрa или кестеновог дрвета, бисквитни калупи толико умножили па имамо изобиље ефемерних, фолклорних и уметничких креација. Бисквити, специјално декорисани за рођендане, крштења и венчања били су састави део ових ритуала. У Европи, вереници су морали да се први пут пољубе над бисквитом! Чак и данас, наилазимо на обичај да се божићне јелке декоришу малим бисквитима, а колачићи су увек могу наћи на Ускршњој трпези.

После 15. века, шећер је као заслађивач, постепено постајао замена за мед, у мери у којој се и тадашње друштво навикавало на тај луксуз у исхрани. До 17. века, мед је био најважнији заслађивач и било којој врсти кекса давао је карактеристичан укус и арому.

Чоколада је постала део хранљивих навика крајем 17. века и била је коришћена и за побољшање укуса и као главни састојак многих слаткиша. Бисквити нису били изузетак од тог правила, и то је првобитни облик данашњих колача и кекса са чоколадним премазом.

Осамнаести век - век просветитељства окарактерисан је од многих као "век сладокусаца". Било је у то време када је створена "уметност посластичара са малом рерном", уметност која је прославила француске послastiце широм света. Најпре се појавило пециво "Petit four". "Petit four" је врста колачића који су печени у рерни, на слабом жару (након што је главно пециво већ испечено). Израђени су од мешавине јаја, брашна и шећера. Ова мала и хрскава пецива, обична или надевена кремом, желеом или воћем, постала су нова верзија кекса. Добијали су оригинална и препознатљива имена.

Већ у другој половини 18. века, навикама исхране додати су нови садржаји. Режим исхране који фаворизује "социјални нутриционизам" повукао се пред новом дијететском рационализацијом, која "се више није заснивала на ритуалној организацији стола, већ на новом рационалном систему нутриционистичких дијететских образаца". У тим оквирима, производња кекса променила је правац. Ново "конзумирање кекса", које престаје да буде само луксуз, већ део свакодневне исхране, намењене ширем кругу потрошача, постала је реалност.

Током 19. века, уз ширење енглеске навике за поподневним чајем, повећала се могућност уживања у малим, сувим пецивима, уз шољу топлог ароматизованог чаја. Све већа потреба за овом врстом хране утицала је на појаву индустријске производње кекса. Према многим сведочењима она се први пут појавила у Енглеској.

Пионири у индустријској производњи кекса били су William Meredith, који је 1830. године основао фирму " Meredith and Drew " и Johnathan Dodgson Carr који је 1831. године основао фирму " Carr's of Carlisle ". Кекс је израђиван ручно све до 1833. године, када је произвођач Grant из Gosport-а увео машине у процес производње. То је у целом процесу производње кекса изазвало револуцију, што је немерљиво утицало на економичност, како у погледу радне снаге, тако и у погледу брзине производње [3].

"Енглески кекс" је цветао у масовној производњи. Енглеска индустрија кекса извозила је своје производе не само у енглеске колоније, већ и у све делове света, почев још од 1840.

У то време, Roman Lefèvre, посластичар источног порекла, заједно са супругом Utile, настанио се близу пекара, произвођача кекса и брашна у Nantes-у, у области Quai de la Fosse, где су по први пут креирали " petit beurre ".

Касније, остале европске земаље попут Италије, Белгије, Немачке, Швајцарске и тд, пратиле су тренд и развијале своје индустрије кекса.

Током Првог светског рата, индустрија кекса служила је потребама војске и оријентисала се на производњу комплетне и здраве хране. Највеће фабрике кекса су производиле „ратни хлеб“ суштински важан за војнике, рањенике и заробљенике.

Током двадесетих, када се индустрија вратила у цивилно – нормално стање, бесквит је постао комплетна храна, лака за конзумирање, и почела да добија своју савремену прехранбену димензију. Два кекса, држе заједно слој чоколаде, крема од јагоде, кајсије и сл То је било време када су први сендвич бисквити заменили мале ланч-пакете и освојили срца младих и старих.

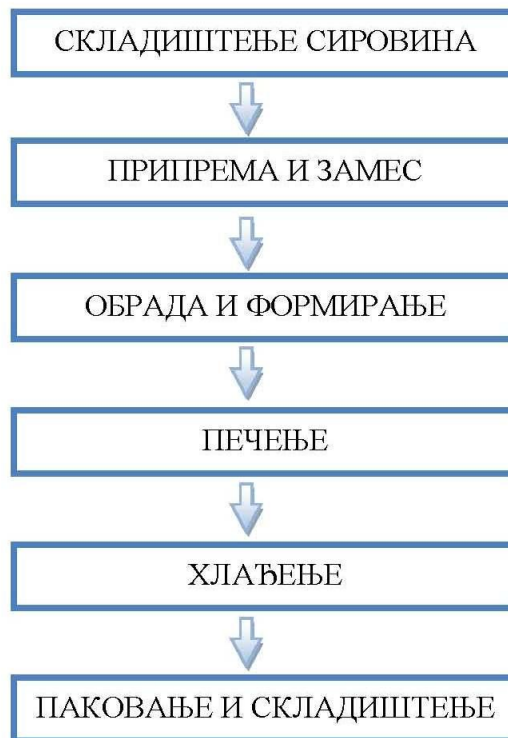
Период од Другог светског рата до почетка 60-тих карактерисао је оснивање великих, међународних индустријских компанија. Њихове активности у примени специјализованих технолошких операција играле су важну улогу у развоју различитих облика и врста бисквита. Традиција се спојила са модерним идејама. Рецепти за чајно пециво, који датирају још од посластичара Catherine de Médicis, постоје и данас и користе се за производњу у модерним прехранбеним постројењима. Од 1953, и током 60-тих година, технолошки напредак у области традиционалних техника за сечење, савијање и слојевање теста довео је до стварања нових производа.

Конструкција машина се стално мењала и развијала, највећи број сложених технолошких поступака је развијен и примењен у индустријској кондиторској производњи, тако да је данашња кондиторска индустрија једна од ретких индустрија која може да тврди да је у својим савременим фабрикама остварила практично потпуну аутоматизацију. Овај напредак наметнуо је индустрији и потребу за потпуно новим поступцима и технолошким процесима.

Дошло је до појаве огромног броја врста кекса, које се међу собом толико разликују да је скоро и немогуће извести њихово разврставање или класификацију. Кекса има од "сувог" до "сочног"; "тврдог" до "меког"; "слојевитог" до "сипкавог", или свих међусобних комбинација. Једна једина заједничка особина ове врсте кондиторских производа јесте да су крти и сипкави.

### 3 ТЕХНОЛОШКИ ПОСТУПАК ПРОИЗВОДЊЕ ТВРДОГ КЕКСА И КРЕКЕРА

Технолошки поступак производње тврдог кекса и крекера састоји се из неколико редоследних технолошких целина чија је шема приказана на Сл. 3.1.



Слика 3.1 Технолошки поступак производње тврдог кекса и крекера

Технологија кекса се заснива на технолошком квалитету брашна које има одговарајућа функционална својства да уз додатак масти, шећера, воде и других додатака уз механички рад формира тесто различите текстуре. Ова веома сложена технологија захтева, поред свеобухватног познавања великог броја различитих сировина и помоћних материјала и познавање физичко хемијских процеса који се одигравају током процеса производње [3], [4], [5].

### 3.1 Сировине за производњу тврдог кекса и крекера

Основне сировине у производњи кекса су:

- фаринолошки производи (разне врсте брашна - пшенично, кукурузно овсено, ражано, сојино, пиринчано и тд),
- масноће (путер, маргарин, биљна маст, свињска маст, кокосово уље, кикирики уље, сојино уље и тд),
- шећери (гранулисани, за посипање, прах шећер, мед, сируп, меласа, глукоза, декстроза, сахарин и тд),
- вода
- остале сировине:
  - хемикалије (калцијумфосфат амонијумкарбонат, лимунска киселина, винска киселина, натријум-бикарбонат, натријум -метабисулфит...)
  - средства за одржавање влаге (јаја, жуманце, млеко, вода, сурутка...)
  - средства за ароматизовање (сир, чоколада, какао, ароматичне биљке ораси, суво грожђе смокве...)
  - средства за мешање ( желатин, пектин, квасац, лецитин, бактеријски ензими...)

*Бело пшенично брашно* је основна и најважнија компонента у скоро свим врстама кекса. Добија се тако што се пшеничним зрнима кроз посебне методе млевења и просејавања уклања опна и ембрион а средишњи део зрна, познат као ендосперм (бела прашкаста унутрашњост која се састоји од великог броја скробних ћелија уклопљених у матрицу од растворљивих и нерастворљивих протеина, уља, шећера и минералних соли и чини 85% пшеничног зрна), уситњава до величине честица до 150 микрона (глатко брашно). Да би се остварило ефикасно млевење мора се пажљиво контролисати садржај влаге у зрну, који износи између 13% и 15%. Просечна влажност брашна за производњу кекса износи 14% али је готово немогуће у млиновима контролисати влагу боље од  $\pm 0,5\%$ .

Неопходно је да пшенично брашно као основна компонента у производњи кекса има потребан квалитет и квантитет протеина и могућност његовог варирања према типу кекса који се производи. Тако, на пример, тврда теста типа „чајна“

захтевају примену брашна са садржајем протеина од 8,0 до 9,0% и које се одликује ограниченом еластичношћу и великом истегљивошћу. За кекс од ламинираног теста користи се брашно са садржајем протеина од 9,0 до 10,0%, веће еластичности него истегљивости, јер овај тип кекса подразумева формирање вештачки слојевите структуре протеина која ће задржавати пару и расти без пуцања у току печења. Слојевита структура се добија распоређивањем слојева масноће између слојева теста, уз развлачење и савијање слојева, док се не формира велики број слојева. За производњу крекера квалитет брашна у потпуности зависи од примењеног процеса ферментације. Што је процес ферментације дужи потребно је брашно са већим процентом протеина.

**Масноће** имају веома широку примену у производњи кекса. Додатак масноћа повољно утиче на прехранбену вредност и органолептичка својства производа. Такође утиче на порозност и структуру производа. Када је садржај масноће у тесту виши, то ће и готов производ бити растреситији и имаће погоднију структуру. Додатак масноће се повољно одражава и на укус производа као и на спољни изглед. Масноће поседују својство да се у тесту расподељују у виду врло ситних честица стварајући танки филм између и око скробних зрнаца, чиме се прекида континуитет теста, и тако утиче на његову конзистенцију.

У току замеса масноћа обухвата мехуриће ваздуха који у току печења представљају језгра око којих се сакупљају гасови и водена пара па тако има значајан утицај на степен дизања теста при процесу печења.

**Шећери** представљају врло важну сировину у производњи кекса. Основна улога им је заслађивање кекса али утичу и на физичке особине теста, чинећи га вискозним и меканим а при већем додатку и лепљивим. Омогућују остваривање одговарајуће структуре производа јер утичу на омекшавање глутена. Шећер даје тврдоћу кексу- тврдоћу изазива шећер који у раствору у току печења постаје засићен, а при хлађењу очвршћава. Ако се користи глукоза (глукозни сируп), постиже се омекшавање, смањење кртости кекса, односно спречава се отврдњавање шећера а убрзава постизање смеђе - руменкасте боје површине производа при процесу печења.

### 3.2 Складиштење сировина

Складиштење је прва фаза веома сложеног технолошког поступка индустријске производње тврдог кекса и крекера. С обзиром на количине и велики број различитих компоненти изискује и низ различитих поступака и специфичних процедура складиштења и контроле квалитета а све у циљу добијања исправног и квалитетног производа. Складишни део се по правилу организује тако да се налази што ближе месту где је предвиђена фаза припреме и замеса компоненти.

### 3.3 Припрема и замес сировина

Када се ручно припреми тесто, у даљем поступку обраде оно се оклагијом развија, тањи, по потреби премаже уљем или масноћом, па поново ваља. Поступак се понови више пута, да би се тако обезбедило потребно развлачење и слојевање (ламинација) теста.

Занатски процес справљања теста почиње у месилишту, где се по одређеној рецептури врши дозирање потребних сировина. Затим следи процес мешања. Тако оформљено тесто потребно је држати да мирује у времену од 24 сата, да би се остварио потребан хемизам. Потом следи операција поновног мешања, а после тога је тесто спремно за развлачење и ламинирање.

Технолошки процес при коме је потребно чекати 24 сата на "лежање" теста је врло неповољан са становишта примене, па се зато у фабричкој производњи кекса искључиво примењује такозвани "скраћени процес" припреме теста. У масу теста се додају реагенси - адитиви (калијум метабисулфит и др.), који омогућују знатно убрзавање хемијских промена. То омогућава да се целокупни хемијски процес обави у току првог мешања. Тесто које се користи за ламинацију одликује се веома великом тврдоћом (тврда теста), садржи 6-20% масноће, а влажност теста се креће у границама од 18-20%. Мање масна теста потребно је више пута ламинирати.

Квалитет замеса зависи од низа предуслова: температуре и влажности просторије, температуре теста, начина и дужине трајања мешања, редоследа додавања сировина, количине употребљене воде, итд. Допремљене сировине (путер, шећер, јаја, млеко, инвертни сируп) се дозирају у мешалици и хомогенизују 5 минута, а



затим се додају преостале сировине из рецептуре (обично ручно), а брашно и вода се дозирају полуаутоматски или аутоматски. Жељена температура теста је 32°(C). Мешалица се поново укључује на програмиран замес у трајању од 10-12 минута, чиме се постиже потребна хомогеност и пластичност теста. У току процеса мешања долази до физичких и колоидних промена у тесту.

Физичке промене у току мешања:

- Почетно мешање се врши у две фазе: добијање влажне лепљиве масе и мешање сувих компонената
- Врши се апсорпција сувих компонената, брашно мења изглед и постаје грудвичаво.
- Тесто се повезује, постаје компактно – хомогено тесто.
- Готово тесто је вруће, мале еластичности, високе екстензибилности а при хлађењу постаје тврђе и губи екстензибилност.

Колоидне промене у току мешања:

- Протеин упија воду и формира глутен ( глутен упија двоструку количину воде у односу на своју масу).
- Скроб апсорбује воду и то једну трећину од своје масе.
- Сулфитни третман доводи до кидања попречних веза у глутену ( долази до такозване хидролизе дисулфитних мостова).

Готово тесто се затим транспортује до ферментационе коморе и даље до низа уређаја и машина у којима се врши његова обрада.и формирање финалног облика спремног за печење. За производњу крекера где је рецептуром предвиђена ферментација, готово тесто одлежава у ферментационој комори потребно време, а за производњу тврдог кекса, где се целокупни процес ферментације обави у мешалици, ферментациона комора се “понаша“ као тракасти транспортер. Ферментација кекса се користи у циљу кондиционирања теста и развијања ароме. Разликујемо физичке и колоидне промене у току ферментације.

Физичке промене у току ферментације теста су:

- Смањење жилавости → релаксација – одмарање од различитих напрезања
- Повећање запремине → производња гасова, задржавање до ограниченог степена

- Развијање мекоће → формирање целуларне структуре
- Развијање “краткоће теста” → модификација глутена

Хемијске промене у току ферментације су:

- Разлагање скроба и шећера
- Стварање киселина
- Разлагање протеина

С обзиром да је обрада и формирање облика и најсложенији део технолошког поступка производње тврдог кекса и крекера захтева да буде детаљније објашњен у посебном поглављу.

### 3.4 Печење

Печењем кекса постиже се формирање својствене текстуре производа, њено сушење до коначног садржаја воде до 3% и стварање fine површинске боје.

При уласку у пећ тесто је апроксимативно температуре  $t = 15^{\circ}\text{C}$ , са садржајем воде од 10 до 25%, у зависности од врсте производа.

Печење кекса се обавља у аутоматској тунелској пећи са принудном рецикулацијом врелих гасова. Одржавање температурног режима печења је аутоматско. Сам процес печења се одвија при следећим температурама по зонама пећи:  $160 - 180^{\circ}\text{C}$ ,  $220 - 230^{\circ}\text{C}$ ,  $280 - 290^{\circ}\text{C}$  и  $180 - 200^{\circ}\text{C}$ . За време печења одигравају се многи биохемијски процеси који се могу поделити у три фазе:

- Развијање теста

Одвија се у првој зони пећи где са порастом температуре долази до топљења масноће, испаравања амонијака и производње гасова. Битно је да горње и доње загревање буде одговарајуће, да релативна влажност буде висока а ако је потребна додатна влажност, површина кекса се може квасити у улазном делу пећи.

- Печење теста или формирање текстуре кекса

Глутен почиње да омекшава и отпушта део своје влаге када температура теста/кекса достигне  $50^{\circ}\text{C}$  и процес траје до коагулације глутена и формирања чврсте текстуре на температури од  $74^{\circ}\text{C}$ .

Ензими, било природни или додати највећу активност имају на температурама између 50 и 63°C, а деактивишу се на температури од 81°C.

Евентуално призведени алкохол испарава у интервалу од 76 до 88°C.

Производња гасова је завршена када температура достигне 100°C, а тесто/кекс постиже максималну запремину која затим почиње да опада

- Бојење и сушење

Влага испарава много брже у моменту достизања температуре од 100°C, а раствор шећера постаје супер засићен.

На температурама од 110 до 120°C, по површини теста/кекса се формирају жути декстрини и шећер почиње да карамелише.

Настајање мрких декстрина почиње на температури од 160°C, а на температури од 205°C долази до угљенисања.

У процесу печења долази до измене топлоте теста/кекса и грејних површина пећи и простора за печење (смеша ваздуха и паре) при чему се формирано тесто загрева и мења температуру својих различитих слојева. Површински слојеви за приближно један минут имају температуру око 100°C а на крају печења температуру од 170 до 180°C. Унутрашњи слојеви теста/кекса на почетку печења имају око 70°C а на крају печења, температуру од 106 до 108°C. Такође на брзину печења утиче брзина струјања ваздуха (оптимална брзина струјања износи 1m/s) као и начин струјања (пожељније је често мењање правца струјања и образовање вртлога уместо струјања у једном правцу сталном брзином).

Код сваког печеног производа само кора треба да буде обојена, па је врло важно да температура у пећи не расте брзо јер у противном боја коре брзо продире у средину кекса што ствара горак укус. Практично, такав производ је неупотребљив.

Свака врста кекса има своје посебне захтеве и својствен режим печења ( у зависности од температуре, садржаја воде и времена печења ), а у циљу постизања оптималног квалитета у погледу карактеристичне структуре печеног кекса, обојења површине и карактеристичног укуса готовог производа.

### 3.5 Хлађење

Испечен кекс напушта пећ већ при температури од 160 до 205°C са садржајем влаге око 3%, врло је пластичан и лако се деформише. Хлађење се врши на транспортерима за хлађење. Систем транспортера за хлађење, омогућава хлађење готових производа природним струјањем ваздуха преко кекса. Утврђено је да дужина транспортера треба да износи најмање две дужине пећи. При хлађењу кекса одвијају се следеће промене:

- Заостала влага се креће ка периферији кекса.
- Супер засићен раствор шећера постаје више вискозан и евентуално очвршћава.
- Желатински скроб постаје гушћи и евентуално очвршћава.
- Апсорбоване масноће почињу да очвршћавају.
- Кекс тежи да постигне равнотежну влагу у односу на ваздух у просторији.

Охлађени кекс се са транспортера захлађење усмерава на уређај који их усправља и слаже у редове. Тиме је кекс спреман за процес паковања

### 3.6 Паковање и складиштење

Паковање кекса, које може бити ручно или машинско, обезбеђује заштиту производа од утицаја спољних фактора. Производи се пакују у материјале без мириса, суве, чисте, непропустљиве за масноћу. Уколико се кекс пакује у картонске кутије, неопходно их је и споља и изнутра, обложити непропустљивим материјалом. Тиме се спречава губитак ароме и онемогућава примање ароме из околине, штити производ од неповољних физичких и климатских услова.

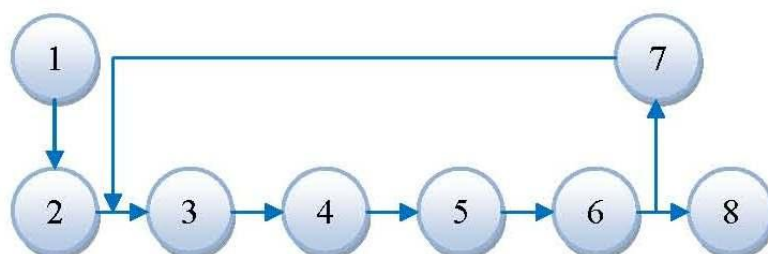
Машинско паковање условљава диктирану димензију појединачних комада кекса, што даље намеће поштовање технолошких услова и рецептуре, параметара замеса, обраде и печења, јер у противном финални производ неће имати захтевану геометрију, а самим тим и овај начин паковања може бити онемогућен.

Упакован кекс се транспортује у посебне просторије где се складишти под посебним условима у погледу температуре и влажности као и осветљености.

Закључак који се намеће гласи да се само уз доследно поштовање свих фаза технолошког поступка у производњи тврдог кекса и крекера, може доћи до квалитетног крајњег производа који ће задовољити потребе изузетно пробирљивог тржишта.

### 3.7 Структура технолошких операција машинске обраде теста у производњи тврдог кекса и крекера

Линија за кекс обухвата све технолошке операције обраде теста почевши од формирања тестане траке, њеног слојевања, ваљања-глачања па до исецања форме и транспорта у пећ уз одвајање и транспорт тестане мреже.



- 1 ТЕСТО
- 2 ФОРМИРАЊЕ ТРАКЕ ТЕСТА
- 3 СЛОЈЕВАЊЕ-ЛАМИНИРАЊЕ
- 4 ГЛАЧАЊЕ ТЕСТАНЕ ТРАКЕ
- 5 ОДМАРАЊЕ ТЕСТАНЕ ТРАКЕ
- 6 ИСЕЦАЊЕ ФОРМЕ
- 7 ОДВАЈАЊЕ И ТРАНСПОРТ ТЕСТАНЕ МРЕЖЕ
- 8 ТРАНСПОРТ ИСЕЧЕНИХ ФОРМИ У ПЕЋ

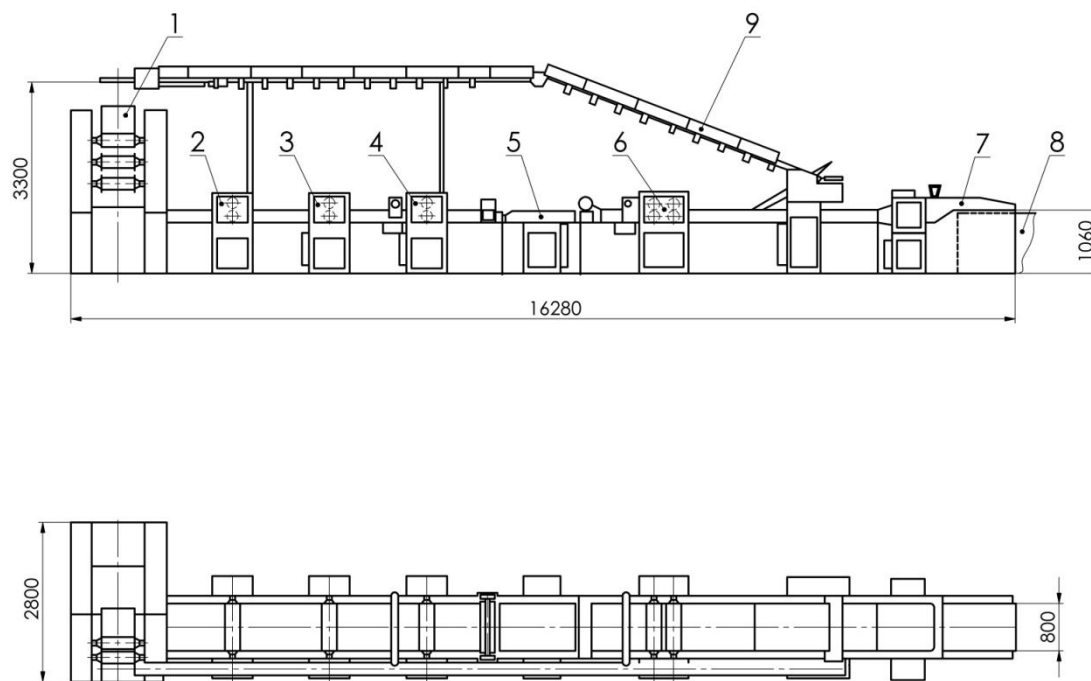
Слика 3.2 Шема процеса обраде и формирања кекса

Операцијама формирања, слојевања и глачања се постиже хомогеност и равномерност дебљине тестане траке, а код готовог производа равномерна порозност, слојевита структура, глатка површина и сјај. Шема процеса обраде и формирања кекса дата је на сл.3.2.

Редослед технолошких операција при машинској обради теста најилустративније се може сагледати тако што ће се кроз праћење тока теста кроз низ машина и

уређаја линије за производњу тврдог кекса и крекера објаснити поступци на свакој од њих.

На слици 3.3 приказана је шема једне од аутоматских линија пројектованих у Институту за механику машина.



**Слика 3.3** Шема аутоматске линије капацитета 550kg/h пројектоване у Институту за механику машина Машинског факултета у Београду

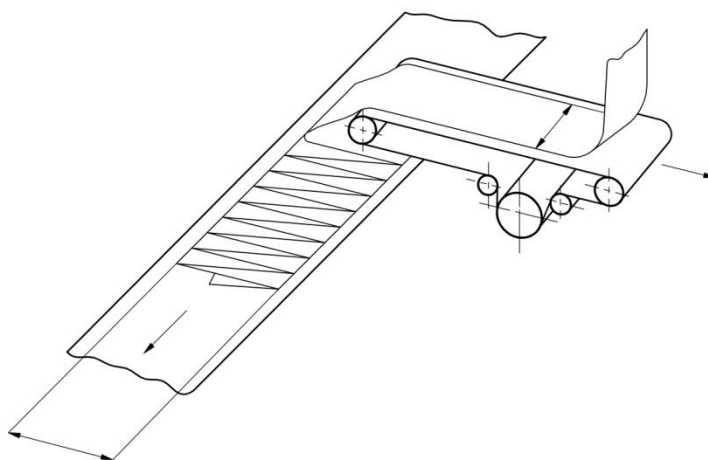
Ламинатор (сл. 3.3, поз. 1) као прва машина у низу има функцију формирања, калибрације и слојевања тестане траке. Његова техничко – технолошка својства детаљно су презентована у радовима [6] и [7].

У ламинатору, тачније пријемном кошу, између два ожљебљена ваљка формира се тестана трака одређене дебљине и ширине, која се креће одговарајућом брзином, што дефинише укупан запремински проток теста  $Q$  [ $\text{dm}^3/\text{s}$ ]. За случај већих варирања технолошких услова, испред ламинатора се постављају ваљци за предформирање који из кабасте тестане масе формирају траку, тако да у ламинатор улази већ формирана трака, па се врши стањивање већ формиране тестане траке која пролази даље кроз више пари калибрисаних ваљака и транспортера за одмарање. Одмарање је потребно јер је приликом образовања тестане траке дошло до истезања мрежасте структуре беланчевинастих нити

(глутена) у једном правцу и створени су унутрашњи напони који ће се међуфазним одмарањем и постепеним стањивањем у одређеној мери смањити - релаксација теста.

У тесту настају напони услед тога што долази до истезања у једном смеру. При томе нити беланчевина заузимају оријентисан, паралелан положај, у односу на правац истезања. У неистегнутом тесту нити беланчевина, као линеарни макромолекули, су у слободном положају-заузимају разне положаје у простору. Заузимањем оријентисаног положаја, паралелног са правцем истезања, сабијене честице бивају испружене и долази до појаве напона унутар честичних веза, а касније и до пуцања ових веза. При раскидању веза долази до премештања ослобођених делова, услед интерног Брауновог кретања, који прелазе у неоријентисани положај, али у положај за стварање нових веза без напона [5].

Тестана трака иде даље до уређаја који врши њено слојевање у 4-14 слојева, преклапањем тестане траке под углом од  $90^0$  на дотадашњи правац, ради постизања стабилне структуре. На овај начин се будућем производу даје слојевита и растресита структура. При образовању тестане траке и слојевању и мехурићи ваздуха који се налазе у тесту се истежу, што такође доприноси слојевитој и растреситој структури готовог производа. На слици 3.4. је приказан овај начин остваривања слојевања.



Слика 3.4 Остваривање слојевања код ламинатора MF800

Принцип слојевања (ламинације) може се објаснити као процес обраде теста претходним ваљањем и стварање тестане траке ради слојевања у циљу обезбеђења слојевите структуре крајњег производа.

После слојевања следи поновно одмарање вишеслојне тестане траке, а после тога машине за глачање (Сл. 3.3, поз. 2, 3 и 4) врше постепено стањивање до коначне дебљине потребне за образовање форме готовог производа.

Форма готовог производа постиже се на машини за исецање (Сл. 3.3, поз. 6), која се састоји од ваљка са угаоним формама који у тестаној мрежи усеца облик производа, и другог ваљка који врши исецање формираног облика кекса. Усецање облика производа у тестаној траци може се вршити и на други начин, реверзибилним кретањем алата који истовремено утискује облик и исеца форму производа. Ваљак са угравираним жељеним формама или алат за исецање, који даје облик производу, има у оквиру форме слова (име производа, произвођача) и бодље којима оставља отиске на производу. Отисци од слова треба да су добро видљиви и читки, а отисци од бодљи служе у фази печења за ослобађање споредних гасова и паре из производа. Исечена форма кекса преко предајног транспортера (Сл. 3.3, поз. 7) иде даље у пећ (Сл. 3.3, поз. 8), а тестана мрежа се повратним транспортером (Сл. 3.3, поз. 9) враћа у кош ламинатора где се равномерно меша са свежим тестом.

Између слојевања и првог стањивања, првог и другог, другог и трећег, као и између трећег стањивања и добијања форме кекса, тесто се одмара и за то време се смирују напони настали у претходној обради. Уз то, пре уласка у машину за исецање тестана трака, на уређају за умиривање унутрашњих напона (Сл. 3.3, поз. 5) се услед мање брзине транспортера набира и на тај начин смирује заостале напоне. Брзина транспортера који носи тестану траку се мора усагласити са брзином обртања ваљака за глачање и са брзином обртања ваљака машине за исецање (или са брзином кретања алата у тренутку исецања код реверзибилне машине за исецање). Одмарањем тестане траке и синхронизацијом рада машина аутоматске линије, у тестаној траци као и у готовом производу, ствара се стабилна структура, слојевита и растресита, и правилан недеформисан облик производа. Тестана трака се не сме гомилати пред ваљцима као ни истезати.



Повратна тестана мрежа се мора равномерно распоредити по новом и свежем тесту, јер им тврдоћа није једнака, па уколико би се неједнако распоредило, појавиле би се сметње у даљој обради, као и производ деформисаног облика. И печење овог производа би, такође, било неуједначено.

Радне ширине оваквих линија и производни капацитети условљени су ширином и дужином пећи, али се најчешће срећемо са радним ширинама од 800, 1000 и 1200 (mm) и капацитетима од 550, 1000 и 1200 (kg/h) готовог производа.

## 4 АНАЛИЗА ПОСТОЈЕЋИХ ТЕХНИЧКИХ РЕШЕЊА

Слојевање тестане траке је најзначајнија а уједно и најсложенија технолошка операција машинске обраде теста, па су водећи светски произвођачи прехранбене опреме, суочени са компликованим технолошким поступком, свесно изостављали управо слојевање тестане траке, па тако, до тридесетих година прошлог века, имамо прво појаву аутоматских линија за производњу тврдог кекса које не садрже ламинатор. Тиме су свакако утицали на квалитет готовог производа, непостојање слојевите и растресите структуре и финални облик производа. Значај слојевања може се објаснити посматрањем линија које не поседују ламинатор, јер се на готовом производу запажа изразито скупљање по једној оси тако да се кекс квадратног облика деформише у правоугаони а кекс кружног облика деформише се у елипсу. Непостизање жељеног квалитета кекса на аутоматским линијама на којима није вршено слојевање, чиме је жељени квалитет изостао, допринело је да се појаве линије са потпуном механизацијом свих технолошких операција, а у оквиру њих решење операције слојевања тестане траке. Међутим, у савременим линијама за производњу кекса, са појавом дуже пећи и бржим кретањем тестане траке, проблем слојевања се решавао развојем аутоматских машина - ламинатора који су између осталих склопова садржали уређаје за слојевање тестане траке.

Уређаји за слојевање су по правилу били патентирана решења јер су се тако најпознатији произвођачи прехранбене опреме штитили конкуренције, и истовремено осигуравали позиције на тржишту и повећавали профит.

Према [6], аутоматски ламинатори су морали да остваре могућност:

- израде добро сабијеног глатког слоја тестане траке,
- увођења масноће или смеше масноћа-брашно,
- постепеног смањивања дебљине тестане траке пре слојевања,

- континуалног и униформног слојевања тестане траке без изазивања неједнаких напона у структури теста,
- слојевања управно на главни правац производне линије
- промене броја слојева тестане траке,
- враћања тестане мреже у главну масу теста,
- синхронизације рада ламинатора и машине за исецање односно пећи.

Према начину рада уређаја за слојевање, може се извршити подела аутоматских ламинатора на два основна типа и то су дисконтинуални и континуални тип.

*Дисконтинуални ламинатор* садржи уређај за слојевање који оперише са претходно исеченим комадима тестане траке једнаке дужине тако што их слаже до жељеног броја слојева погодних за спровођење постављене технологије и ову операцију понавља у одређеном такту.

*Континуални ламинатор*, за разлику од претходног, садржи уређај за слојевање који операцију слојевања врши без прекидања тестане траке, при њеном континуалном току, тако што тестану траку слаже попреко на главну траку линије а комбинацијом брзина полагања тестане траке на главну траку линије и брзине главне траке линије остварује жељени број слојева.

Поделу ламинатора можемо извршити и према начину кретања тестане траке, кроз његове склопове па тако разликујемо *хоризонталне* и *вертикалне* типове ламинатора.

Интензиван развој у овој области, као и све разноврснији захтеви произвођача кондиторских производа допринели су да се на тржишту, у оквиру аутоматских линија за производњу тврдог кекса и крекера појави *модуларни* тип ламинатора. Ламинатор за вертикално сечење и слагање, заједно са променљивим бројем калибрисаних ваљака, довео је до развоја модуларних ламинатора. То подразумева да се ламинатор могао саставити од низа независних саставних јединица а све у зависности од расположивог производног простора, како по површини тако и по висини, као и од асортимана производа предвиђеног за производњу.

Независне јединице су:

- Уређај за формирање тестане траке,
- Калибрисани ваљак,
- Уређај за слојевање тестане траке,
- Уређај за наношење смесе масноће и брашна.

У случају јединица типа Baker Perkins могуће је склопити вертикални ламинатор или да има један уређај је за формирање тестане траке и један уређај за слојевање тестане траке или, пак, да се састоји од неколико гарнитура калибрисаних ваљака између уређаја за формирање тестане траке и уређаја за слојевање тестане траке и уређаја за наношење смесе масноће и брашна. Иако се хоризонтални ламинатор Baker Perkins могао уврстити у модуларни тип ламинатора он се ретко користио за производњу једноставнијих врста кекса већ се продавао у оквиру сложеног система – линије за производњу тврдог кекса и крекера.

Јединице система Simon Vicars могу се сложити или као вертикални систем или, пак, као хоризонтални систем, користећи један уређај за формирање тестане траке, два калибрисана ваљка и уређај за слагање, или машину са два уређаја за формирање тестане траке, три калибрисана ваљка, уређај за слагање слојева и уређај за наношење смеше масноће и брашна. Постоји могућност склапања и уређаја за формирање тестане траке са двојним и тројним ваљцима. Хоризонтална машина овог система је, у ствари, врло слична машини система Baker Perkins.

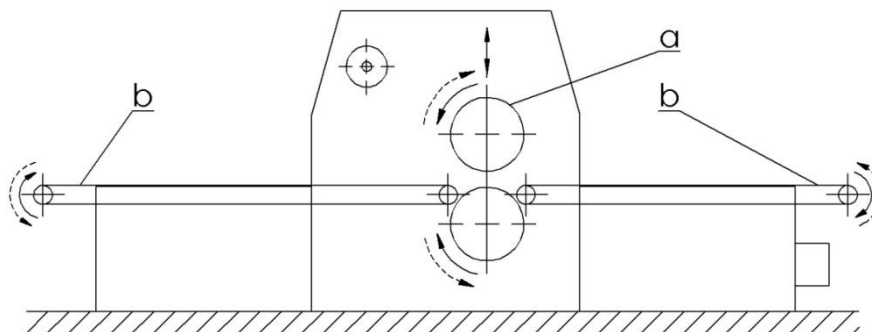
## **4.1 Анализа постојећих конструктивних извођења уређаја за слојевање код ламинатора**

### **4.1.1 Уређај за слојевање са повратним ваљцима**

Први уређај за машинско слојевање са повратним ваљцима, био је једноставне конструкције а користио се у занатској производњи, (сл. 4.1).

Састоји се од пара ваљака (а) и два тракаста транспортера (b). Уређај омогућује промену осног растојања између ваљака као и промену смера кретања трака транспортера и ваљака. Опслужују га два радника. Принцип рада је следећи: одређену количину теста радник пропушта кроз највећи отвор између ваљака,

тако формирану плочу теста прихвата други радник, пресавија је, окреће за  $90^0$  и поново пушта у супротном смеру кроз нешто сужени отвор између ваљака.



Слика 4.1 Шема уређаја за слојевање са повратним ваљцима

Зависно од врсте теста постоји могућност премазивања површине теста уљем, мастима или другим додацима. Премазивање се врши на унутрашњој страни пресавијеног теста. Исти поступак се одвија 6-10 пута, а размак између ваљака се постепено смањује све до технолошки дефинисане дебљине кекса пре печења. Напоменуто је да се овај уређај користио у занатској производњи а недостаци се огледају у следећем:

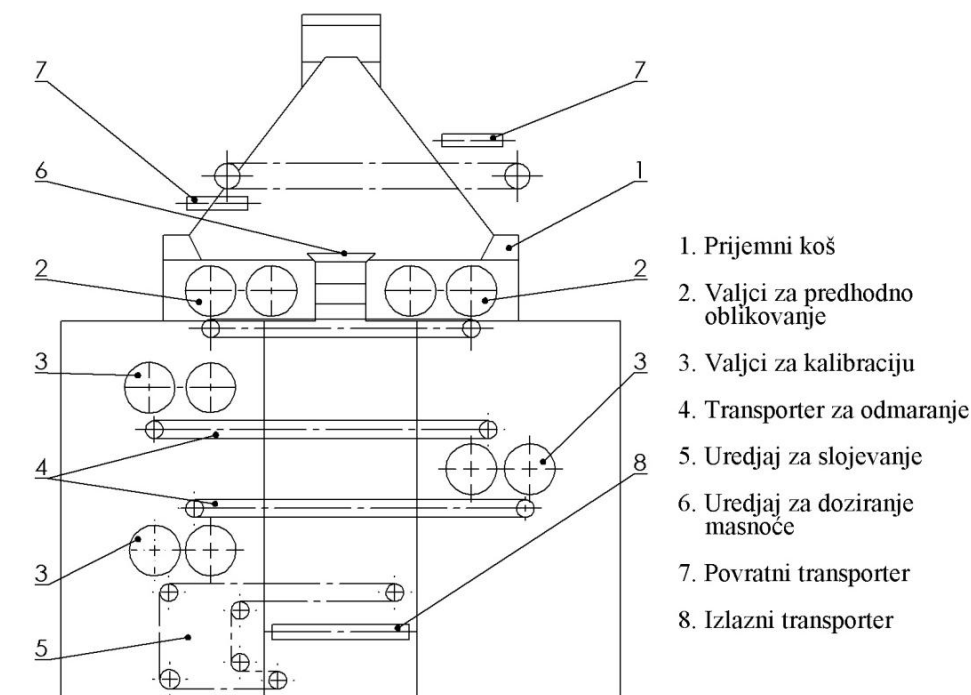
- Постојање неравномерности између основног теста, тестане мреже и премазивања.
- Могућност грешке у степену и броју стањивања почетне тестане форме
- Варијација у начину рада уређаја (промена руковаоца уређаја)
- Неравномерност бисквитне текстуре услед спајања ламинираних тестаних комада испред уређаја за исецање форми.

Ипак, ова врста уређаја задржала се до данашњих дана, у измењеном облику, у занатској производњи лиснатог теста.

#### 4.1.2 Уређај за слојевање ламинатора *WERNER & PFLEIDERER*

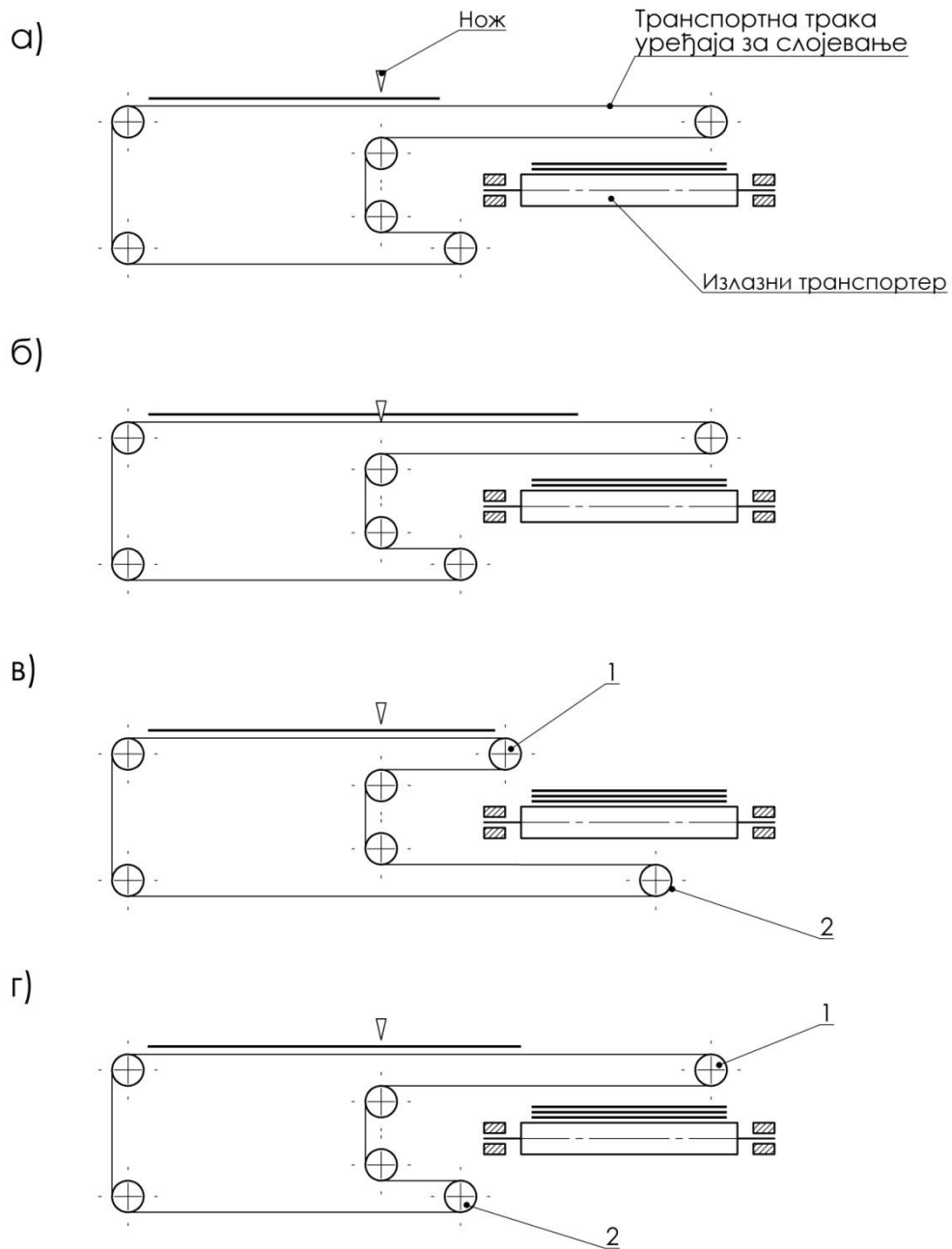
Светски познати произвођач из Немачке у свом вертикалном ламинатору чији се шематски изглед може видети на слици 4.2, применио је оригинално решење уређаја за слојевање чији начин рада можемо сагледати на слици 4.3.

Уређај за слојевање користи принцип претходног сечења тестане траке и њеног слагања под углом од  $90^\circ$  у односу на излазни транспортер, тако да сам ламинатор спада у групу дисконтинуалних по принципу рада уређаја за слојевање.



Слика 4.2 Шемтски изглед ламинатора WERNER & PFLEIDERER

Проласком кроз ваљке за финалну калибрацију, тестана трака добија потребну дебљину и спушта се на транспортну траку која га преноси до места где се врши сечење до тада континуалне тестане траке на одговарајућу дужину(сл. 4.3-а). У одређеном тренутку, нож за одсецање се нагло спушта (сл.4.3-б), пресеке тестану траку и одмах се враћа у првобитни положај. Тако одсечени комад тестане траке путује све док се не нађе изнад излазног транспортера који је постављен управно на дотадашњи правац кретања одсеченог тестаног комада. Тада ролне обележене са 1 и 2, почињу да се хоризонтално крећу великом брзином у супротним правцима, одржавајући при том дужину транспортне траке уређаја за слојевање константном (сл. 4.4-в), и тако остварују да се одсечени тестани комад, слободним падом, сложи на доњи, излазни транспортер. Одмах затим, при исто тако брзом повратном ходу, ролне 1 и 2 заузимају ранији положај (сл. 4.4.-г) чиме је циклус затворен.

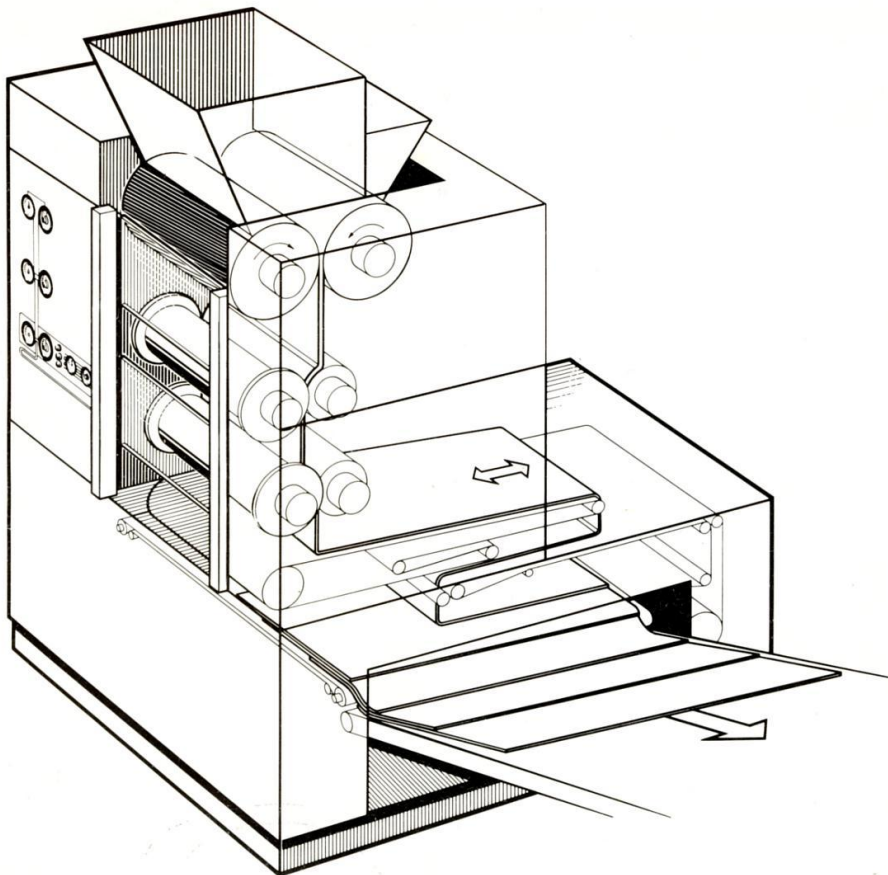


Слика 4.3 Начин рада уређаја за слојевање ламинатора WERNER & PFLEIDERER

Синхронизација кретања се врши на начин што између ваљака за финалну калибрацију и транспортне траке уређаја за слојевање, у тренутку слагања тестаног комада, континуална тестана трака створи петљу, која се у повратном ходу изгуби.

Промена броја слојева врши се променом односа брзина радног хода уређаја за слојевање и брзине транспортне траке излазног транспортера. Иако се овим начином успешно изводи поступак слојевања, механизам који покреће ролне је веома сложен, са наглим променама смера кретања, што повећава утицај инерцијалних сила на поузданост и дуготрајност склопова примењених механизма.

У својим савременим вертикалним ламинаторима, конструктори Werner&Pfleiderer -а су применили унапређено решење уређаја за слојевање, где је задржан принцип претходног сечења тестане траке али уз додати склоп компензационог транспортера који служи да прихвати вишак тестане траке у периоду док се исечени комад тестане траке слаже на излазни транспортер. На слици 4.4 дат је приказ савременог вертикалног ламинатора фирме Werner&Pfleiderer.



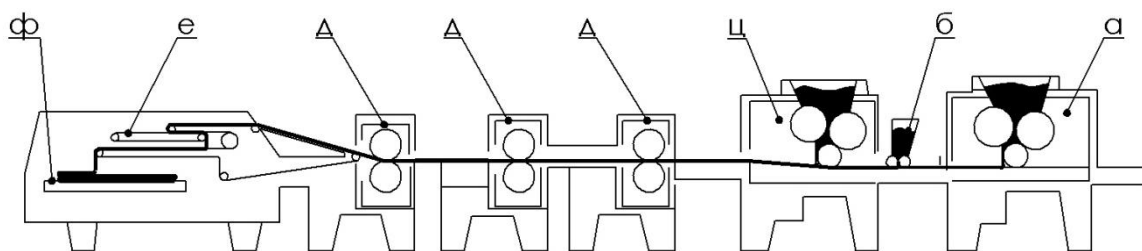
Слика 4.4 LU 800/LU1200 ламинатор, из проспекта WERNER & PFLEIDERER



### 4.1.3 Уређај за слојевање ламинатора BAKER PERKINS

Најпознатији светски произвођач линија за кекс и крекер, Baker Perkins из Велике Британије, у свом хоризонталном ламинатору, чија је шема приказана на слици 4.5, применио је решење уређаја за слојевање које је патентирано давне 1949.

године [8] а које је касније примењивано и у производњи вертикалних ламинатора, јер новија решења уређаја за слојевање која су развијали конструктори Baker Perkins-а нису остварила очекиване резултате.



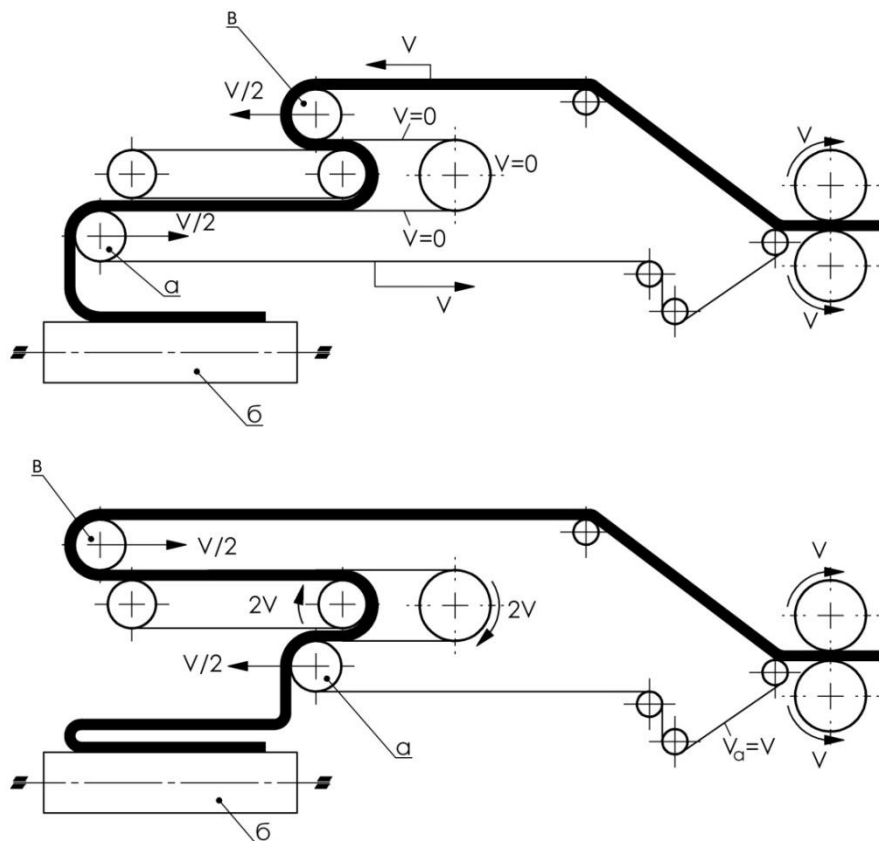
Слика 4.5 Шема хоризонталног ламинатора, BAKER PERKINS

Оригинално решење слојевања се односи на начин и метод хоризонталног полагања континуалне тестане траке тако што јој се до места где се врши слојевање, омогући формирање, на хоризонталној путањи, одређене дужине тестане траке која ће се наизменично ослобађати или допуњавати како тестана трака буде слагана на излазни транспортер при ходу унапред или уназад.

Систем ваљака (сл. 4.5.-а) формира континуалну тестану траку која се транспортује до уређаја где се затим покрива масноћом или смешом масноће и брашна. Уређај за наносење масноће или смеше масноће и брашна (сл. 4.5.-б), садржи променљиве ваљке; глатке, при наносењу масноће, и оребрене, при наносењу смеше масноће и брашна.

Преко тако оформљене тестане траке наноси се други слој континуалне тестане траке (сл. 4.5.-ц). Слојеви тестане траке, у виду сендвича, постепено мењају дебљину пролазећи кроз низ калибрисаних ваљака (сл. 4.5.-д), пре него што стигну до уређаја за слојевање теста (сл. 4.5.-е), који слаже континуалну калибрисану тестану траку на излазни транспортер (сл. 4.5.-ф). Уређај за слојевање теста, чија је шема приказана на слици 4.6, је патентирана метода Baker Perkins-а, састоји се од уређаја за преврћање (сл. 4.6.-а), који се креће напред -

назад у правцу управном на главну траку линије (сл. 4.6.-б) и уређаја за компензацију (сл. 4.6.в). Уређај за превијање тестане траке је посебан тракасти транспортер са крајњим ролнама које имају могућност транслације, осмишљен тако да својим горњим делом има могућност прихвата тестане траке која излази из последњег пара ваљака, док доћи крај слаже тестану траку на излазни транспортер. Без компензационог уређаја правилан рад би био могућ само при ходу унапред, пошто би у повратном ходу долазило до нагомилавања тестане траке. Да би се нагомилавање спречило, између горњих и доњих крајњих ролни уређаја за превијање уграђен је компензациона уређај (сл. 4.6.в).



Слика 4.6 Шема уређаја за слојевање, хоризонтални ламинатор BAKER PERKINS

То је, практично, још један кратки преносни транспортер која се креће напред - назад заједно са уређајем за превијање.

Његова функција је прихват дела тестане траке изашлог из ваљака за калибрацију, док се уређај за превијање налази у повратном ходу, и предаја дела тестане траке

док се уређај за превијање налази у ходу унапред. Тиме се дужина тестане траке, кроз уређај за превијање, одржава константном.

На овај начин могуће је добити врло широку траку превијеног теста, без икаквог неправилног затезања, чак и онда када су у питању најосетљивија теста.

Број слојева које ова машина може да сложи зависи од дебљине првобитног слоја тестане траке и величине смањивања дебљине која се БЕЗБЕДНО може извршити пре сечења.

Уређај за слојевање хоризонталног ламинатора Baker Perkins, може да сложи од шест до шеснаест слојева тестане траке.

Иако је ламинатор Baker Perkins, када се појавио на тржишту, представљао врхунско достигнуће у квалитету добијеног производа, велики му је недостатак у томе што захтева знатни простор управно на главну траку/правац производне линије. Питање простора потребног за уградњу хоризонталног ламинатора, заједно са врло високом ценом, довело је до појаве вертикалних ламинатора.

#### **4.1.4 Уређај за слојевање ламинатора Несгона**

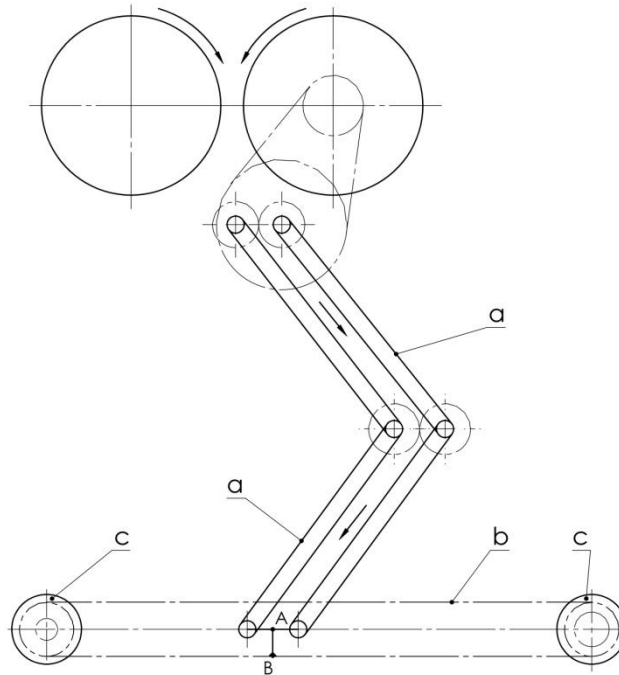
Произвођач Несгона из Западне Немачке у свом вертикалном ламинатору, који се иначе први појавио на тржишту, применио је уређај за слојевање који остварује реверзибилно кретање у вертикалном правцу у односу на главну траку линије, а такође, континуалну тестану траку слаже без сечења.

Уређај за слојевање је оригинално патентирано решење овог произвођача и обезбеђује теоријски беспрекорно слојевање управно на правац кретања доњег тракастог транспортера-главну траку линије. Састоји се од више склопова, од којих су најзначајнији склоп за пренос и слагање тестане траке и механизам за остваривање реверзибилног кретања.

Између задњег пара ваљака и траке на којој се обавља слојевање (сл. 4.7.), врши се вођење теста између великог броја паралелних пластичних каишева. Каишници (сл. 4.7.-а) имају обезбеђено принудно кретање једнако брзини теста које истиче између њих.

Механизам за остваривање реверзибилног кретања приказан је на доњем делу слике и састоји се од ланца (сл. 4.7.-б), пара ланчаника (сл. 4.7.-с) и кратке полуге

"А-В", која прави везу између уређаја за вођење и механизма за померање. Полука је круто спојена са ланцем док тачка А, у овом случају радна тачка механизма, има зглобну везу.



Слика 4.7 Шема уређаја за слојевање, вертикалног ламинатора HECRONA

Кретањем ланца брзином која се поклапа са брзином истицања теста долази до правилног слојевања теста на главну траку линије. Кад се радна тачка А поклопи са центром једног од ланчаника настаје кратка пауза у кретању, да би убрзо процес почео изнова. Током паузе испури веома мала количина теста која се по крајевима слојеване тестане траке појављује у виду петље у каснијем ваљању нађе своје место у структури тестане траке.

Основни недостатак овог типа уређаја за слојевање је у томе што се тестана трака са обе своје површине налази у сталном, чврстом, контакту са каишевима ради спречавања неконтролисаног цурења услед сопствене тежине. Чврст контакт захтева затезање каишева који имају тенденцију неједнаког издужења, па делови тестане траке улазе између каишева и каишника, долази до значајних поремећаја при слојевању што чини овај тип уређаја неприменљивим код теста са нижим процентом масноће.

## 4.2 Анализа патентних решења уређаја за слојевање код ламинатора

Напоменуто је раније да су уређаји за слојевање, као један од најзначајнијих делова ламинатора, углавном патентирана решења великих, светски признатих, произвођача опреме за производњу тврдог кекса и крекера. На тај начин произвођачи су се штитили од конкуренције и уједно ојачавали своје присуство и позиције на све захтевнијем тржишту. Због тога је доступан веома мали број публикованих остварења. Најзначајнија доступна документација везана је за патентна решења [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], и њиховом анализом покушаће се да се створи простор за синтезу новог оригиналног решења.

### 4.2.1 Метода за слојевање теста, *OAKES Corporation*

Овај проналазак се односио на израду колача, кекса и крекера односно на метод производње слојеване тестане траке у изради кекса и крекера, а власништво је једног од најстаријих произвођача кондиторских производа у САД. Настао је, између осталог, и како би се заменио раније објашњени начин рада уређаја за развлачење теста са повратним ваљцима, и омогућио фабричку производњу [10].

Користи принцип сечења претходно формиране тестане траке и састоји се од два транспортера са континуалним погоном, постављена један изнад другог под углом од 90° и међутранспортера, повремено погоњеног и убаченог између њих, који преноси тестани комад на други транспортер где се формира тестана трака састављена од жељеног броја слојеваних комада. Шема уређаја приказана је на слици 4.8.

У оквиру међутранспортера 18 разликујемо простор где се врши слојевање означен са 23, уређај за сечење који се састоји од обртне ролне 26 и ножа за сечење 27 и уређаја за посипање брашном 25. Рад уређаја за сечење и посипање тако је синхронизован да се врши у периоду док се остварује погон транспортне траке међу-транспортера. Формирана тестана трака леже на транспортну траку 14 постављену између крајњих ролни 15 и 16 и прелази на транспортну траку 19 међутранспортера постављену између ролни 19 и превојне ролнице 20.

Тестана трака се по потреби посипа брашном и долази до уређаја за сечење па се одсечени тестани комад транспортује до позиције за слојевање, изнад транспортера 24. Ролна 21, и крај транспортера 23 са превојном ролницом 20, имају могућност релативног кретања напред назад (приказано испрекиданом линијом) што омогућује слагање тестаног комада на транспортер 24.

Feb. 18, 1958

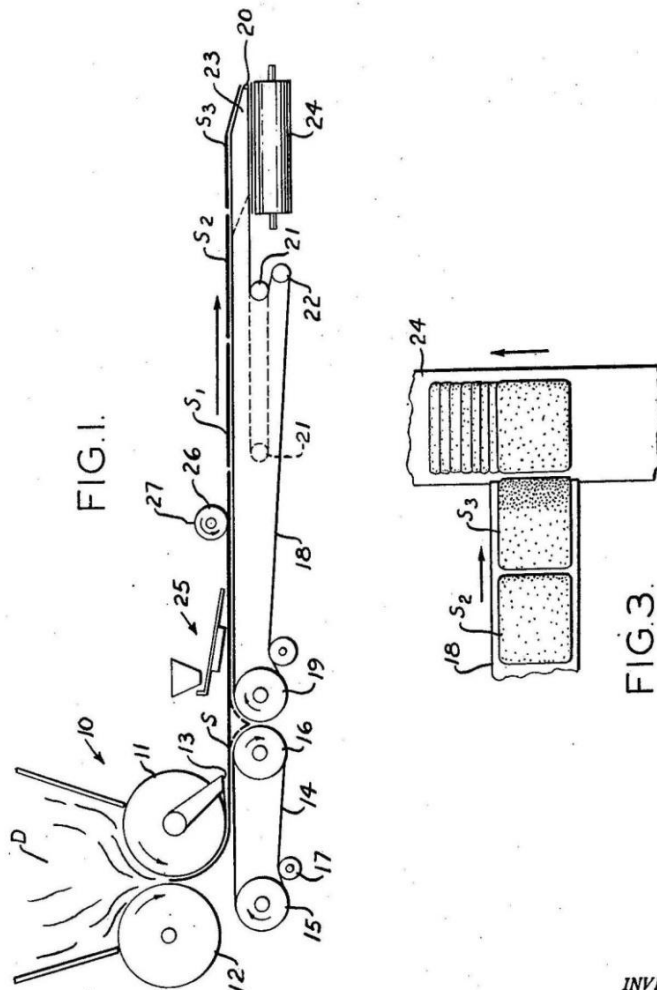
E. T. OAKES

2,823,625

METHOD OF LAMINATING DOUGH

Original Filed April 24, 1946

3 Sheets-Sheet 1



INVENTOR.  
EARLE T. OAKES

BY  
Campbell, Bimberg, Free & Jones  
ATTORNEYS

Слика 4.8 Шема уређаја за слојевање, патентни цртеж Е.Т. ОАКЕС

Feb. 18, 1958

E. T. OAKES

2,823,625

METHOD OF LAMINATING DOUGH

Original Filed April 24, 1946

3 Sheets-Sheet 2

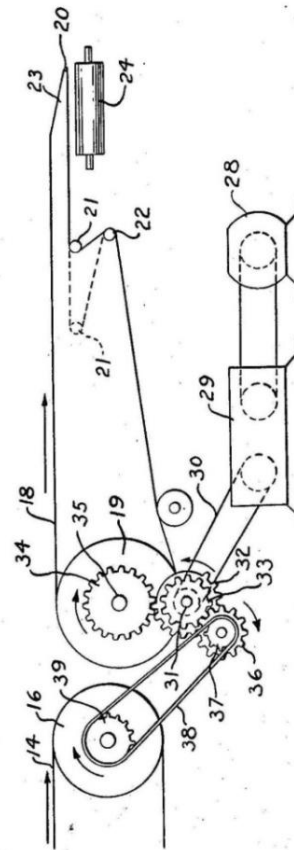


FIG. 2.

INVENTOR.  
EARLE T. OAKES

BY

Campbell, Bismeyer, Felt & Hooper  
ATTORNEYS

Слика 4.9 Шема погона уређаја за слојевање, патентни цртеж Е.Т. ОАКЕС

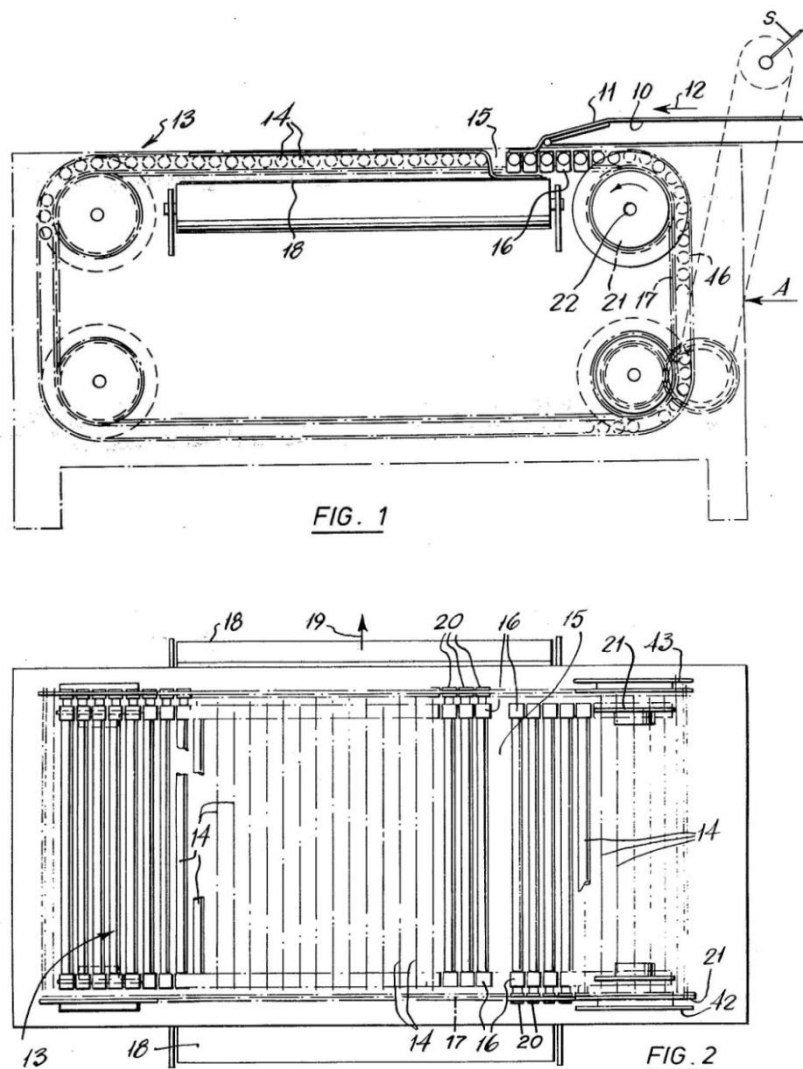
Слагање тестаног комада синхронизовано је тако да се врши када транспортна трака међуtransportера мирује.а услед континуалног погона транспортне траке 14, тестана трака С ствара петљу (испрекидана линија између ролни 16 и 19).Транспортна трака 18 има већу брзину него транспортна трака 14 па када се поново покрене, петља се поступно исправља док се потпуно не изгуби..

Погонски систем за остваривање и синхронизацију потребних кретања приказан је на сл.4.9.

#### 4.2.2 Ламинатори за теста SIMON VICARS Limited

Један од најстаријих и најпознатијих енглеских произвођача кондиторске опреме такође је био власник патента уређаја за слојевање [11], који претходно формирану тестану траку сече на одговарајућу дужину и тако формиране комаде управно слаже на излазни транспортер

Уређај за слојевање, приказан на слици 4.10, се састоји од улазног транспортера 10 који транспортном траком исечени комад тестане траке 11, ножем С, доводи до преносног транспортера 13 састављеног од група ролница 14 тако распоређених да између сваке групе постоји размак 15 који је једнак пречнику ролнице 14.



Слика 4.10 Шема уређаја за слојевање, патентни цртеж SIMON VICARS Limited



Свака ролница 14 је улежиштена на оба краја у носач 16 и има могућност ротације. На једном крају сваке ролнице постављен је ланчаник 20 али на такав начин, да се ланчаници 20 налазе на истим крајевима једне групе ролница а посматрајући групе ролница, ланчаници 20 постављени су наизменично. Носачи 16, на оба краја ролница, су међусобно спојени преко ланаца 17 тако да практично формирају бесконачну транспортну траку. Преносни транспортер прихвата одсечени тестани комад, ролницама које принудно ротирају у правцу кретања преносног транспортера, и односи га изнад излазног транспортера. У том тренутку, заустављањем ланца 46, ролнице почињу да ротирају у супротном смеру, због котрљања ланчаника 20 по сада непокретном ланцу 46, и одсечени комад теста слажу на излазни транспортер.

Излазни транспортер 18 на који се слажу тестани комади, постављен је управно испод горњег дела преносног транспортера 13 и има правац кретања 19. Одабиром потребног односа брзина преносног транспортера и излазног транспортера остварује се степен преклапања односно жељени број слојева на излазном транспортеру.

Правилно слојевање, пријем тестаног комада, пренос и слагање као и наизменична ротација ролница омогућена је погонским системом приказаним на слици 4.11.

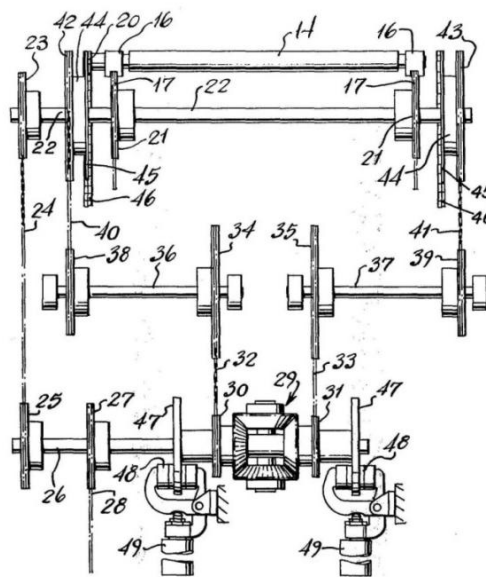
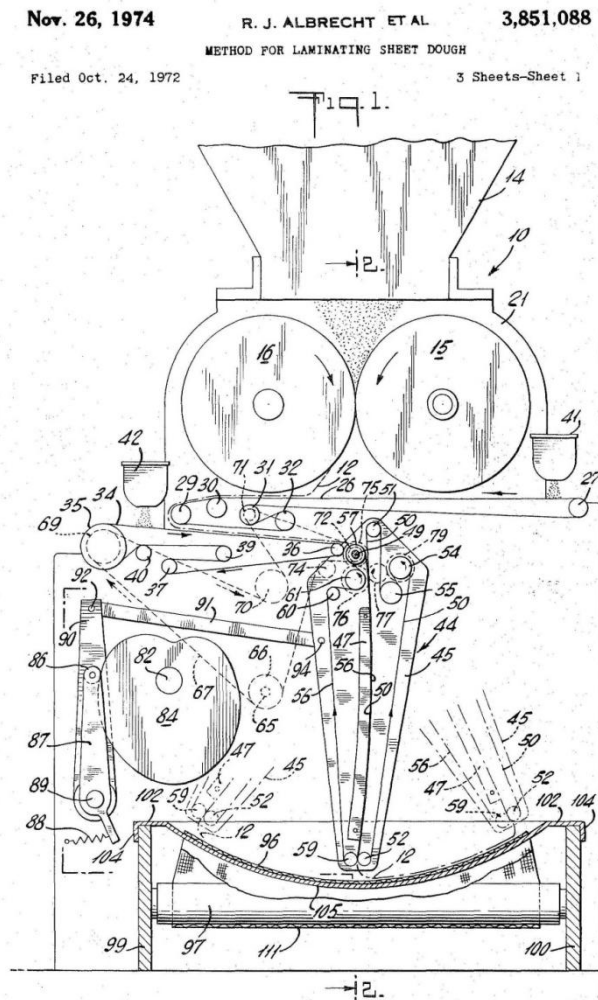


FIG 3

Слика 4.11 Шема погона уређаја за слојевање, патентни цртеж SIMON VICARS Limited

### 4.2.3 Метода слојевања тестане траке, NABISCO Inc

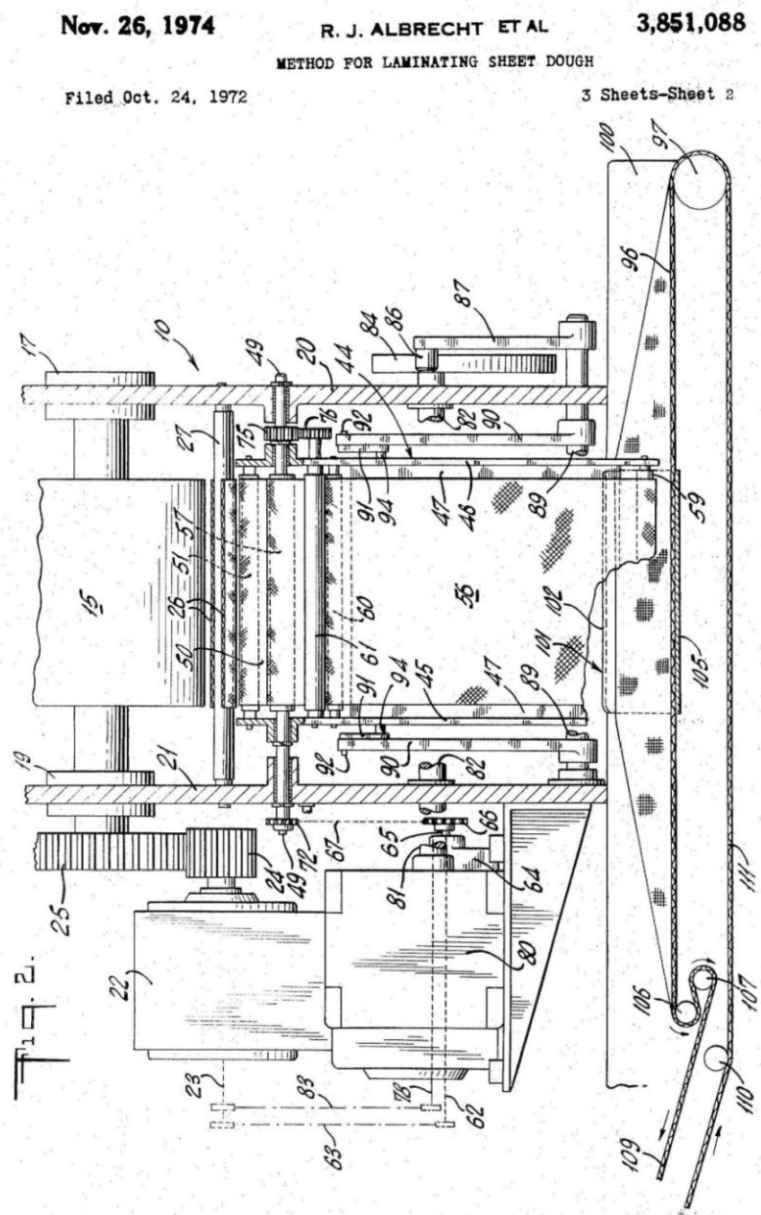
Nabisco Incorporation је компанија која је основана 1898. године као национална кексна компанија САД. Данас послује у оквиру компаније Kraft и производи неке од најпознатијих колача и крекера на свету као што су Oreos, Ritz Crackers, Triscuit и други. Власник је више стотина патената а међу њима и овог који се односи на метод и уређаје за слојевање тестане траке. Патент [12] је настао са циљем да унапреди пређашња решења уређаја за слојевање заснованих на принципу клатна, које се састојало од два насправно постављена транспортера између којих је вођена тестана трака и које је својим осциловањем, управно на излазни транспортер уз континуално истицање тестане траке, остваривало слојевање.



Слика 4.12 Шема уређаја за слојевање, патентни цртеж NABISCO Inc

Недостатак оваквог начина слојевања је што постоји променљивост растојања, услед кретања по кружном луку, крајњих тачака транспортера клатна, у односу на равну површину излазног транспортера на који се слаже, што ствара нехомогену структуру а понекад доводи и до кидања тестане траке.

Патентирани метод [12] и уређај приказан на сликама 4.12, 4.13 и 4.14 решава наведене недостатке тако што је место на коме се врши слојевање такве конфигурације да су растојања крајњих тачака транспортера клатна, за цео период осциловања, константна.



Сл. 4.13 Шема уређаја за слојевање-попречни пресек, патентни цртеж NABISCO Inc

Место слојевања, је тако изведено да, до тада равна, транспортна трака 96 излазног транспортера, прелази преко ослонца 105 облика дела цилиндричне површине чија је оса коаксијална са осом осциловања клатна 49 са транспортерима 50 и 56, поприма облик ослонца и остварује једнакост растојања крајњих тачака транспортера клатна 57 и 59 за цео период осциловања. Напуштајући место слојевања транспортна трака се исправља и односи слојевани садржај на даљу обраду.

Nov. 26, 1974

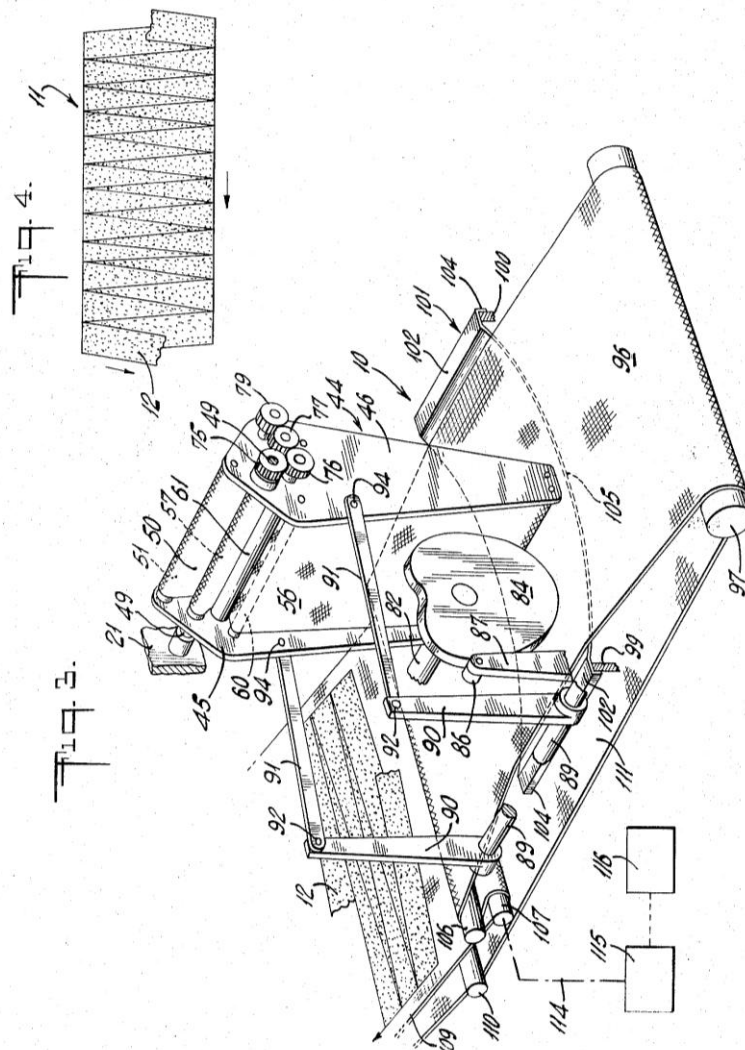
R. J. ALBRECHT ET AL

3,851,088

METHOD FOR LAMINATING SHEET DOUGH

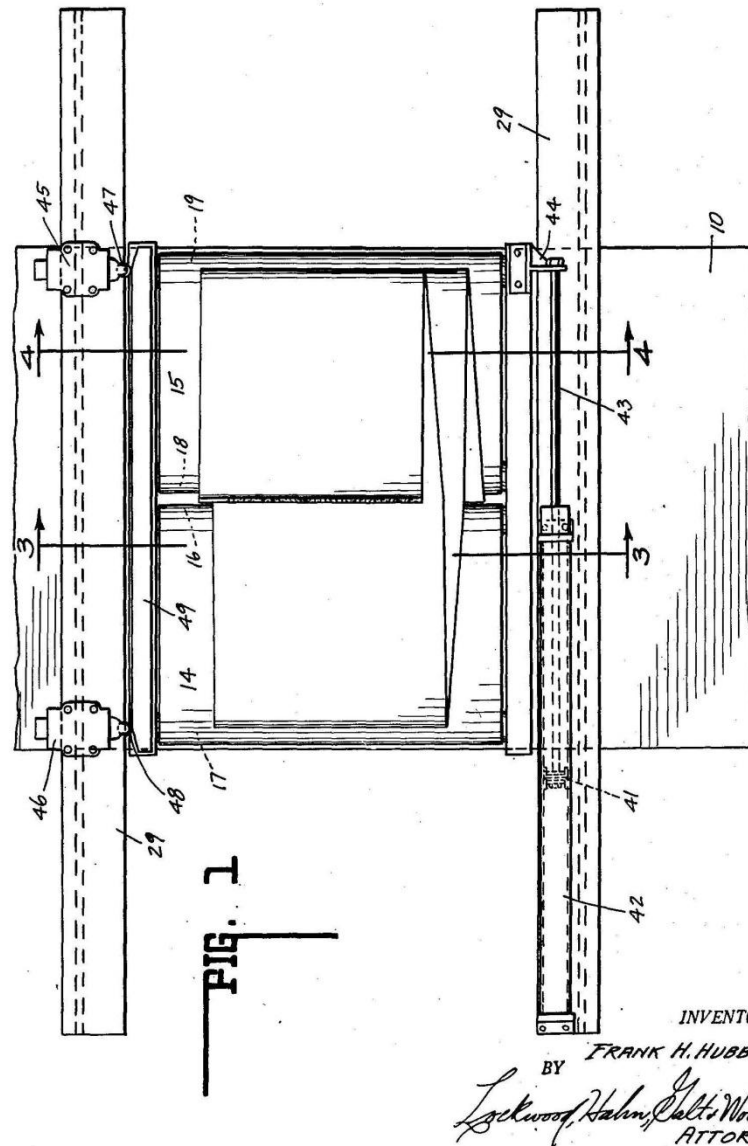
Filed Oct. 24, 1972

3 Sheets-Sheet 3



Сл. 4.14 Шема уређаја за слојевање- просторни изглед, патентни цртеж NABISCO Inc

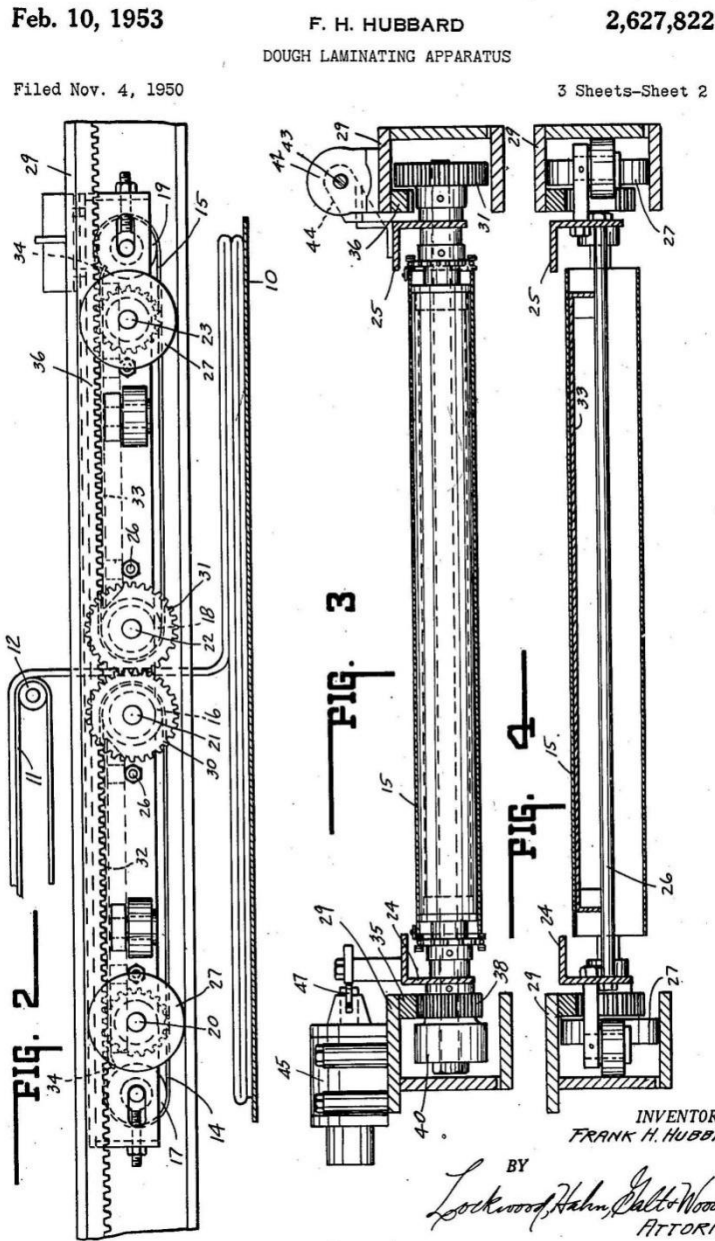
## 4.2.4 Уређај за слојевање теста, FRANK H. HUBBARD



Слика 4.15 Шема уређаја за слојевање-фиг.1, патентни цртеж Frank Hubbard

Патент [13] је настао са циљем да побољша дотадашње уређаје за слојевање теста. Уређај за слојевање се састоји од предајног транспортера 11, излазног транспортера 10 и уређаја за преклапање. Приказан је на сликама 4.15, 4.16 и 4.17. Уређај за преклапање сачињава основни рам оформљен од страница 24 и 25 које су укрупњене дистантерима 26. На оба краја рама постављене су осовине 20 и 23 са точковима 27 тако да рам има могућност праволинијског кретања у вођицама 29, постављеним под углом од  $90^\circ$  изнад излазног транспортера 10. Да би се осигурало котрљање точкова 27 по вођицама 29, на осовинама 20 и 23 поред

точкова постављени су и зупчаници који су спрегнути са зупчастим летвама 35 и 36. Унутар рама налазе се две бесконачне транспортне траке 14 и 15 које су обмотане преко крајњих ролни 16 и 17 односно 18 и 19. Кретање транспортних трака 14 и 15, остварују погонске ролне 16 и 18, а ролне 17 и 19 су затезне.



Слика 4.16 Шема уређаја за слојевање-фиг2-4, патентни цртеж Frank Hubbard

Погонске ролне 16 и 18 са припадајућим тракама образују грло кроз које ће се континуална тестана трака пренети са предајног транспортера 11 и сложити на транспортер 10. На једном крају вратила 21 и 22 погонских ролни, постављени су

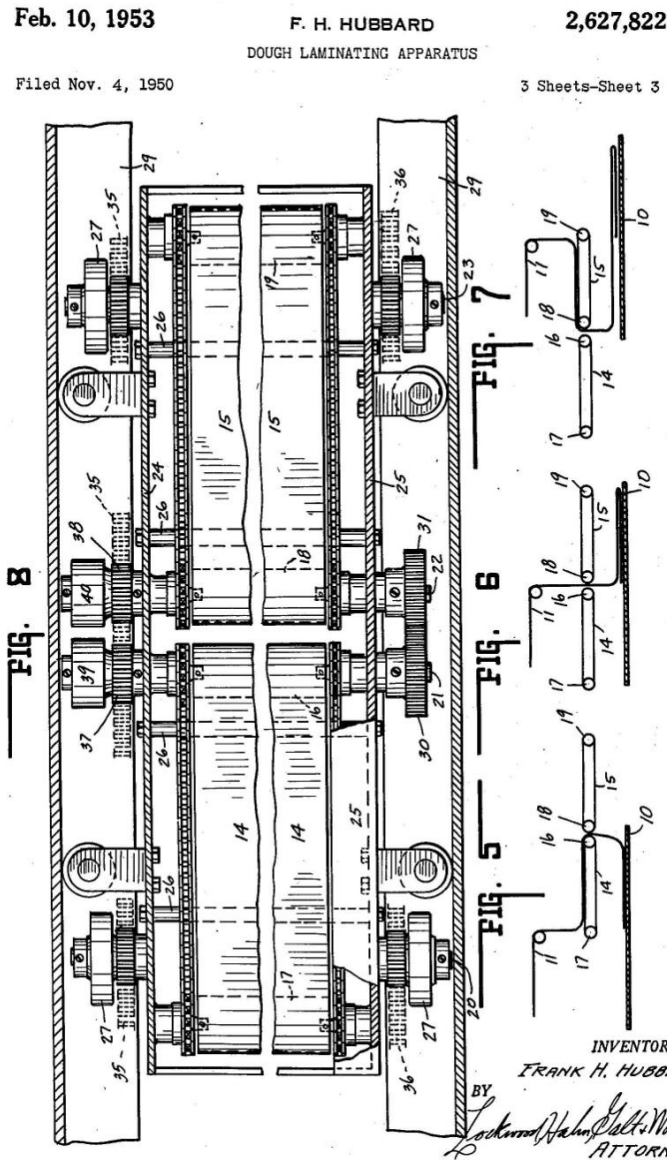
спрегнути зупчаници 30 и 31, што обезбеђује обртање погонских ролни у супротним смеровима и остварује правилно истицање тестане траке кроз грло.

На другом крају вратила погонских ролни налазе се зупчаници 37 и 38 спрегнути са непокретном зупчастом летвом 35 која је чврсто везана за вођицу 29, и једносмерне спојнице 39 и 40. Зупчаници 37 и 38, остварују обртање погонских ролни, при реверзибилном праволинијском кретању рама оствареног пнеуматским цилиндром 42, а једносмерне спојнице 39 и 40 обезбеђују увек исти смер обртања погонских ролни без обзира на смер праволинијског кретања рама. Приликом кретања у десно активна је једносмерна спојница 40 а при кретању у лево активна је једносмерна спојница 39.

Принцип слојевања приказан је на слици 4.16, а остварује се тако што се реверзибилним праволинијским кретањем рама у десно и у лево у односу на централни положај (положај пријемног транспортера 11, односно правац истицања тестане траке са пријемног транспортера 11) врши слагање континуалне тестане траке на излазни транспортер 10, с тим што се вишак тестане траке задржава на транспортној траци 14 или 15. Брзина кретања рама није константна током слојевања, како би се обезбедило правилно слојевање без нагомилавања и истезања тестане траке, већ је изведена тако да се рам из крајњих положаја креће веома брзо до централног положаја а затим спорије до крајњих положаја. Различита брзина кретања рама постиже се различитом брзином кретања клипа 41 у цилиндру 42, променом притиска радног флуда са једне и друге стране клипа 41. Вентилом 45 регулише се притисак са десне стране клипа 41 а вентилом 46 регулише се притисак са леве стране клипа 41. Вентили су постављени са горње стране вођица 29, па се кретањем рама за који је причвршћен брег 49 посебно обликованих крајева, остварује механички контакт брега и точкића 47 и 48 а тиме делимично или потпуно затварање вентила 45 и 46 чиме се постиже промена смера и брзине кретања рама. Недостатак овог патентног решења је у избору механизма за остварење реверзибилног кретања рама уређаја за преклапање.

Коришћењем пнеуматског или хидрауличког цилиндра у ту сврху захтева много утрошеног времена за синхронизацију брзине кретања рама са брзином кретања тестане траке, било да је потребно вршити синхронизацију услед промене брзине

тестане траке или потребом за променом броја слојева на излазном транспортеру, тако да је скоро неизводљива било каква синхронизација током производног процеса.



Слика 4.17 Шема уређаја за слојевање-фиг5-8, патентни цртеж Frank Hubbard

#### 4.2.5 Уређај за преклапање теста, *PILLSBURY Company*

Једна од најстаријих компанија у прехранбеној индустрији САД, позната по томе што је прва употребила челичне ваљке у производњи житарица. Корисник јепатента [14] који је реализован са циљем да унапреди нека своја ранија решења у области машинске обраде теста.



Уређај за слојевање се састоји из предајног транспортера, уређаја за преклапање и излазног транспортера. Предајни и излазни транспортер су класична решења са бесконачном транспортном траком а посебно је интересантно решење уређаја за преклапање.

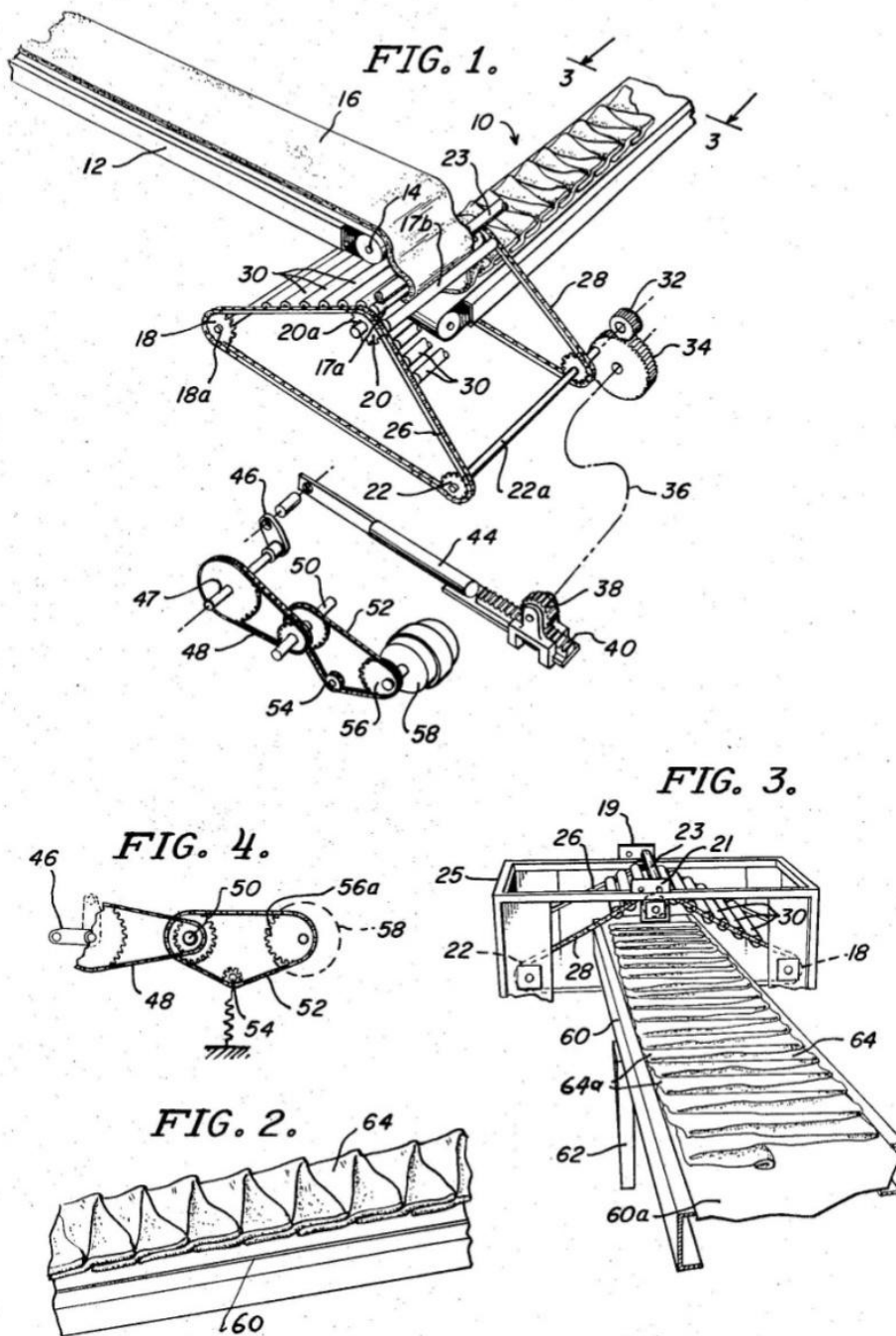
У правцу предајног транспортера 12, одмах испод, постављен је уређај за преклапање у чијој унутрашњости је постављен излазни транспортер 60 тако да заузима правац под углом од  $90^\circ$  у односу на предајни транспортер 12, што се види на слици 4.18 (fig 1, fig 3).

Структуру уређаја за преклапање чине: непокретни рам 25 са вратилима 18а и 22а и рукавцима 20а постављеним у облику троугаоне форме, и на оба краја вратила и рукаваца постављеним ланчаницима 18, 20 и 22, затим ролна за вођење 23 постављена у носачима 19 и 21, одмах испод завршетка предајног транспортера 12, где има могућност постављања и у други положај у зависности од стране наиласка предајног транспортера, ланци 26 и 28; међусобно повезани слободно обртним ролнама за вођење 17 и 17а и ролнама за придржавање 30 континуалне тестане траке, обмотани преко ланчаника 18, 20 и 22, и на крају, погона за остваривање реверзибилног кретања ланаца са припадајућим ролнама, који се састоји од од зупчаника 32 постављеног на осовину 22а и спрегнутог са зупчаником 34 који је везан за зупчаник 38 спрегнутог са зупчастом летвом 40 везаном за полуку 44, која је преко криваје 46 везана за вратило 47 које је спојено, преко склопа 48 ланца и ланчаника са преносним односом 2:1, са вратилом 50, и које је спојено, преко склопа 52 ланца и ланчаника са преносним односом 1:1 и затезника 54, са ексцентричним погонским ланчаником 56 ексцентрицитета 1:3, постављеним на осовину мотора 58. Континуална тестана трака 16 са предајног транспортера 12 пада на ролну за вођење 23 и са ње, проласком између ролни за вођење 17а и 17б пада на излазни транспортер 60.

Остваривањем реверзибилног кретања ланаца 26 и 28 ролне и за вођење 17 и 17а крећу се на исти начин, тако што из централног положаја иду наизменично леводесно и тако континуалну тестану траку 16 савијају уназад и унапред формирајући слојевану структуру 64 на излазном транспортеру 60.

PATENTED APR 16 1974

3,804,637

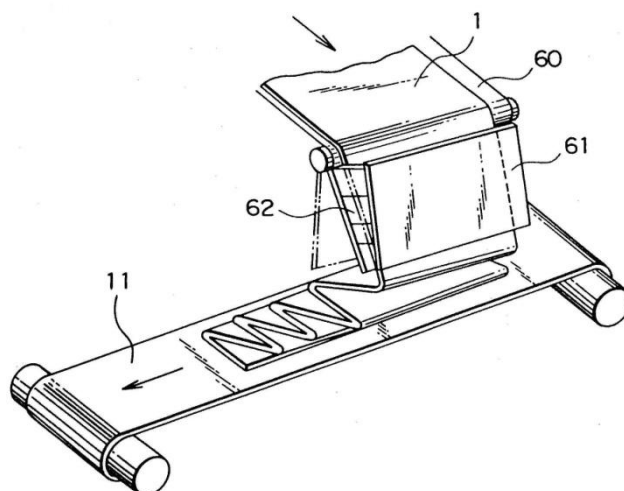


Слика 4.18 Шема уређаја за слојевање, патентни цртеж PILLSBURY Company

Употребом ексцентричног ланчаника 56, остварује се убрзање кретања криваје у оба екстремна положаја полуге 44 и успорење кретања криваје у средишњем положају полуге 44. Тако остварени измењени хармоник брзине спречава кретање сувише великом брзином.

#### 4.2.6 Уређај за ламинацију тестане траке, *Rheon Automatic Machinery*

Водећа јапанска компанија у производњи прехранбене опреме 1993. године патентирала је уређај за ламинацију тестане траке [15] у циљу побољшања постојеће врсте уређаја чији је принцип рада приказан на слици 4.19.



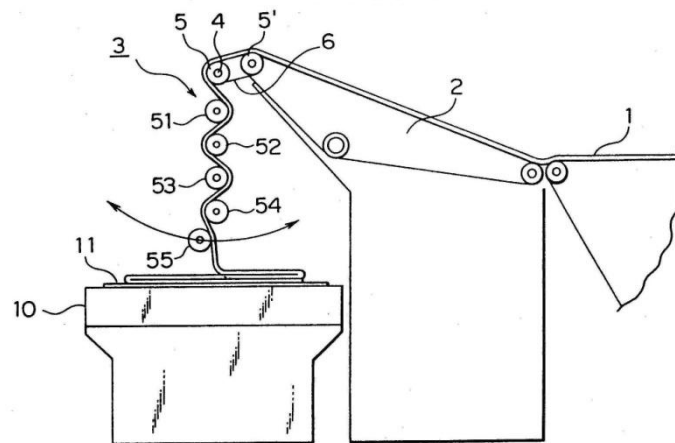
Слика 4.19 Уређаји за слојевање на принципу клатна, патентни цртеж *Rheon Automatic Machinery Co.*

Може се уочити да се тестана трака 1 долазним транспортером 60 помоћу осцилаторног уређаја састављеног од вертикалних површина 61, 62 са одређеним размаком између њих, континуално слаже на излазни транспортер 11.

Постојање великог растојања између долазног транспортера и места где се остварује слојевање на излазном транспортеру, као и недовољног придржавања тестане траке површинама 61 и 62, изазива њено издужење услед сопствене тежине, настало при проласку између истих. Резултат је промена дебљине и/или ширине тестане траке што неизбежно води ка повећању или смањењу количине предате тестане траке. Као последица, појављују се случајне варијације у маси по јединици површине слојеване тестане траке, чиме је онемогућено остваривање њене униформне дебљине и ширине.

Овим патентом, произвођач *Rheon Automatic Machinery Co.*, спречио је појаву случајних варијација тежине услед гравитације и инерције проузроковане осцилаторним кретањем тестане траке, као и минимизирање утицаја растојања између површина, проласком тестане траке кроз осцилаторни уређај.

Уређај за ламинацију који обухвата улазни транспортер, излазни транспортер и осцилаторни уређај, смештен између улазног и излазног транспортера, остварује слојевање тестане траке тако што се остварено кретање осцилаторног уређаја преноси на тестану траку. Осцилаторни уређај, садржи више паралелних обртних ролни између којих се води и придржава тестана трака.

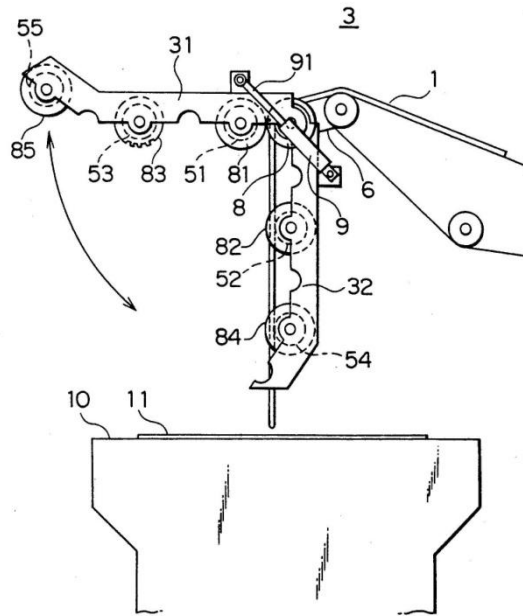


Слика 4.20 Шема уређаја за ламинацију, патентни цртеж Rheon Automatic Machinery Co.

На овај начин независно кретање тестане траке, изазвано утицајем сопствене тежине, се може довољно сузбити, чиме се постиже униформна тежина по јединици површине. Уређај за ламинацију, чија је шема приказана је на слици 4.20, састоји се улазног транспортера 2 на чијем је крају спојен осцилаторни уређај 3. Излазни транспортер 10, са транспортном траком 11, постављен је испод осцилаторног механизма 3. Транспортна трака 11, излазног транспортера 10, постављена је управно на правац улазног транспортера 2. Континуална тестана трака 1, преко улазног транспортера 2 вођена осцилаторним механизмом 3, слаже се на транспортну траку 11, осцилаторним кретањем осцилаторног механизма 3, и транспортује до следећих уређаја за њену даљу машинску обраду.

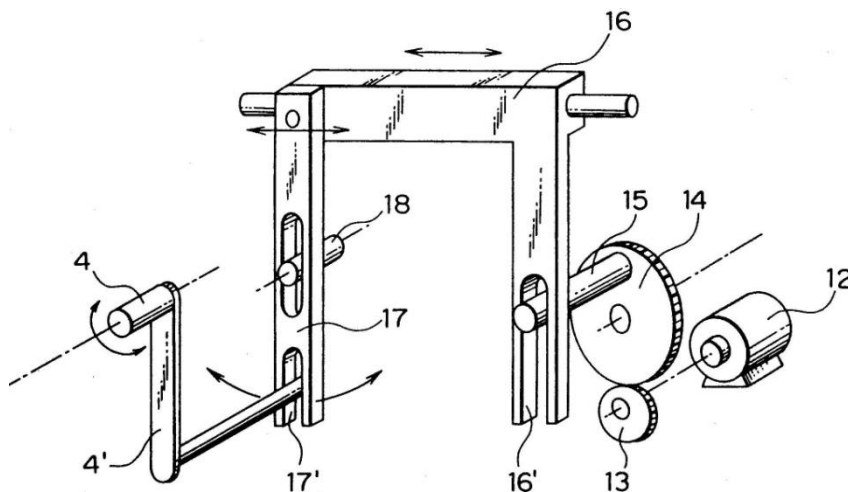
Улазни транспортер 2 има на свом крају ролне 5 и 5' које су спојене погонским каишем 6. Вратило 4 представља центар осцилаторног кретања осцилаторног механизма 3. Ролна 5 је постављена са зазором на вратило 4. Погонски каиш 6 покреће ролну 5 у смеру кретања тестане траке и то истом брзином као што је и брзина кретања тестане траке. Вратило 4 је погоњено мотором како би се остварило осцилаторно кретање осцилаторног механизма 3. Изглед рама

осцилаторног механизма 3 и погон за остваривање осцилаторног кретања дати су на сликама 4.21 и 4.22.



Слика 4.21 Шема осцилаторног механизма, патентни цртеж Rheon Automatic Machinery Co.

Важно је напоменути да је потребно обезбедити променљиву угаону брзину вратила 4 осцилаторног механизма 3 како би се остварило равномерно истицање тестане траке.



Слика 4.22 Погон осцилаторног механизма, патентни цртеж Rheon Automatic Machinery Co.

Без обзира на побољшања која су остварена, ово патентирано решење слојевања континуалне тестане траке коришћено је само код мини линија за радне ширине мање од 400 mm.

### 4.3 Провера техничких система

Анализа постојећих и патентираних решења уређаја за слојевање показала је да:

- Уређаји произвођача Нестона, Nabisco Incorporation, и других који изводе операцију слојевања континуалне тестане траке, претходно финално стањене, тако да се реверзибилно кретање одвија у вертикалној равни, остварују њено континуално и униформно истицање и слагање. Такође променом односа брзина излазног транспортера и брзине слагања тестане траке може се мењати број сложених тестаних слојева. Као последица промене смера реверзибилног кретања долази до формирања петљи на оба краја слојеване ширине тестане траке. Иако формирање петљи при даљој машинској обради доводи до неједнаке густине у средини и на крајевима слојеване тестане траке, ова се појава решава на машини за формирање и исецање форми тако што крајње ивице тестане траке исецањем остају на тестаној мрежи која се повратним транспортером враћа на поновну обраду. Ова врста уређаја захтева неопходно вођење и придржавање тестане траке са обе стране како би се спречило њено развлачење и неконтролисано истицање, што је последица извођења реверзибилног кретања при слојевању у вертикалној равни. Неопходан чврст контакт тестане траке вођене између две бесконачне транспортне траке, повећава могућност лепљења па се зато користе посипачи брашна како би лепљење спречили што опет може довести, као и недовољно чврст контакт, до развлачења, неконтролисаног истицања, а на излазном транспортеру формирање сабијеног слоја неједнаке дебљине. Употреба специјалних каишева уместо транспортних трака за придржавање тестане траке приликом извођења операције слојевања још више повећава могућност лепљења тако што постоји тенденција да се делови тестане траке који су у контакту са каишевима обмотају око њих, спрече правилан проток и доведу до озбиљних застоја.

Потреба за стриктним поштовањем технолошких захтева у погледу квалитета употребљених сировина и њихових међусобних односа још је више израженија код ове врсте уређаја за слојевање тако да би њихова употреба у срединама које нису у могућности да доследно испоштују технолошки поступак у производњи тврдог кекса и крекера представљала велики ризик.

- Уређаји за слојевање произвођача, Oakes Corporation, Werner&Pfleiderer, Simon Vicars, и других који користе метод претходног сечења континуалне тестане траке пре операције слојевања, финално стањене на технолошки одређену дебљину, тако да се реверзибилно кретање одвија у хоризонталној равни, постижу правилно слагање тестаног комада (при кретању у смеру који омогућује слагање) и остваривање слојеване структуре. Променом односа брзина излазног транспортера и брзине слагања тестаних комада може се мењати број сложених тестаних слојева. Одржавање правилног слојевања овим начином захтева строго придржавање технолошких захтева по питању квалитета употребљених сировина и одржавање у уским границама њиховог односа у припремљеном тесту, јер у противном може доћи и до релативног померања између сложених тестаних комада што проузрокује њихово развлачење или набирање, ремети хомогеност тестане траке и утиче на структуру финалног производа. Када је потребно да се између слојева тестане траке посебно дода слој масноће или смеша брашно-масноћа (нарочито при производњи већине врста крекера), постоји опасност да при даљој машинској обради тако формираних слојева, ваљцима за глачање и калибрацију, дође до истицања садржаја дозирањог између тестаних комада, и то најпре по ивицама паралелним са правцем кретања излазног транспортера. То може довести до неправилног формирања, поремећеног и отежаног тока тестане траке, неконтролисане хомогености и сл.

- Уређаји за слојевање произвођача Baker Perkins, и других који изводе операцију слојевања континуалне тестане траке, претходно финално стањене, тако да се реверзибилно кретање одвија у хоризонталној равни, унапређујући претходне начине слојевања, остварују њено континуално и униформно истицање и слагање. Реверзибилним кретањем у хоризонталном правцу, изнад излазног транспортера, остварује се блажи третман континуалне тестане траке пред слагање него код решења где је потребно обострано придржавати тестану траку, избегава се појава лепљења а синхронизацијом брзина кретања компензационе јединице и уређаја за слагање омогућава се одржавање њене хомогености без појаве набирања или истезања. У овом случају она слободно лежи на транспортној траци која врши слагање а формирање слојева се врши за све време реверзибилног кретања односно и при ходу унапред и при ходу уназад. Пошто се

слојевање врши у оба смера реверзибилног кретања тада и брзине транслације могу бити мање, у односу на решења где се континуална тестана трака сече на одговарајуће комаде пред слојевање а само слагање се врши у току радног хода уназад (када се полаже одсечени тестани комад на излазни транспортер), па се тако утицај инерцијалних сила, при промени смера реверзибилног кретања, значајно смањује. Значајно је и то што су уклоњени недостаци проузроковани сталним стартовањем и заустављањем уређаја за слагање или наизменичним кретањем комплетне тестане траке. Овим начином слојевања омогућено је да се прошири производни капацитет јер је погодан, поред тврдих кексних теста, и за производњу производа који су израђени од мекших кексних теста.

Развијена су и патентна решења [16] која указују да код ламинатора са јединственим погоном реверзибилног механизма, транспортних трака и помоћних механизма није могуће фино подешавање и независна оптимизација компензационе јединице у односу на уређај за преклапање тестане траке.

Такође, развијана је и патентирана примена уређаја за слојевање у специфичним конфигурацијама код производних линија које не захтевају процес слојевања за одређен асортиман производа [17].

Анализа постојећих и патентираних решења уређаја за слојевање код ламинатора је за резултат дала правац којим треба ићи у изналажењу оригиналног решења. У радовима [18] и [19] исказана је идеја реверзибилног механизма ламинатора што је заједно са анализом постојећих и патентираних решења довело до формирања тезе ове докторске дисертације ***да је могуће пронаћи такво решење реверзибилног механизма које ће остварити захтевано кретање и оперативне карактеристике слојевања тестане траке, тако да се широк дијапазон улазних сировина по квалитету и саставу, може прерадити у излазни производ захтеваног квалитета.***



## 5 АКСИОМАТСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ

### 5.1 Уводна разматрања

Слаб пројекат или производ, без обзира био он велики или мали, може да буде опасан, да произведе додатне трошкове, ограничи употребну вредност или успори увођење нових производа. Трошкови гаранције неких производа чине значајан део њихове цене. Лоше пројектована опрема захтева додатно одржавање и троши драгоцену време, док откази често производе материјалне или чак људске губитке. Такође, многи лоше замишљени и постављени развојни пројекти одвијају се уз велика прекорачења рокова и трошкова и завршавају се потпуним неуспехом. Понекад је неуспех проузрокован недостатком научног знања, али већина проблема настаје због лошег пројектовања производа, процеса, софтвера и система.

Главни разлог што и у данашње време има толико пројектантских промашаја је то што се пројектује емпиријски, на основу покушаја и грешака. Ова чињеница се не односи само на поједине државе или компаније, него се може рећи да је универзална. Универзитети широм света не пружају својим студентима инжењерства опште, кодификовано, систематско знање о пројектовању, па се пројектовање – конструисање (design) сматра предметом непогодним за научно разматрање. Зато за последицу имамо да се пројектовање још увек ослања на интуитивно резонување, на унутрашњи осећај, уместо на доследно спроведено научно истраживање. Један од највећих изазова у области пројектовања је да се превазиђе мишљење које га смешта међу вештине, уместо међу вештине и научне дисциплине. Међутим, област пројектовања не сме да остане у емпиријској фази. Баш као многе друге технолошке области које су прошле кроз сличне фазе развоја, и област пројектовања еволуира у праву, научно засновану дисциплину.

## 5.2 Дефиниција пројектовања.

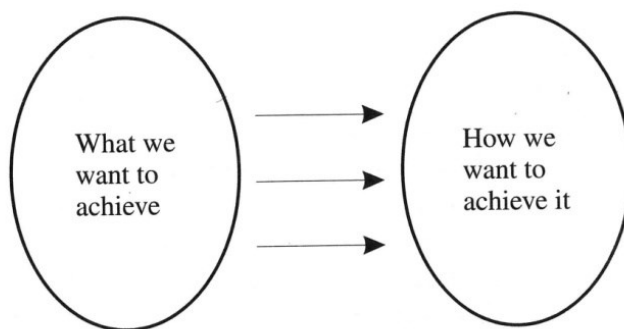
Пројектовање - конструисање се дефинише на разне начине, у зависности од контекста и/или области о којој се ради. Инжењери машинства обично пројектују производе. Инжењери технологије пројектују нове производне процесе и системе (тј. фабрике и производне погоне). Инжењерима електротехнике пројектовање значи развој дигиталних и аналогних кола, комуникационих система и хардвера, док архитекте мисле на техничке и организационе системе. Свима су заједничке пројектне активности, иако су њихов садржај и знање потребни да се постигну пројектни циљеви, специфичне за сваку област. Иако свака област користи друге базе података и друге пројектне процедуре, сами процеси пројектовања имају много заједничких особина. Свим овим дисциплинама је заједничко то што пројектанти морају да ураде следеће:

- да упознају или разумеју потребе својих клијената,
- да дефинишу проблем који морају да реше да би задовољили те потребе,
- да синтетизују концептуално решење,
- да спроведу анализу на основу које ће оптимизовати предложено решење,
- да провере да ли тако добијено решење задовољава потребе клијената.

Према изворној литератури [20] идејног творца аксиоматског пројектовања, пројектовање је интеракција онога *што* желимо да постигнемо и онога *како* желимо то да постигнемо. Ова интеракција, или успостављање пресликавања (mapping), приказана је на слици 5.1. Доследан приступ пројектовању захтева од пројектанта, да на почетку, експлицитно наведе „оно *шта* се жели да постигне“ и, на крају, јасан опис „онога *како* ће се то постићи“. Када се установе потребе клијента, треба их трансформисати у минимални скуп спецификација, који ће се касније дефинисати као функционални захтеви – адекватан опис „онога *што* желимо да постигнемо“ да бисмо задовољили потребе клијента. „*Како* то да постигнемо“ формулисано је у облику конструктивних – пројектних параметара.

Прецизан опис „онога *што* желимо да постигнемо“ за пројектанте је често тежак задатак. Многи од њих се намерно одлучују да им пројектни циљеви остану имплицитни и почињу да раде на пројектним решењима пре него што су јасно дефинисали циљеве. Успешност свог пројекта процењују упоређујући га са

имплицитним циљевима које су имали у виду – што може, али не мора бити оно што је клијент желео. Троше много времена поправљајући пројекат и стално пролазећи кроз нове итерације, све док пројектно решење и „оно што су имали у виду“ не почну да конвергирају – што је, у најбољем случају, процес који захтева јако много времена. Да би био ефикасан и да би произвео решење које задовољава установљене потребе, пројектант мора изричито да наведе пројектне циљеве тј. „оно што жели да постигне“ и да тек онда започне процес пројектовања. Итерације између „онога што желимо“ и „онога како то да постигнемо“ неопходне су, али се у свакој новој итерацији „оно што желимо“ мора јасно редефинисати.



Слика 5.1 Дефиниција пројектовања као успостављање пресликавања између „онога што желимо да постигнемо“ и „онога како желимо то да постигнемо“ [Suh N.P. 2001].

Важна чињеница коју треба имати у виду је да неопходно да се размишља о *функцијама* производа (софтвера, система, процеса или организације). Неопходно је схватити како да се *функционално* размишља приликом пројектовања производа, процеса, софтвера, организација, пословних и акционих планова.

Иако је пројектовање стара дисциплина, организовање знања у њеним оквирима – генерализовањем, кодификовањем и систематизовањем, тако да буде могуће научити инжењере да буду добри пројектанти – споро је текло. Кодификовано и генерализовано знање скраћује време потребно за развој добрих пројектних решења тако што омогућава да се добре одлуке донесу брзо и из првог покушаја. Сврха аксиоматског пројектовања је да унапреди искуство пројектаната

предочавајући им принципе, теорије и методологије које делују у позадини, тако да они могу у потпуности да искористе своју креативност. Иначе, креативност веома утиче на процес пројектовања, а сама реч „креативност“ користи се да означи људску активност чији су исходи досетљиви, непредвидљиви или неочекивани резултати (нпр. нови производи, процеси и системи) који задовољавају потребе друштва или људске тежње. У овом контексту, креативна „решења“ се откривају или изводе уз помоћ инспирације а да се, често, никад експлицитно не дефинише шта то неко има намеру да креира.

Предмет разматрања увек је тајанствен кад се заснива на имплицитном мисаоном процесу који се не може експлицитно изразити и објаснити тако да га други разумеју и који се може спознати само кроз искуство, шегртовање у мајсторској радионици или уз помоћ покушаја и грешака. Пројектовање је већ дуго међу таквим мистеријама, али ми морамо да превазиђемо ту интелектуалну и менталну баријеру.

Пројектовање мора да постане предмет разматрања заснован на принципима. Пројектовање као предмет разматрања треба да достигне онај ниво интелектуалног разумевања који постоји у областима као што су термодинамика и механика. Знања из пројектовања и других области треба да конвергирају и да формирају континуум знања, а не да остану у облику изолованих острва знања, карактеристичних за тренутну ситуацију. Разумевање процеса пројектовања је заиста један од најизазовнијих праваца интелектуалног истраживања. Добробити од структурисаног знања о пројектовању осетиће читаво човечанство, људско друштво, индустрија и читав свет [21].

### **5.3 Циљеви аксиоматског пројектовања**

Крајњи циљ аксиоматског пројектовања је да се установи научна основа пројектовања и да се пројектовање унапреди тако што ће се пројектанту понудити теоријско утемељење засновано на начинима размишљања и алатима који су логични и рационални. Циљ аксиоматског пројектовања је многострук: да се људи који се баве пројектовањем учине креативнијим, да се редукује насумична потрага за решењима, да се ограничи итеративни процес заснован на покушајима и грешкама, да се међу понуђеним пројектима поуздано утврде најбољи и да

развојем нових програма рачунар постигне креативну снагу успостављањем научне базе за област пројектовања.

Аксиоматско пројектовање налаже јасно формулисање пројектних циљева састављањем листе функционалних захтева и ограничења. Оно нуди критеријуме на основу којих се могу разликовати добре пројектне одлуке од лоших, чиме помаже да се лоше идеје што је могуће пре елиминишу и да се пројектанти концентришу на оне идеје које обећавају. Оно такође формализује процес декомпоновања који омогућава систематски ток од концептуалних решења до разрађених пројеката.

Осим поменутих интелектуалних разлога за развијање научне основе пројектовања, постоје и практични разлози. Компетитивност у индустријској сфери налаже да фирме буду технички изузетно оспособљене у области пројектовања. Оне су под великим притиском да скрате време потребно за увођење нових производа, да смање производне трошкове, повећају квалитет и поузданост својих производа, као и да све тражене функције остваре на најефикаснији могући начин. Највећи утицај на све ове потребе индустрије имају квалитет и правременост развоја пројектних решења.

Данас се рачунари користе у области пројектовања, али првенствено за графичко представљање, тродимензионално моделирање, моделирање производа и оптимизацију пројектних решења. Будући да рачунари постају све моћнији и јефтинији – мања цена меморије, бржа обрада података и мање димензије, пројектанти би требало да их користе као уређаје за складиштење података и као алате за унапређење пројектовања који могу да увећају људске способности. То се може постићи кодификовањем и генерализовањем знања о пројектовању. Крајњи исход истраживања пројектовања могла би да буде машина за пројектовање.

Област пројектовања доживљава интелектуални препород – напредујући од идеје да се пројектовање може научити једино из искуства ка идеји да систематски и научни третман може да унапреди креативност и искуствене елементе знања о пројектовању. Препород је могућ зато што добре пројектне одлуке нису тако насумичне као што изгледају, него су резултат систематског резоновања, чија се суштина може сабрати и генерализовати да би се унапредио процес пројектовања.

## 5.4 Улога аксиома у развоју науке и технологије

Историја нам говори да су Грци први користили аксиоме. Вероватно најстарији пример коришћења аксиома је Еуклидова геометрија, која је настала из потребе за мерењем растојања. Аксиоме су снажно утицале на стварање модерне математичке основе за производњу, као и скоро све области науке и технологије.

Аксиоме су истине које се не могу извести, али за које не постоје контрапримери ни изузеци. Многе области науке и технологије дугују свој напредак постојању и развоју аксиома.

Природне науке се не заснивају само на аксиомама. Заснивају се и на другим природним законима, који често проистичу из експерименталних посматрања и мерења.

Аксиоме пројектовања настале су утврђивањем заједничких елемената доброг пројектовања. Постављена су следећа питања:

- Шта даје побољшање током процеса пројектовања?
- Како се одвија тај процес?
- Који су заједнички елементи доброг пројектовања?

Постоје два начина за разматрање пројектовања: аксиоматски и алгоритамски. У идеалном свету, развој знања требало би да напредује од аксиома преко алгоритама до алата. Међутим, алгоритми се не ретко развијају *ad hoc*, без позивања на темељне принципе.

У оквиру чисто алгоритамског приступа, покушавамо да идентификујемо или пропишемо процес пројектовања тако да он на крају доведе до резултата који испуњава пројектне циљеве. Уопштено речено, алгоритамски приступ се заснива на идеји да је најбољи начин за унапређење пројектовања тај да праћењем најбоље пројектантске праксе покушамо да изведемо процес пројектовања.

Аксиоматски приступ сваком предмету разматрања почиње истом премисом – да је могуће генерализовати принципе који у позадини управљају понашањем посматраног система. Аксиоматски приступ се заснива на *апстракцији* која проистиче из добрих пројектних одлука и добрих процеса пројектовања. Као што је већ речено, аксиоме су очигледне истине или општи принципи који се не могу

извести ни доказати, а за које не постоје контрапримери ни изузеци. Аксиоме генеришу нове апстрактне појмове, као што су нпр. сила, енергија и ентропија проистекле из Њутнових закона и закона термодинамике.

## 5.5 Оквир аксиоматског пројектовања

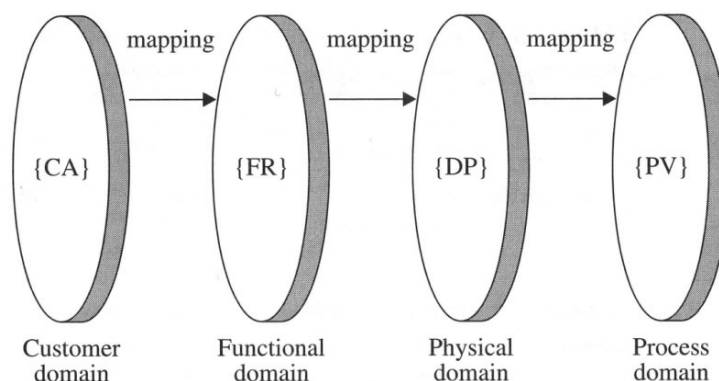
### 5.5.1 Појам домена

Пројектовање подразумева интеракцију „онога *што* желимо да постигнемо“ и „онога *како* желимо то да постигнемо“ (тј. да задовољимо неку потребу). Да би се систематизовао мисаони процес који прати ову интеракцију, уводи се – као важан темељ аксиоматског пројектовања – појам *домена*, који постављају демаркационе линије између четири различите врсте пројектних активности.

Свет пројектовања састављен је од четири домена: *домен клијента*, *функционални домен*, *физички домен* и *процесни домен*. Доменска структура шематски је приказана на слици 5.2. Домен с леве стране у односу на домен с десне представља „оно што желимо да постигнемо“, док домен с десне стране представља пројектно решење тј. „како предлажемо да испунимо захтеве наведене у левом домену“.

*Домен клијента* карактеришу потребе (или особине) које клијент тражи у производу (процесу, систему, материјалу итд). У *функционалном домену*, потребе клијента спецификоване су у облику *функционалних захтева* (functional requirements, FRs) и *ограничења* (constraints, Cs). Да бисмо испунили наведене функционалне захтеве, формулишемо *пројектне - конструктивне параметре* (design parameters, DPs) у *физичком домену*. На крају, да бисмо направили производ спецификован уз помоћ пројектних параметара, развијамо процес који карактеришу *процесне променљиве* (process variables, PVs) у *процесном домену*.

Током процеса пројектовања крећемо се са лева у десно. Процес је итеративан у смислу да пројектант може да се врати у домен на левој страни уколико идеје настале у домену на десној страни то захтевају.



Слика 5.2 Четири домена света пројектовања. У заградама су карактеристични вектори сваког домена ( $\{X\}$ ), [Suh N.P. 2001].

Функционални домен се састоји од функционалних захтева (FRs), често у виду инжењерских спецификација и ограничења. Физички домен је домен у оквиру којег се бирају кључни пројектни параметри (DPs) који ће испунити функционалне захтеве. На крају, у процесном домену се спецификују производне процесне променљиве (PVs) које могу да произведу пројектне параметре (DPs).

Сви пројекти се уклапају у ова четири домена, а све пројектне активности, се могу генерализовати уз помоћ истих принципа. С обзиром на ову логичну структуру, принципи генерализованог пројектовања могу се применити у свим областима пројектовања, а сва питања која проистекну из четири домена могу се разматрати систематски и, ако је потребно, упоредно. У прилогу 1 дата је табела која приказује четири домена света пројектовања у различитим областима а у прилогу 2 илустровано је пројектовање организационе структуре једног одељења у оквиру америчког универзитета [21].

### 5.5.2 Дефиниције

- *Аксиома* – Очигледна истина или фундаментална истина за коју нема контрапримера ни изузетака. Аксиома се не може извести из других принципа или закона природе.
- *Последица* – Закључак изведен из аксиома или из ставова који су проистекли из аксиома или из других ставова који су доказани.
- *Теорема* – Став који није очигледан, али се може доказати на основу прихваћених премиса или аксиома, чиме постаје закон или принцип.



- *Функционални захтев* – Функционални захтеви (FRs) су минимални скуп независних захтева који у потпуности карактерише функционалне потребе производа (или софтвера, организације, система итд.) у функционалном домену. По дефиницији, сваки функционални захтев независан је од сваког другог функционалног захтева у тренутку кад се формира минимални скуп захтева.
- *Ограничење* – Ограничења (Cs) су границе прихватљивости решења. Постоје две врсте ограничења: *улазна* ограничења и *системска* ограничења. Улазна ограничења су део пројектних спецификација. Системска ограничења су она која намеће систем у оквиру којег пројектно решење мора да функционише.
- *Пројектни -конструктивни параметар* – Пројектни параметри (DPs) су кључне физичке променљиве (или други еквиваленти појмови у случају пројектовања софтвера итд.) у физичком домену које карактеришу пројекат који испуњава наведене функционалне захтеве.
- *Процесна променљива* – Процесне променљиве (PVs) су кључне променљиве (или други еквиваленти појмови у случају пројектовања софтвера итд.) у процесном домену које карактеришу процес који може да генерише наведене пројектне параметре.

### **5.5.3 Успостављање релација између потреба клијента и функционалних захтева**

Сазнање да је неопходно систематизовати потребе клијената навело је велике компаније да развијају методологије уз помоћ које се потребе клијента идентификују, рангирају по приоритету, повезују са инжењерским карактеристикама, детаљно упоређују с конкурентским производима. Тако је *Fuji Xerox*, развио методологију под називом „Примена функције квалитета (Quality Function Deployment, QFD), а *Toyota* је представила идеју под називом „Кућа квалитета“ (House of Quality) Међутим, треба водити рачуна да функционални захтеви морају да буду формулисани у околини неутралној у односу на решење.

У процесу успостављања релација (нпр. између функционалног и физичког домена), морамо да донесемо исправне пројектне одлуке уз помоћ аксиоме независности. Кад постоји неколико пројектних решења која задовољавају

аксиому независности, за избор најбољег може се користити аксиома информације. Кад треба испунити само један функционални захтев тако што би се нашао прихватљив пројектни параметар, аксиома независности је увек задовољена и аксиома информације је једина коју тај пројекат с једним функционалним захтевом треба да задовољи.

Према [21], основни постулат аксиоматског приступа пројектовању је да постоје темељне аксиоме које управљају процесом пројектовања. Две аксиоме су идентификоване разматрањем заједничких елемената који су присутни у сваком добром пројекту.

Прва аксиома се зове *аксиома независности*. Она изражава став да независност функционалних захтева мора бити очувана у сваком тренутку, при чему су функционални захтеви дефинисани као *минимални скуп независних захтева* који карактерише пројектне циљеве.

Друга аксиома се зове *аксиома информације* и она изражава став да је, међу пројектима који задовољавају аксиому независности, онај с најмањом количином информације (information content) и најбољи. Будући да се количина информације дефинише уз помоћ вероватноће, друга аксиома изражава и став да је пројекат с највећом вероватноћом успеха и најбољи. На основу ових аксиома пројектовања можемо да изводимо последице и теореме. Формални искази аксиома су следећи:

- *Аксиома 1:* Аксиома независности. Очувати независност функционалних захтева.
- *Аксиома 2:* Аксиома информације. Минимизовати количину информације.

#### **5.5.4 Аксиома независности**

Као што је већ речено, функционални захтеви су дефинисани као минимални скуп независних захтева које пројекат мора да испуни. Функционални захтеви представљају опис пројектних циљева. Аксиома независности налаже да, у случају да постоје два функционална захтева или више њих, пројектно решење буде такво да испуњава сваки од функционалних захтева не утичући при том на остале. Аксиома независности се често погрешно схвата. Многи не разликују функционалну независност од физичке. Аксиома независности захтева да

функције пројекта буду независне једна од друге. а не физички делови. Друга аксиома сугерише да је физичка интеграција пожељна да би се смањила количина информације, под условом да је могуће одржати функционалну независност.

Процес успостављања релација између домена може се изразити математички уз помоћ карактеристичних вектора који дефинишу пројектне циљеве и пројектна решења. На датом нивоу пројектне хијерархије, скуп функционалних захтева, у функционалном домену, који дефинише специфичне пројектне циљеве чини вектор FR. Слично, скуп пројектних параметара у физичком домену који су изабрани тако да испуне функционалне захтеве чини вектор DP. Однос између ова два вектора може се записати у облику

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (5.1)$$

где се  $[A]$  назива *пројектном матрицом* која карактерише пројекат датог производа, а једначина (5.1) – пројектном једначином. Пројектна једначина за пројекат са три функционална захтева (FRs) и три пројектна параметра (DPs) има следећи облик:

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

Кад се једначина (5.1) запише у другачијем облику као

$$\{dFR\} = [A]\{dDP\}$$

добија се да су елементи пројектне матрице

$$A_{ij} = \partial FR_i / \partial DP_j$$

Са три функционална захтева (FRs) и три пројектна параметра (DPs), једначина (5.1) може се записати уз помоћ елемената  $A_{ij}$  као

$$FR_i = \sum_{j=1}^3 A_{ij} DP_j$$

или

$$\begin{aligned} FR_1 &= A_{11} DP_1 + A_{12} DP_2 + A_{13} DP_3 \\ FR_2 &= A_{21} DP_1 + A_{22} DP_2 + A_{23} DP_3 \\ FR_3 &= A_{31} DP_1 + A_{32} DP_2 + A_{33} DP_3 \end{aligned} \quad (5.3)$$

Уопште,

$$FR_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} DP_j$$

где је ( $n$ ) број пројектних параметара (DPs).

У линеарном пројекту  $A_{ij}$  су константе, док су у нелинеарном пројектовању  $A_{ij}$  функције пројектних параметара (DPs). Постоје два специјална случаја пројектне матрице: дијагонална и троугаона. Код дијагоналне матрице  $A_{ij} = 0$  осим кад је  $i = j$ :

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Код доње троугаоне матрице (lower triangular matrix, LT), сви елементи у горњем троуглу једнаки су нули:

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Код горње троугаоне матрице (upper triangular matrix, UT), сви елементи у доњем троуглу једнаки су нули.

У случају пројектовања процеса у којима се успостављају пресликавања вектора DP у физичком домену на вектор PV у процесном домену, пројектна једначина може се записати у облику

$$\{DP\} = [B]\{PV\} \quad (5.6)$$

где је  $[B]$  пројектна матрица која дефинише карактеристике пројектовања процеса и слична је по облику матрици  $[A]$ .

Да би се испунила аксиома независности, пројектна матрица мора да буде или дијагонална или троугаона. Кад је пројектна матрица  $[A]$  дијагонална, сваки од функционалних захтева (FRs) може бити испуњен независно, уз помоћ једног пројектног параметра. То је тзв. *независтан - неvezан пројекат* (uncoupled design). Кад је пројектна матрица троугаона, независност функционалних захтева је гарантована ако и само ако су пројектни параметри (DPs) одређени исправним редоследом. То је тзв. *раздвојени пројекат* (decoupled design). Свака другачија

пројектна матрица је тзв. пуна матрица, а њен резултат је тзв. *повезан пројекат* (coupled design). Зато, кад год треба испунити неколико функционалних захтева, морамо да развијемо анализу који ће нам омогућити да добијемо или дијагоналну или троугаону пројектну матрицу.

Пројектни циљеви често су подложни ограничењима. Ограничења (Cs) постављају границе прихватљивости пројектних решења и разликују се од функционалних захтева (FRs) по томе што не морају да буду међусобно независна.

Постоје две врсте ограничења: *улазна* ограничења и *системска* ограничења. Улазна ограничења се односе на циљеве пројекта у целини (тј. сва предложена решења морају да их поштују). Системска ограничења се односе на конкретно решење; она су резултат донетих пројектних одлука.

Пројектант често мора да наведе улазна ограничења на самом почетку процеса пројектовања, јер производ (или процес или систем или софтвер или организација) који се пројектује мора да поштује извесна спољашња ограничења као што су електрични напон или максимални интензитет струје у мрежи. Окружење у којем производ треба да функционише такође може да наметне много ограничења. Сва предложена пројектна решења, без обзира на специфичне пројектне детаље, морају да поштују сва ова ограничења.

Нека ограничења настају као последица одлука које су донете током процеса пројектовања. Све одлуке на вишем нивоу представљају ограничења и на нижем нивоу. На пример, ако смо изабрали да аутомобил који пројектујемо има дизел мотор, све касније одлуке о возилу морају да буду у складу с том одлуком. То су системска ограничења.

Често је најбоље и цену разматрати као ограничење. На њу утичу све промене у пројекту, тако да она не може да се учини независном од других функционалних захтева у независном-невезаном или раздвојеном пројекту. Ако је одлучено да цена мора да буде функционални захтев, онда је најбоље што можемо да урадимо да развијемо раздвојени пројекат, који такође испуњава аксиому независности. Ако се цена разматра као ограничење, пројекат је прихватљив све док његова цена

не прелази задату границу. Кад производна цена и продајна цена нису параметарски повезане, цена се може третирати као функционални захтев.

Функционални захтеви и пројектни параметри (као и пројектне променљиве) морају се декомпоновати тако да се добије хијерархија пре него што дођемо до детаљног пројекта или пре него што се пројекат заврши. Међутим, супротно уобичајеном схватању декомпоновања, они не могу да се декомпонују остајући у истом домену. Да би се декомпоновали – мора се кретати у цик-цак између домена. Уз помоћ тог кретања у цик-цак, правимо хијерархије функционалних захтева, пројектних параметара и пројектних променљивих у сваком пројектном домену.

Кретање у цик-цак да бисмо декомпоновали функционалне захтеве, пројектне параметре и пројектне променљиве и да бисмо направили њихове хијерархије важан је део аксиоматског пројектовања. Другим речима, да бисмо направили хијерархије функционалних захтева, пројектних параметара и пројектних променљивих, морамо да успоставимо пресликавање из домена на левој страни (који говори *шта* да радимо) у домен на десној страни (који говори *како* то да урадимо) и да се затим вратимо у домен на левој страни да бисмо генерисали следећи ниво у домену на десној страни итд.

### **5.5.5 Декомпоновање и хијерархија**

Концептуално пројектовање највишег нивоа пружа нам довољно информација на нижем концептуалном нивоу да закључимо да ћемо, кад их у потпуности применимо, имати успешно решење. Међутим, процес декомпоновања мора се наставити, слој по слој, све док пројекат не доспе у завршну фазу тј. док се не дође до решења које се може применити. Током процеса декомпоновања успостављају се хијерархије функционалних захтева, пројектних параметара и пројектних променљивих које чине структуру пројекта.

Кад на највишем нивоу пројектовања недостају детаљи, пројектна једначина представља *намеру* пројекта. Пројекат највишег нивоа морамо да декомпонујемо да бисмо развили детаље који се могу применити. Док декомпонујемо пројекат највишег нивоа, пројектне одлуке нижег нивоа морају да буду у складу с намером пројекта исказаном на највишем нивоу.

Кад пројектне одлуке наруше аксиому независности, треба да се вратимо и променимо пројектно решење, а не да наставимо да развијамо то погрешно.

Да бисмо декомпоновали карактеристичне векторе функционалних захтева и пројектних параметара, морамо да се крећемо у цик-цак између домена. Крећемо из домена који се односи на „оно што желимо да постигнемо“ ка домену који се односи на „оно како желимо то да постигнемо“. Процес декомпоновања се наставља све док функционални захтеви не буду испуњени без потребе за даљим декомпоновањем, када све гране у приказаној структури попримају завршни облик.

Током процеса декомпоновања, пројектант трансформише пројектну намеру у пројектне детаље које је могуће реализовати. На највишем нивоу процеса пројектовања, пројектант развија концепт пројекта на основу доступног знања; он развија пројектну *намеру*. Да би се направио детаљни пројекат, вектори функционалних захтева и пројектних параметара FR и DP морају да се декомпонују до најнижих нивоа функционалних захтева и пројектних параметара у разгранатој структури пројекта. Током читавог процеса декомпоновања, пројектант трансформише пројектну *намеру*, изражену помоћу пројектних матрица вишег нивоа, у детаљна пројектна решења која је могуће реализовати, а која су изражена помоћу пројектних матрица најнижег нивоа. На сваком нивоу декомпоновања, пројектне одлуке које се доносе морају да буду у складу са свим пројектним одлукама вишег нивоа које су већ донете. Дакле, ако је пројектна матрица највишег нивоа дијагонална, ниједна одлука нижег нивоа не сме да учини – намерно или ненамерно – да се изгубе нуле ван њене главне дијагонале. Да би се проверила исправност и доследност пројектних одлука, мора да се формира пуна пројектна матрица – комбиновањем свих пројектних матрица нижег нивоа у јединствену главну матрицу.

#### **5.5.6 Потребa за упоредним инжењерингом**

Док траје пројектовање производа, или најкасније кад се оно заврши, морамо да будемо сигурни да се тај производ може произвести. Зато, након што изаберемо извесне пројектне параметре, морамо да успоставимо пресликавање физичког домена у процесни (пројектовање процеса) тако што ћемо изабрати процесне

променљиве (PVs). И то пресликавање мора да испуни аксиому независности. Понекад можемо да искористимо постојеће процесе, а понекад морамо да пронађемо нове.

Да би упоредни инжењеринг био могућ, и пројектовање производа, и пројектовање процеса, морају да поштују аксиому независности. То значи да обе пројектне матрице –  $[A]$ , везана за производ, и  $[B]$ , везана за процес – морају да буду или дијагоналне или троугаоне, тако да њихов производ  $[C] = [A][B]$  буде дијагонална или троугаона матрица.

### 5.5.7 Аксиома информације

Аксиома информације пружа квантитативну меру квалитета пројекта и зато је корисна приликом избора најбољег међу прихватљивим пројектним решењима. Уз то, аксиома информације пружа теоријску основу за оптимизацију пројектовања и језгровито - робусно пројектовање (robust design).

Међу пројектима који су са функционалног аспекта једнако прихватљиви, један може бити бољи од осталих у погледу вероватноће достизања пројектних циљева изражених у виду функционалних захтева. Аксиома информације говори да је најбољи пројекат онај који има највећу вероватноћу успеха.

Аксиома информације говори да је најбољи пројекат онај који захтева најмању количину информације да би се постигли пројектни циљеви.

Пројекат се назива *сложеним* кад је његова вероватноћа успеха мала, односно кад је количина информације потребна да би се испунили функционални захтеви велика. То се дешава кад је толеранција функционалних захтева према производу (или пројектних параметара према процесу) мала, односно кад се захтева висока прецизност.

Крајњи циљ пројектовања је да се смањи количина информације потребна да би се постигло да систем функционише. Да би се тај циљ постигао, пројекат мора да буде у стању да поднесе велике варијације пројектних параметара и процесних променљивих, а да при том ипак испуни све функционалне захтеве.



Да би се постигао снажан језгровит пројекат (robust design), варијанса система мора да буде мала. Постоји више начина за смањење варијансе уколико пројекат испуњава аксиому независности.

#### **5.5.8 Смањивање количине информације интеграцијом пројектних параметара**

Смањивањем количине информације у пројекту може се опсег система довести унутар опсега пројекта. Та техника се обично назива „поузданим пројектовањем”. Постоји и други начин смањивања количине информације – интеграцијом пројектних параметара у једну физичку компоненту, а да се при том не наруши независност функционалних захтева.

Када се до пројекта стиже декомпоновањем функционалних захтева и пројектних параметара на много нивоа, интеграција пројектних параметара може да се реализује у физичком домену. У том случају треба интегрисати само пројектне параметре који представљају „листовете” на свакој грани будући да су пројектни параметри вишег нивоа састављени од тих „листова”.

Да би се направио систем, све физичке компоненте које садрже пројектне параметре на нивоу „листова” морају да се интегришу у целину која физички функционише. Ову интеграцију треба спровести имајући у виду минимизовање количине информације.

#### **5.5.9 Пројектовање без потпуне информације**

Дешава се да током пројектовања доспемо у ситуацију да немамо довољно знања о предложеном пројекту, па се он мора извести у одсуству потпуне информације.

Током читавог процеса пројектовања пројектант прикупља информације, манипулише њима, ствара их, класификује, трансформише и преноси. Информација у пројектовању појављује се у много различитих облика – у виду знања, база података, каузалности, парадигми итд. Мора се направити разлика између информације неопходне за само пројектовање и *количине информације* коју, према захтеву аксиоме информације, треба да минимизирамо.

На пример, информација потребна за успостављање пресликавања између потреба клијента (у домену клијента) и функционалних захтева (у функционалном

домену) јавља се у виду преференција клијента, потенцијалних функционалних захтева и односа између потреба клијента и функционалних захтева. Информација је, на сличан начин, потребна када се функционални захтеви пресликавају у физички домен, као и када се пројектни параметри пресликавају у процесни домен.

На информацију која нам је потребна указују пројектне једначине. Прво нам треба информација о карактеристичним векторима. За познати карактеристични вектор  $FR$ , треба изабрати карактеристични вектор  $DP$  који му највише одговара – што је утолико вероватније уколико је већа библиотека разних пројектних параметара који испуњавају  $FR$ . На сличан начин, кад је познат карактеристични вектор  $DP$  – што имамо више процесних променљивих, то ћемо имати више избора. Кад се једном изабери пројектни параметри и процесне променљиве, морамо имати информацију о елементима пројектне матрице, која дефинише однос између „онога што желимо да постигнемо“ и „онога како желимо то да постигнемо“.

Један од кључних задатака током процеса пројектовања је да се одреди минимум информације потребан и довољан за доношење пројектних одлука када је, за дати скуп функционалних захтева, познат скуп пројектних параметара. Потребна информација зависи од тога да ли предложени пројекат испуњава аксиому независности. У случају спрегнутог пројекта, који нарушава аксиому независности, потребна је свака информација о сваком елементу пројектне матрице. Другим речима, у случају спрегнутог пројекта, рационално пројектовање није могуће без потпуне информације.

а. *Информација потребна за независтан - невезан пројекат.* Размотримо идеалан независтан - невезан пројекат (uncoupled design) који испуњава аксиому независности и има три функционална захтева. Пројектне једначине за овај неспарен пројекат, који представља најједноставнији случај, гласе:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (5.7)$$

Коефицијенти  $A_{11}$ ,  $A_{22}$  и  $A_{33}$  повезују функционалне захтеве и пројектне параметре. Ако је пројекат линеаран, ти коефицијенти су константе, а ако је

нелинеаран –  $A_{11}$  је функција  $DP_1$ , итд. Да бисмо наставили рад на овом пројекту, морамо да знамо елементе на дијагонали. Другим речима, минимална потребна информација је информација везана за елементе на дијагонали. Информација потребна за једнопараметарски дизајн мања је него за раздвојени, јер су елементи његове пројектне матрице ван дијагонале једнаки нули.

*б. Информација потребна за раздвојени пројекат.* Размотримо поново пројекат са три функционална захтева, али овог пута раздвојени, задат следећом пројектном једначином:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (5.8)$$

Као у случају једнопараметарског дизајна задатог једначином (5.7), морамо да знамо елементе на дијагонали  $A_{ii}$ . Било би пожељно да знамо и елементе ван дијагонале  $A_{ij}$ . Међутим, информација о елементима ван дијагонале можда и није неопходна да би се дати скуп функционалних захтева испунио уз помоћ пројектних параметара. Можемо да наставимо рад на пројекту ако су нам познати елементи на дијагонали и ако знамо да су елементи ван дијагонале мањи од оних на њој тј. ако је  $A_{ii} > A_{ij}$ .

## 5.6 Аксиоматско пројектовање и друге методологије

Аксиоматско пројектовање се разликује од других методологија пројектовања у које спадају технике статистичке контроле процеса (SPC), Taguchi методологија [22] као и Altshuller методологија инвентивног решавања проблема [23]. Кроз наведене опште коментаре можемо сагледати сличности и разлике аксиоматског пројектовања и других методологија.

- Аксиоматско пројектовање се бави принципима и методологијама пре него са алгоритмима или алатима. Утемељено је на два аксиома из којих произилазе теореме и поуке а уједно развија методологију на основу функционално анализе и минимизирања информације, што производи снажан (robust) дизајн.
- Аксиоматско пројектовање је применљиво код свих врста пројектовања: производа, процеса, система, софтвера, организације, материјала и бизнис планова.

- Све методологије, да би биле валидне, укључујући и Taguchi методологију, морају да задовољи аксиоме пројектовања. Тако, Taguchi метод важи само за пројекте који задовољавају Аксиому независности. Иако Altshuller методологија не одступа значајно од аксиома пројектовања, она се првенствено бави конструктивним (design) параметрима и ограничењима.
- Taguchi метод је подесан у доношењу исправних пројектних одлука. То је методологија којом проверавамо и унапређујемо постојеће пројектно решење.
- Аксиоматско пројектовање као и Taguchi метод доводе до снажног (robust) пројектног решења за решења која задовољавају Аксиому независности. Међутим снажно (robust) пројектно решење не може се постићи применом Taguchi методе ако пројекат крши Аксиому независности.
- Иако се у индустрији улажу велики напори да се лоша решења побољшају помоћу техника оптимизације, пројектно решење које крши Аксиому независности не може поправити уколико првобитно није направљено у складу са Аксиомом независности. Оптимизација лошег пројекта може произвести оптимално лош пројекат или мања побољшања.
- Код методе аналитике хијерархијског процеса (АНР), врши се рангирање функционалних захтева, док у теорији аксиоматског пројектовања, нема потребе за рангирањем или давањем хијерархијских приоритета функционалним захтевима. Када је пројектни опсег прецизно утврђен за све функционалне захтеве, циљ пројекта је потпуно одређен, и сваки пројекат који задовољава функционалне захтеве унутар њихових пројектних опсега у потпуности задовољава циљеве пројекта. Када пројекат није развијен тако да задовољи све функционалне захтеве унутар њихових датих пројектних опсега, или када је у питању повезан (coupled) пројекат, можда ће бити потребно да се одреде приоритети за функционалне захтеве, мада такав приступ није у складу са Аксиомом независности и Аксиомом информације.

## 5.7 Примена методе аксиоматског пројектовања у развоју реверзибилног механизма

У циљу изналажења оптималне структуре реверзибилног механизма ламинатора употребљена је методологија аксиоматског пројектовања [20], [21] а проучена је повезана доступна литература [24], [25], [26]. Коришћени су њени аксиоми и принципи, постављени су функционални захтеви и одређени конструктивни параметри декомпозицијом највишег концептуалног нивоа. Током читавог процеса декомпоновања, трансформисана је пројектна намера, изражена помоћу пројектних матрица вишег нивоа, у детаљна пројектна решења која је могуће реализовати, а која су изражена помоћу пројектних матрица најнижег нивоа.

На крају, формирањем главне пројектне матрице остварена је верификација структуре реверзибилног механизма ламинатора као и функционална и структурна повезаност детаљних решења у целину.

### 5.7.1 Пројектовање кроз декомпозицију

На највишем хијерархијском нивоу можемо поставити функционални захтев (FR), који би био исказан као:

FR-остварити слојевање тестане траке код ламинатора,  
а коресподентни конструктивни параметар (DP), гласио би:

DP-уређај за слојевање тестане траке код ламинатора.

Ради боље прегледности могу се оформити табеле које садрже функционалне захтеве и конструктивне параметре и представљају декомпозицију на сваком хијерархијском нивоу (табела 5.1).

**Табела 5.1**

Функционални захтеви (FRs)	Конструктивни параметри (DPs)
Остварити слојевање тестане траке код ламинатора	Уређај за слојевање тестане траке код ламинатора

Да би се успоставила корелација између функционалних захтева и конструктивних параметара, могу се представити у векторском облику у виду следеће пројектне једначине:

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (5.9)$$

где се  $[A]$  назива пројектном матрицом која карактерише дату конструкцију.

### 5.7.2 Декомпозиција $FR$ и $DP$ , конструктивна матрица, ограничења

Даља декомпозиција могла би да се изврши како је представљено табелом 5.2.

**Табела 5.2** Декомозиција  $FR$  и  $DP$  највишег нивоа

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>1</sub>	Формирање тестане траке погодне за слојевање	DP <sub>1</sub>	Концепт формирања тестане траке
FR <sub>2</sub>	Остваривање процеса слојевања тестане траке	DP <sub>2</sub>	Концепт остваривања слојевања тестане траке
FR <sub>3</sub>	Могућност премазивања тестане траке	DP <sub>3</sub>	Концепт премазивања тестане траке

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.10).

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (5.10)$$

#### Опис конструктивних параметара

DP<sub>1</sub> - концепт формирања тестане траке - омогућава да се изврше све неопходне технолошке операције на тестаној траци како би била припремљена за процес слојевања. Овај конструктивни параметар има утицаја на FR<sub>3</sub> и одређује како и на који начин ће се реализовати могућност премазивања тестане траке. У претходним поглављима анализирани су концепти са једновременим формирањем две независне континуалне тестане траке где се премазивање врши између њих непосредно пред сједињавање у једну тестану траку или концепти где се премазивање врши непосредно пред слојевање, специфично и са прекидима.

DP<sub>2</sub> - концепт остваривања слојевања тестане траке - омогућава њено правилно и униформно слојевање, а примењени механизми обезбеђују захтевана кретања што утиче на облик и квалитет готовог производа.

Анализом постојећих и углавном патентираних уређаја за слојевање установљено је да постоје различити концепти за остваривање слојевања а који се могу

разврстати у две основне групе: концепти континуалног слагања и концепти комадног слагања, у зависности да ли се врши слагање континуалне тестане траке или претходно исечене тестане траке одређеног формата.

Концепти континуалног слагања тестане траке могу се даље поделити у две подгрупе, према положају реверзибилног механизма за слагање у односу на излазни транспортер, на: концепте са вертикалним реверзибилним механизмом и концепте са хоризонталним реверзибилним механизмом.

Анализа постојећих уређаја за слојевање такође је одредила и правац у коме ће се кретати синтеза оптималне структуре реверзибилног механизма ламинатора а то је концепт континуалног слагања тестане траке хоризонталним реверзибилним механизмом. Овај механизам је примењен у склопу вертикалног ламинатора ознаке MF 1220 развијеног у Институту за механику машина.

DP<sub>2</sub> - концепт остваривања слојевања тестане траке утиче на FR<sub>3</sub>, јер избором одређеног концепта директно се условљава начин, на који ће се остварити могућност премазивања тестане траке.

DP<sub>3</sub> - концепт премазивања тестане траке - омогућава за производе који по рецептури захтевају додатну масноћу или смесу масноћа/брашно између тестаних слојева, да се у потпуности оствари функционални захтев FR<sub>3</sub> - могућност премазивања тестане траке.

Концепт премазивања тестане траке неће бити декомпонован, јер излази из оквира постављене тезе.

#### *Ограничења*

C<sub>a</sub> - минимизирати трошкове ( конструисања, израде, одржавања итд ).

C<sub>b</sub> - максимизирати поузданост и дуготрајност.

C<sub>c</sub> - потпуна усаглашеност са индустријским и безбедносним стандардима.

C<sub>d</sub> - применити, у што већој мери, постојеће технологије у прехранбеној индустрији.

C<sub>e</sub> - сви елементи и склопови морају бити израђени од материјала дозвољених за употребу у прехранбеној индустрији.

C<sub>f</sub> - обезбедити континуални проток тестане траке кроз све склопове ламинатора.

$C_g$  - остварити неопходну синхронизацију брзина свих погонских склопова ламинатора, (брзина теста кроз ваљке за формирање, ваљке за стањивање, ваљке за завршну калибрацију). Уређај за слојевање и излазни транспортер синхронизују се за време печења у распону од 5 до 15 минута. Тиме се постиже пуна флексибилност линије и покрива шири производни асортиман.

Сва ова ограничења имају утицај на  $FR_1$  - формирање тестане траке погодне за слојевање,  $FR_2$  - остваривање процеса слојевања тестане траке и  $FR_3$  - могућност премазивања тестане траке.

$C_{2a}$  - остварити слојевање реверзибилним кретањем у хоризонталном правцу.

Ово ограничење има утицај на  $FR_2$  - остваривање процеса слојевања тестане траке.

Мора се константно водити рачуна да ограничења која су утврђена на вишем хијерархијском нивоу представљају ограничења и на нижем нивоу, односно морају се поштовати током читавог процеса декомпозиције.

У даљем раду представљена је прво комплетна декомпозиција гране пројекта са  $FR_1$  и  $DP_1$  (формирање тестане траке погодне за слојевање и концепт формирања тестане траке) до детаљних конструктивних решења. Уједно је и приказано како се методологијом аксиоматског пројектовања успешно долази до унапређеног решења концепта формирања тестане траке. Наиме, решење за размицање ваљака, код ранијих конструкција ламинатора Института за механику машина, показало је извесне недостатке у експлоатацији, која су се огледала у одступању од установљених вредности дебљине тестане траке и варирања вредности дебљине током радног периода што је подстакло побољшање претходног решења.

### 5.7.3 Декомпозиција $FR_1$ (формирање тестане траке погодне за слојевање) и $DP_1$ (концепт формирања тестане траке)

Табела 5.3 Декомпозиција  $FR_1$  и  $DP_1$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{11}$	Остваривање формата тестане траке	$DP_{11}$	Систем за калибрацију
$FR_{12}$	Остваривање кретања тестане траке	$DP_{12}$	Систем за кретање



Пројектна једначина исказана је према (5.11).

$$\begin{Bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \end{Bmatrix} \quad (5.11)$$

*Опис конструктивних параметара*

DP<sub>11</sub> - систем за калибрацију-омогућава да се изврши правилно формирање тестане траке. DP<sub>11</sub> - систем за калибрацију има утицаја FR<sub>12</sub> - остваривање кретања тестане траке јер се преко система за калибрацију истовремено остварује неопходно кретање тестане траке.

DP<sub>12</sub> - систем за кретање - омогућује потребно кретање тестане траке и њену синхронизацију брзине кретања с обзиром на потребан континуални проток током печења различитих производа.

*Ограничења*

C<sub>11a</sub> - обезбеђење глатке површине и хомогене структуре тестане траке.

C<sub>11b</sub> - одржавање задате вредности дебљине тестане траке константном.

C<sub>11c</sub> - минимизирати разлику у дебљини тестане траке по дужини ваљака за калибрацију.

Ова ограничења утичу на FR<sub>11</sub> - остваривање формата тестане траке.

#### 5.7.4 Декомпозиција FR<sub>11</sub> (остваривање формата тестане траке) и DP<sub>11</sub> (систем за калибрацију)

**Табела 5.4** Декомпозиција FR<sub>11</sub> и DP<sub>11</sub>

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>111</sub>	Остваривање дебљине тестане траке	DP <sub>111</sub>	Ваљци за финалну калибрацију
FR <sub>112</sub>	Остваривање ширине тестане траке	DP <sub>112</sub>	Прирубнице на крајевима ваљака за финалну калибрацију
FR <sub>113</sub>	Спречавање лепљења тестане траке	DP <sub>113</sub>	Механизам за одвајање тестане траке са ваљака

Пројектна једначина исказана је према (5.13).

$$\begin{Bmatrix} FR_{111} \\ FR_{112} \\ FR_{113} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{111} \\ DP_{112} \\ DP_{113} \end{Bmatrix} \quad (5.13)$$

*Опис конструктивних параметара*

DP<sub>111</sub> - ваљци за финалну калибрацију - реализују захтев за остваривањем дебљине тестане траке погодне за слојевање. Овај параметар утиче на FR<sub>112</sub> - остваривање ширине тестане траке, јер се потребна ширина тестане траке остварује ширином ваљака за финалну калибрацију односно растојањем између њихових прирубница.

DP<sub>112</sub> - прирубнице на крајевима ваљака за финалну калибрацију - остварују у потпуности захтевану ширину тестане траке која износи 900 (mm), јер је то уједно ширина ваљака за формирање и калибрацију усвојеног концепта ламинатора.

DP<sub>113</sub> - механизам за одвајање тестане траке- омогућава да се у случају лепљења тестане траке на површину ваљака, оствари несметано кретање тестане траке и тиме одржи континуални проток, тако што би се принудно одвојила тестана трака са површине ваљака.

*Ограничења*

C<sub>111a</sub> - дебљина тестане траке пред слојевање се не може бесконачно смањивати, јер се угрожава процес слојевања, ремети се структура тестане траке, могућност кидања се повећава па минимална дебљина тестане траке представља одређено технолошко ограничење, и износи 1.5 mm. Ово ограничење има утицај на FR<sub>111</sub>.

### 5.7.5 Декомпозиција FR<sub>12</sub> (остваривање кретања тестане траке) и DP<sub>12</sub> (систем за кретање)

Табела 5.5 Декомпозиција FR<sub>12</sub> и DP<sub>12</sub>

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>121</sub>	Остваривање супротносмер. обртања пара ваљака	DP <sub>121</sub>	Модул за остваривање супротносмер. обртања пара ваљака
FR <sub>122</sub>	Мерење брзине	DP <sub>122</sub>	Обртни енкодер
FR <sub>123</sub>	Пренос података о брзини	DP <sub>123</sub>	Елементи за пренос података- (interface)
FR <sub>124</sub>	Обрада података о брзини	DP <sub>124</sub>	Део програмске апликације за обраду података о брзини

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.14).

$$\begin{pmatrix} FR_{121} \\ FR_{122} \\ FR_{123} \\ FR_{124} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_{121} \\ DP_{122} \\ DP_{123} \\ DP_{124} \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

#### *Опис конструктивних параметара*

Остваривање брзине тестане траке врши се посредно тако што се остварује погон елемената који су у непосредном контакту са тестаном траком-ваљци за финалну калибрацију, транспортна трака, и тд. Такође, посредно се мери брзина тестане траке, тако што се мери излазни број обртаја погонског склопа.

DP<sub>121</sub> - модул за остваривање супротносмерног обртања пара ваљака - остварује синхроно обртање пара ваљака у супротним смеровима и на тај начин омогућава кретање тестане траке при калибрацији.

DP<sub>122</sub> - обртни енкодер - омогућава да се очитани број обртаја погонског склопа претвари у информацију погодну за пренос и обраду.

DP<sub>123</sub> - елементи за пренос података (interface) - остварују квалитетан и брз пренос података о броју обртаја до процесорске јединице.

DP<sub>124</sub> - део програмске апликације за обраду података о брзини - омогућава да се информација добијена од енкодера претвори у тачну информацију о броју обртаја ваљака употребљиву за даљу математичку обраду како би се остварио синхронизован рад ваљака за финалну калибрацију са осталим склоповима ваљака ламинатора, припадајућих међутранспортера и уређаја за слојевање као и синхронизован рад са осталим машинама за обраду теста линије за производњу тврдог кекса и крекера.

#### *Ограничења*

C<sub>12s</sub> - употреба индустријског процесора је неопходна како би се синхронизовала кретања свих покретних склопова ламинатора и остварио његов аутоматски рад.

Уочава се потреба и за централним процесором који би вршио синхронизацију кретања комплетне линије за обраду теста према брзини кретања траке пећи.

$C_{121a}$  - максимална брзина кретања тестане траке кроз све склопове ламинатора не би требало бити већа од 0.5 (m/s) јер раст брзине производи пораст инерцијалних сила које могу да онемогуће правилан транспорт и слојевање тестане траке. Ово ограничење има утицај на  $FR_{121}$ .

### 5.7.6 Декомпозиција $FR_{111}$ (остваривање дебљине тестане траке) и $DP_{111}$ (ваљци за финалну калибрацију)

Табела 5.6 Декомпозиција  $FR_{111}$  и  $DP_{111}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{1111}$	Могућност подешавања растојања између ваљака	$DP_{1111}$	Механизам за подешавање растојања између ваљака
$FR_{1112}$	Мерење вредности оствареног растојања	$DP_{1112}$	Линеарни енкодер
$FR_{1113}$	Пренос података оствареног растојања	$DP_{1113}$	Елементи за пренос података-интерфејс
$FR_{1114}$	Обрада података оствареног растојања	$DP_{1114}$	Део програмске апликације за обраду података о растојању
$FR_{1115}$	Приказ вредности оствареног растојања	$DP_{1115}$	Екран за приказивање вредности растојања

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.15).

$$\begin{Bmatrix} FR_{1111} \\ FR_{1112} \\ FR_{1113} \\ FR_{1114} \\ FR_{1115} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{1111} \\ DP_{1112} \\ DP_{1113} \\ DP_{1114} \\ DP_{1115} \end{Bmatrix} \quad (5.15)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{1111}$  - механизам за подешавање растојања између ваљака- омогућава правилно остваривање жељеног растојања, уз синхронно закретање уздужних оса ваљака и задржавање њихове сталне паралелности у веома уским границама.

$DP_{1112}$  - линеарни енкодер - остварено растојање између ваљака претвара у

информацију погодну за пренос и обраду.

DP<sub>1113</sub> - елементи за пренос података (interface) - омогућавају тренутан и квалитетан пренос података оствареног растојања између ваљака до процесорске јединице.

DP<sub>1114</sub> - део програмске апликације за обраду података о растојању- омогућава да се информација добијена од енкодера претвори у тачну информацију о растојању ваљака употребљиву за даљу математичку обраду.

DP<sub>1115</sub> - екран за приказивање вредности растојања- омогућава да су вредности размака између ваљака односно дебљина калибрисане тестане траке спремне за слојевање, у сваком тренутку визуелно доступне.

#### *Ограничења*

C<sub>1111a</sub>-остваривање паралелности ваљака за калибрацију од 0.02 (mm).

C<sub>1111b</sub>-остваривање растојања између ваљака од 0 до 40 (mm).

C<sub>1111c</sub>-онемогућавање варирања задатог размака између ваљака током проласка и тањења тестане траке.

Сва ова ограничења утичу на FR<sub>1111</sub> - могућност подешавања растојања између ваљака.

#### **5.7.7 Декомпозиција FR<sub>113</sub> (спречавање лепљења тестане траке) и DP<sub>113</sub> (механизам за одвајање тестане траке са ваљака)**

**Табела 5.7** Декомпозиција FR<sub>113</sub> и DP<sub>113</sub>

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>1131</sub>	Контакт по целој ширини ваљка	DP <sub>1131</sub>	Нож за одвајање тестане траке са ваљка
FR <sub>1132</sub>	Остваривање силе притиска на ваљак	DP <sub>1132</sub>	Завојна опруга
FR <sub>1133</sub>	Могућност одржавања силе притиска при померању ваљка	DP <sub>1133</sub>	Оптimalни положај обртне тачке механизма за одвајање тестане траке

Пројектна једначина исказана је према (5.16).

$$\begin{cases} FR_{1131} \\ FR_{1132} \\ FR_{1133} \end{cases} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{cases} DP_{1131} \\ DP_{1132} \\ DP_{1133} \end{cases} \quad (5.16)$$

Опис конструктивних параметара

$DP_{1131}$  - нож за одвајање тестане траке са ваљка - спречава њено лепљење по обиму ваљка после извршене калибрације.

Узрок појаве лепљења може бити неправилан замес, непридржавање рецептуре предвиђене за сваку врсту производа, квалитет употребљених сировина и слично.

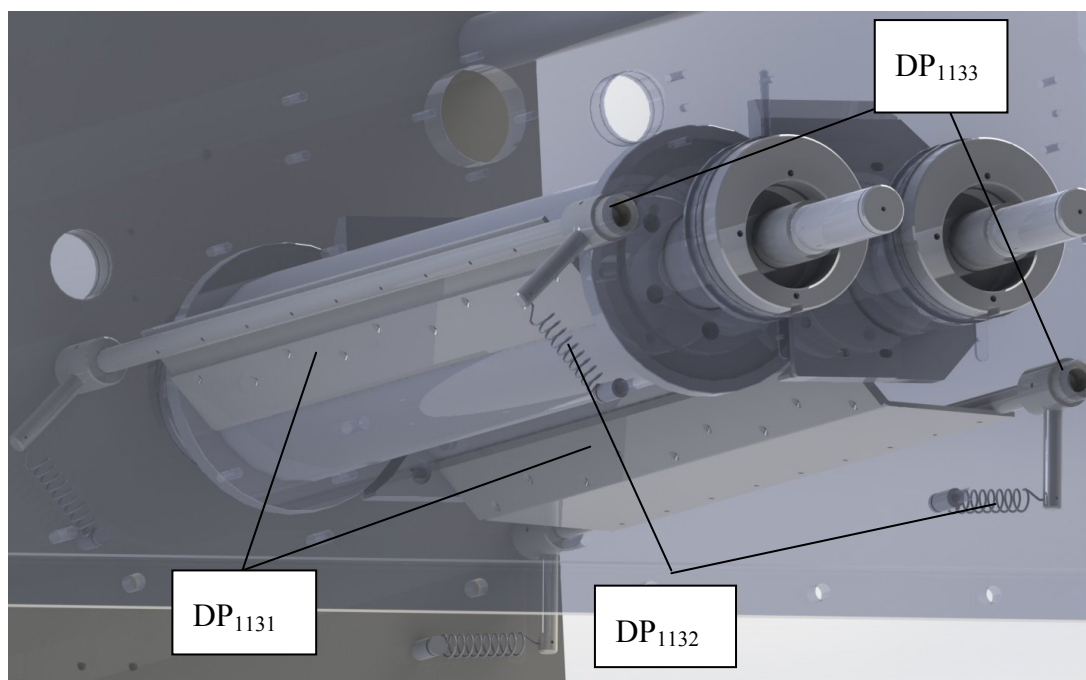
$DP_{1132}$  - завојна опруга - употребљена је за остваривање силе потребне да нож за одвајање тестане траке чврсто налегне на површину - омотач ваљка.

$DP_{1133}$  - оптимални положај обртне тачке механизма за одвајање тестане траке - омогућава да се сила притиска на ваљак одржи и при промени растојања ваљака.

Ограничења

$S_{1132a}$  - минимална сила од 150 (N) којом нож за одвајање тестане траке својом оштрицом належе на површину ваљка за калибрацију.

Ово ограничење утиче на  $FR_{1132}$  - остваривање силе притиска на ваљак.



Слика 5.3  $DP_{113}$ - Механизам за одвајање тестане траке са ваљка

**5.7.8 Декомпозиција  $FR_{121}$  (остваривање супротносмерног обртања пара ваљака) и  $DP_{121}$  (модул за остваривање супротносмерног обртања пара ваљака)**

**Табела 5.8** Декомпозиција  $FR_{121}$  и  $DP_{121}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{1211}$	Остваривање обртног момента	$DP_{1211}$	Мото редуктор
$FR_{1212}$	Синхроно обртање пара ваљака	$DP_{1212}$	Интегрисан пар пужних редуктора са различитим смеровима завојнице пужа
$FR_{1213}$	Остваривање обртања при промени растојања ваљака	$DP_{1213}$	Заједничка вођица и телескопско вратило пужних редуктора
$FR_{1214}$	Могућност варирања броја обртаја	$DP_{1214}$	Фреквентни регулатор
$FR_{1215}$	Пренос обртног момента	$DP_{1215}$	Телескопско карданско вратило

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.17).

$$\begin{Bmatrix} FR_{1211} \\ FR_{1212} \\ FR_{1213} \\ FR_{1214} \\ FR_{1215} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{1211} \\ DP_{1212} \\ DP_{1213} \\ DP_{1214} \\ DP_{1215} \end{Bmatrix} \quad (5.17)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{1211}$  - мото редуктор - омогућава остваривање погона и обртног момента. Избор одговарајућег моторедуктора биће разматран при приказу и избору свих потребних параметара за остваривање кретања ваљака за калибрацију и реверзибилног механизма.

$DP_{1212}$  - интегрисан пар пужних редуктора са различитим смеровима завојнице пужа - омогућава синхроно обртање пара ваљака, а има утицај на  $FR_{1213}$  - остваривање обртања при промени растојања ваљака, и  $FR_{1215}$  - пренос обртног

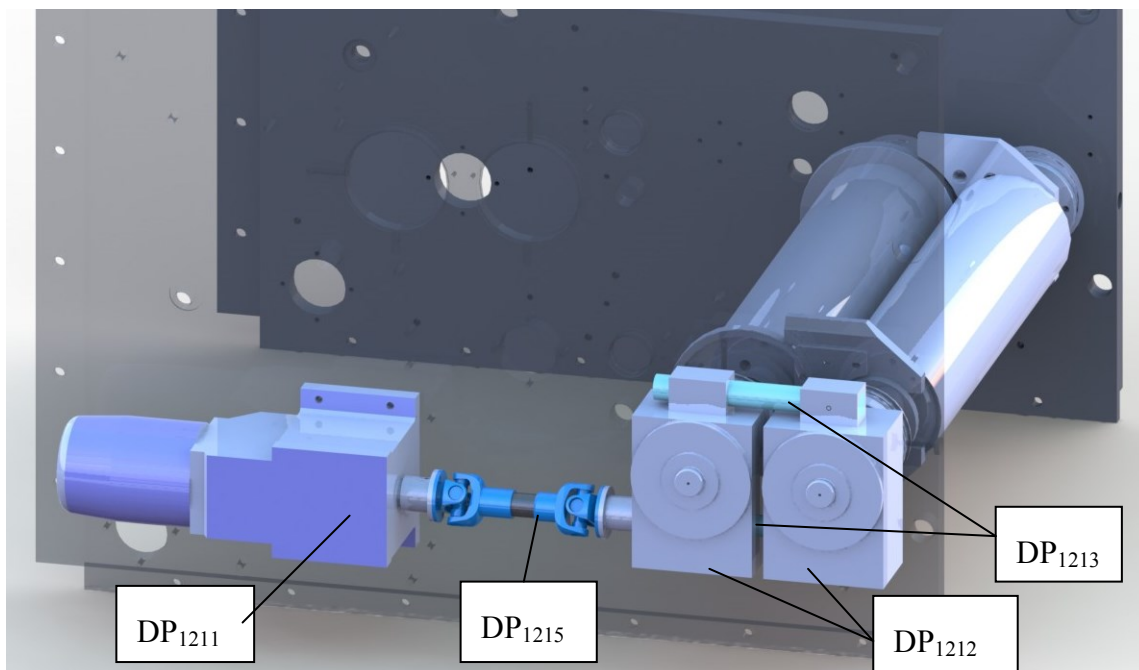
момента.

DP<sub>1213</sub> - специјално израђен интегрисани пар пужних редуктора садржи заједничку вођицу и телескопско вратило тако да се при промени растојања ваљака несметано остварује њихово обртање.

У раду [27] детаљно је разрађена оригинална идеја која обједињује конструктивне параметре DP<sub>1212</sub> и DP<sub>1213</sub>.

DP<sub>1214</sub> - фреквентни регулатор - обезбеђује промену броја обртаја мото редуктора уз остваривање сталног обртног момента, а преко елемената преноса и промену броја обртаја ваљака за финалну калибрацију у циљу остварења континуалног протока тестане траке кроз све склопове ламинатора и обезбеђење континуалног рада у оквиру линије за производњу тврдог кекса и крекера за пројектовано време печења у распону од 5 до 15 минута.

DP<sub>1215</sub> - телескопско карданско вратило - остварује пренос обртног момента од мото редуктора до специјалних пужних редуктора постављених на рукавце ваљака за финалну калибрацију.



Слика 5.4 DP<sub>121</sub>- Модул за остваривање супротносмерног обртања пара ваљака



**5.7.9 Декомпозиција  $FR_{1111}$  (могућност подешавања растојања између ваљака) и  $DP_{1111}$  (механизам за подешавање растојања између ваљака)**

**Табела 5.9** Декомпозиција  $FR_{1111}$  и  $DP_{1111}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{11111}$	Константна паралелност уздужних оса ваљака	$DP_{11111}$	Склоп улежиштења ваљака
$FR_{11112}$	Синхроно закретање уздужних оса ваљака по кружном луку	$DP_{11112}$	Механизам за закретање оса ваљака по кружном луку
$FR_{11113}$	Остваривање закретања механичким путем	$DP_{11113}$	Насадно пужни мото редуктор

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.18).

$$\begin{pmatrix} FR_{11111} \\ FR_{11112} \\ FR_{11113} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{pmatrix} DP_{11111} \\ DP_{11112} \\ DP_{11113} \end{pmatrix} \quad (5.18)$$

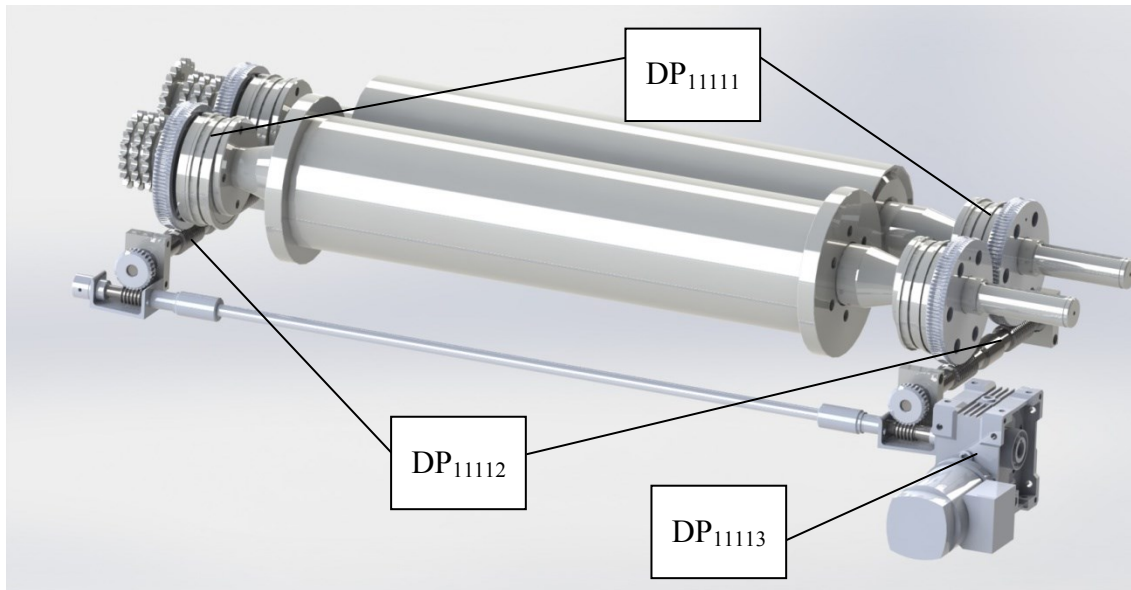
*Опис конструктивних параметара*

$DP_{11111}$  - склоп улежиштења ваљака - осмишљен је тако да оствари константну паралелност уздужних оса ваљака при промени растојања између њих, посебним остваривањем улежиштења ваљака и остваривањем улежиштења носача ваљака. Склоп улежиштења ваљака има утицај на  $FR_{11112}$  - синхроно закретање уздужних оса ваљака по кружном луку и  $FR_{11113}$  - остваривање закретања механичким путем.

$DP_{11112}$  - механизам за закретање уздужних оса ваљака по кружном луку - остварује промену растојања између ваљака, при закретању у супротним смеровима и одржавање сталне паралелности замишљених равни постављених кроз уздужне осе ваљака. Овај параметар такође утиче на  $FR_{11113}$  - остваривање закретања механичким путем.

$DP_{11113}$  - насадно пужни мото редуктор - остварује закретање ваљака механичким путем.

На слици 5.5 приказан је механизам за подешавање растојања између ваљака.



Слика 5.5 DP<sub>1111</sub>- Механизам за подешавање растојања између ваљака

**5.7.10** Декомпозиција  $FR_{11111}$  (константна паралелност уздужних оса ваљака) и  $DP_{11111}$  (склоп улежиштења ваљака)

Табела 5.10 Декомпозиција  $FR_{11111}$  и  $DP_{11111}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>111111</sub>	Остваривање улежиштења ваљака	DP <sub>111111</sub>	Ексцентрично постављени котрљајни лежајеви у цилиндричном носачу ваљака
FR <sub>111112</sub>	Остваривање улежиштења носача ваљака	DP <sub>111112</sub>	Клизно лежиште носача ваљака

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.19).

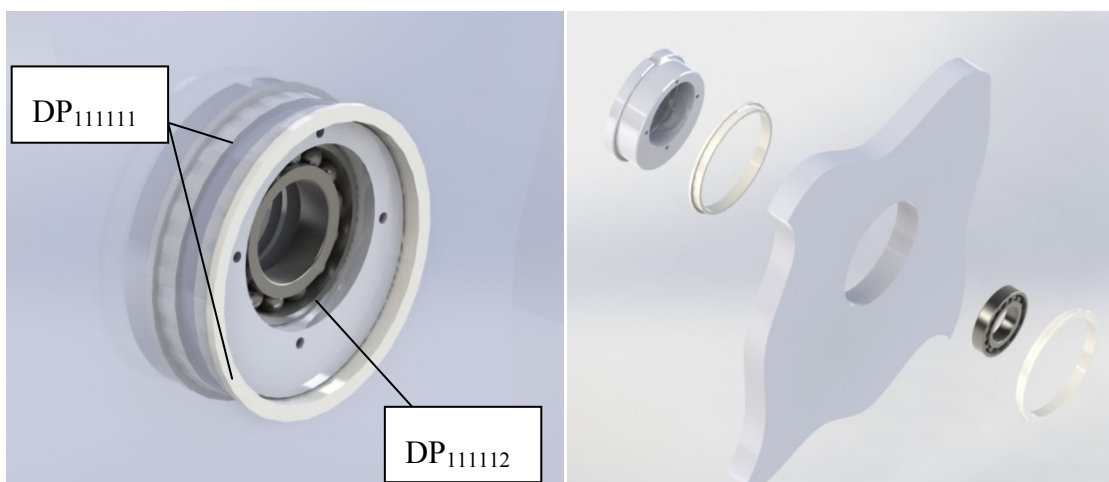
$$\begin{Bmatrix} FR_{111111} \\ FR_{111112} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{111111} \\ DP_{111112} \end{Bmatrix} \quad (5.19)$$

*Опис конструктивних параметара*

DP<sub>111111</sub> - ексцентрично постављени котрљајни лежајеви у цилиндричном носачу ваљка - омогућавају да се при обртању носача ваљака у клизном лежишту оствари промена растојања између ваљака за калибрацију.

DP<sub>111112</sub> - клизно лежиште носача ваљака - испуњава функционални захтев за остварењем улежиштења носача ваљака.

На слици 5.6 приказан је конструктивни параметар склоп улежиштења ваљака



Слика 5.6 DP<sub>111111</sub>- Склоп улежиштења ваљака и његов експандирани приказ

**5.7.11 Декомпозиција FR<sub>11112</sub> (синхронно закретање оса ваљака по кружном луку) и DP<sub>11112</sub> (механизам за закретање оса ваљака по кружном луку)**

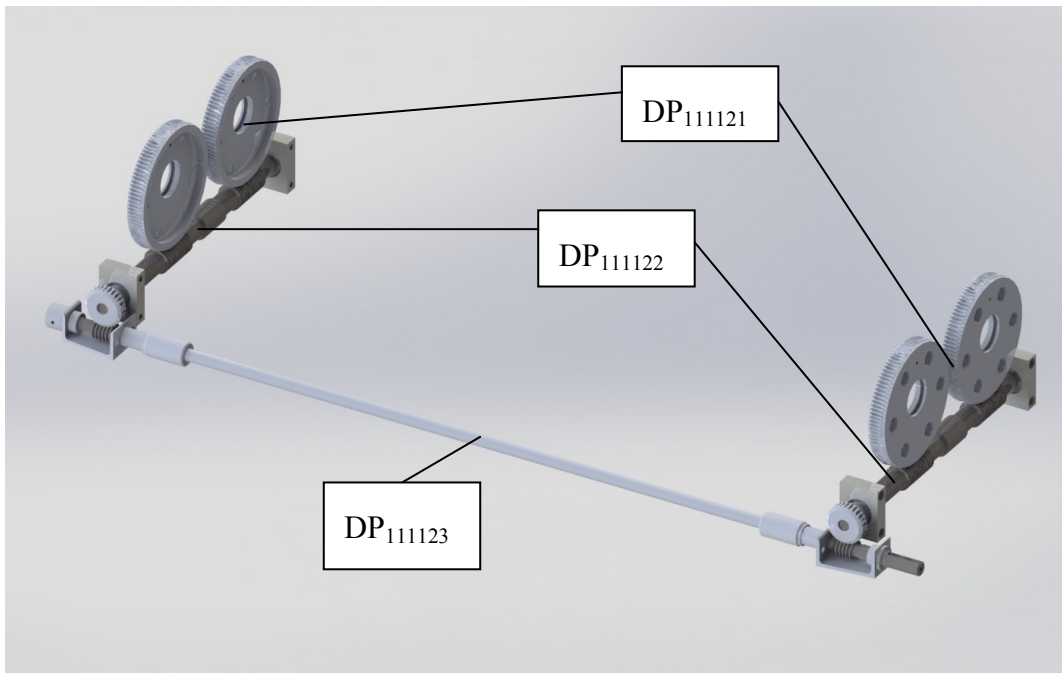
Табела 5.11 Декомпозиција FR<sub>11112</sub> и DP<sub>11112</sub>

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>111121</sub>	Остваривање закретања уздужних оса ваљака	DP <sub>111121</sub>	Пужни точкови
FR <sub>111122</sub>	Закретање у супротним смеровима уздужних оса ваљака	DP <sub>111122</sub>	Вратила са пужевима различитог смера завојнице и пужним точком
FR <sub>111123</sub>	Стална паралелност замишљених равни кроз уздужне осе ваљака	DP <sub>111123</sub>	Заједничко попречно погонско вратило са пужевима

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.20).

$$\begin{Bmatrix} FR_{111121} \\ FR_{111122} \\ FR_{111123} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{111121} \\ DP_{111122} \\ DP_{111123} \end{Bmatrix} \quad (5.20)$$

На слици 5.7 приказана је конструкција механизма за закретање оса ваљака по кружном луку са саставним DPs.



Слика 5.7 DP<sub>11112</sub>- Механизам за закретање оса ваљака по кружном луку

#### Опис конструктивних параметара

DP<sub>111121</sub> - пужни точак - омогућује закретање уздужне осе ваљака тако што је спојен са носачем ваљака који је улежиштен у свом клизном лежишту.

DP<sub>111122</sub> - вратила са пужевима различитог смера завојнице и коничним зупчаницима - омогућују, спрегнути са пужним точковима, закретање у супротним смеровима уздужних оса пара ваљака.

DP<sub>111123</sub> - заједничко попречно погонско вратило са пужевима - омогућује остваривање сталне паралелности замишљених равни постављених кроз уздужне осе ваљака тако што се обртни момент истовремено преноси преко пужних парова на вратила са пужевима на обе улежиштене стране и преко пужних парова.

**5.7.12 Декомпозиција  $FR_2$  (остваривање процеса слојевања тестане траке) и  $DP_2$  (концепт остваривања слојевања тестане траке)**

Ова декомпозиција приказана је у табели 5.12

**Табела 5.12** Декомпозиција  $FR_2$  и  $DP_2$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{21}$	Остваривање слојевања хоризонталним реверзибилним кретањем	$DP_{21}$	Концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање
$FR_{22}$	Одржавање хомогене структуре тестане траке током слојевања	$DP_{22}$	Концепт наменског третирања тестане траке
$FR_{23}$	Могућност промене броја тестаних слојева	$DP_{23}$	Модул за промену броја тестаних слојева

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.21).

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \\ FR_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \\ DP_{23} \end{Bmatrix} \quad (5.21)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{21}$  - концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање - омогућава правилан и усаглашен рад са осталим подсклоповима ламинатора и обезбеђује формирање слојеване тестане траке на излазном транспортеру ламинатора.

Концепт хоризонталног реверзибилног механизма би требало да оствари оригиналну идеју која **не задире у патентна права великих произвођача прехранбене опреме** као што су Baker Perkins, Werner Pfleiderer, и други.  $DP_{21}$ -концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање утиче на  $FR_{22}$ -одржавање хомогене структуре тестане траке током слојевања.

$DP_{22}$  - концепт наменског третирања тестане траке - омогућава да се одржи хомогена структура тестане траке и гарантује несметано одвијање процеса слојевања

DP<sub>23</sub> - модул за промену броја тестаних слојева - проширује палету производа који се могу произвести ламинатором као делом производне линије и припадајућим уређајем за слојевање.

Број тестаних слојева је технолошки параметар утврђен посебно за сваки производ. Он представља једну од улазних вредности програмске апликације како за аутоматски рад ламинатора тако и за аутоматски рад комплетне линије за производњу тврдог кекса и крекера и креће се у распону од 4 до 14.

#### *Ограничења*

C<sub>21a</sub> - расположиви простор предвиђен за постављање уређаја за слојевање.

На основу анализе постојећих решења ламинатора и начина кретања тестане траке кроз њихове склопове а за усвојен концепт вертикалног ламинатора, одређен је и дефинисан простор у коме ће се одвијати процес слојевања, остваривати потребна реверзибилна кретања и остваривање и пренос погона. Ово ограничење утиче на FR<sub>21</sub> - остваривање слојевања хоризонталним реверзибилним кретањем.

Такође, раније поменуто ограничење на вишем хијерархијском нивоу, обезбеђење континуалног протока кроз све склопове ламинатора има пресудан утицај на одређивање начина слојевања и правац у коме се процес слојевања одвија. Због тога, концепти уређаја за слојевање где се до тада континуална тестана трака, попреко сече пре операције слојевања не задовољавају постављене захтеве и сужавају простор за изналажење оригиналног решења **које не задире у патентна права** познатих произвођача прехранбене опреме.

C<sub>21b</sub> - остваривање хомогене структуре тестане траке **и уз употребу сировина слабијег квалитета**. Овим ограничењем се искључује разматрање концепата уређаја за слојевање где се слојевање одвија у вертикалном правцу у односу на излазни транспортер ламинатора-главни правац производне линије, односно концепата уређаја за слојевање где се тестана трака води системом каишева или посебних транспортних трака код којих је императив стриктна примена једнозначних технолошких параметара и употреба високо квалитетних сировина.

Велики недостатак ових решења, што се доказало током испитивања је тај што и мала одступања технолошких параметара и квалитета употребљених сировина

доведе до појаве лепљења тестане траке за каишеве или траку, њеног нагомилавања на превојним ролнама, нарушавања успостављеног формата тестане траке и на крају, до немогућности самог слојевања. Свакако да ово ограничење утиче на  $FR_{21}$  - остваривање слојевања хоризонталним реверзибилним кретањем.

**5.7.13 Декомпозиција  $FR_{21}$  (остваривање слојевања хоризонталним реверзибилним кретањем) и  $DP_{21}$  (концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање)**

**Табела 5.13** Декомпозиција  $FR_{21}$  и  $DP_{21}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{211}$	Могућност компензације истицања тестане траке	$DP_{211}$	Модул за компензацију тестане траке
$FR_{212}$	Формирање слојеване тестане траке	$DP_{212}$	Модул за слојевање тестане траке
$FR_{213}$	Синхронизовано кретање реверзибилног механизма при компензацији и слојевању	$DP_{213}$	Погонски модул

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.22).

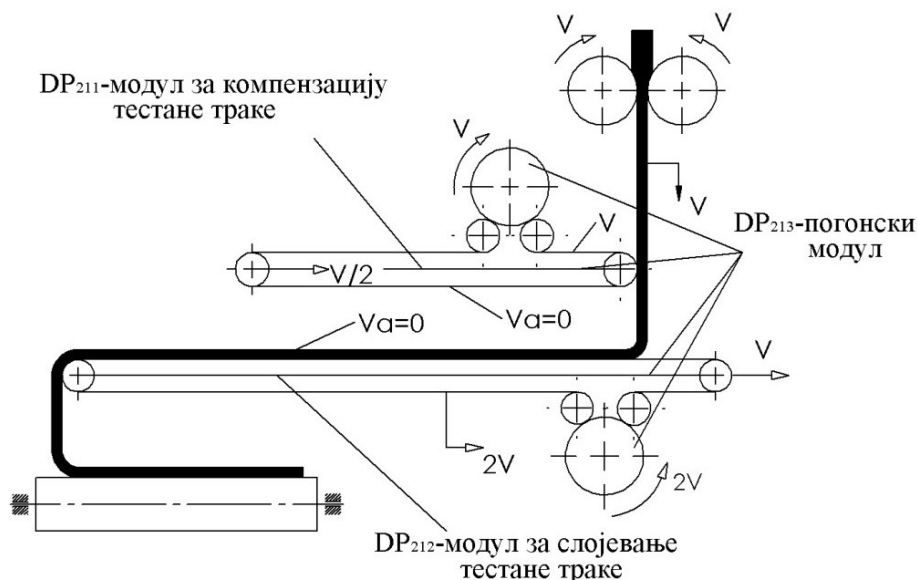
$$\begin{Bmatrix} FR_{211} \\ FR_{212} \\ FR_{213} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{211} \\ DP_{212} \\ DP_{213} \end{Bmatrix} \quad (5.22)$$

Концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање са одговарајућим конструктивним параметрима приказан је на слици 5.8.

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{211}$  - модул за компензацију - омогућава правилан прихват тестане траке већ припремљене за слојевање и остварује неопходну компензацију истицања тако што прихвата вишак тестане траке која континуално пристиже у периоду када модул за слојевање врши слагање тестане траке при ходу у назад на излазни транспортер и враћа акумулирану количину тестане траке у периоду када модул

за слојевање врши слагање тестане траке при ходу у напред на излазни транспортер. На овај начин се остварује континуални ток тестане траке и кроз уређај за слојевање а у складу са ограничењем вишег хијерархијског нивоа о остварењу континуалног протока кроз све склопове ламинатора.



Слика 5.8 DP<sub>21</sub>- Концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање са DP<sub>21x</sub>

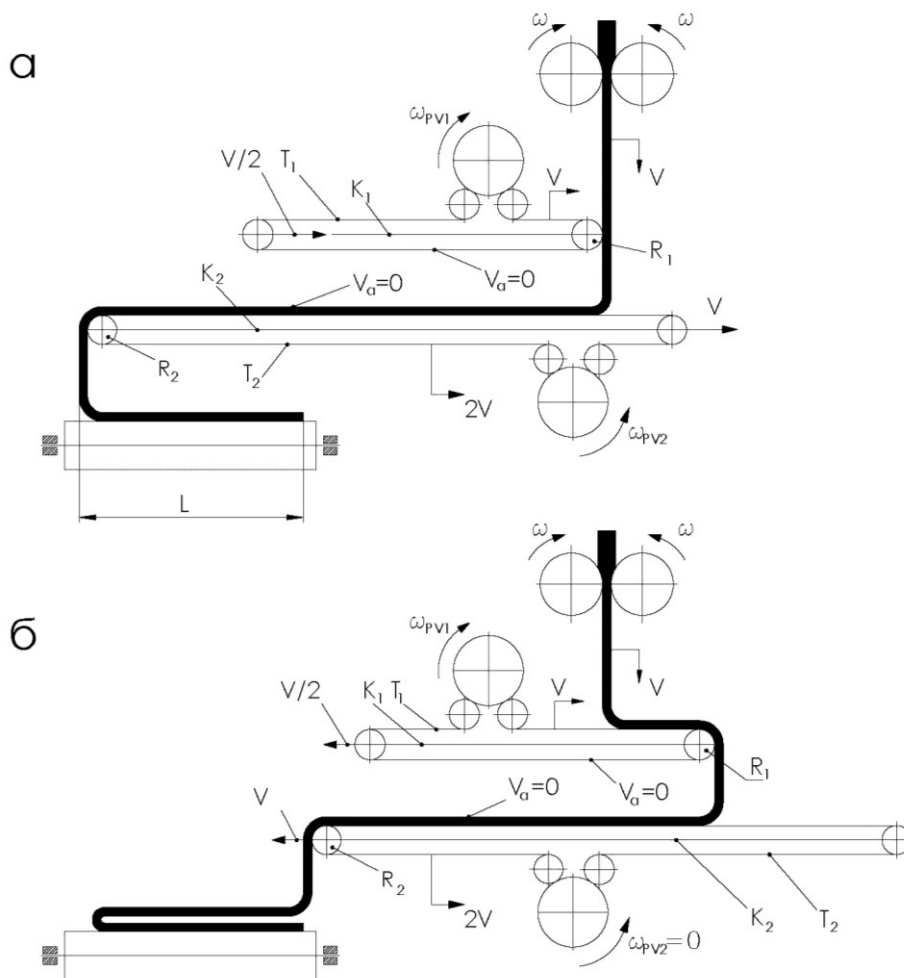
DP<sub>211</sub> - модул за компензацију има утицај на FR<sub>212</sub> - формирање слојеване тестане траке и на FR<sub>213</sub> - синхронизовано кретање реверзибилног механизма при компензацији и слојевању.

DP<sub>212</sub> - модул за слојевање тестане траке - омогућава транспорт и формирање двоструког тестаног слоја и зависи од правилног функционисања Модула за компензацију. DP<sub>212</sub> - модул за слојевање тестане траке има утицаја на FR<sub>213</sub> - синхронизовано кретање реверзибилног механизма при компензацији и слојевању.

DP<sub>213</sub> - погонски модул - омогућава остваривање и синхронизацију кретања свих склопова погонског механизма како би се извршила сва потребна кретања за компензацију и слојевање.

Концепт хоризонталног реверзибилног механизма дат је у радовима [18] и [19], а шематски је приказан на слици 5.9.



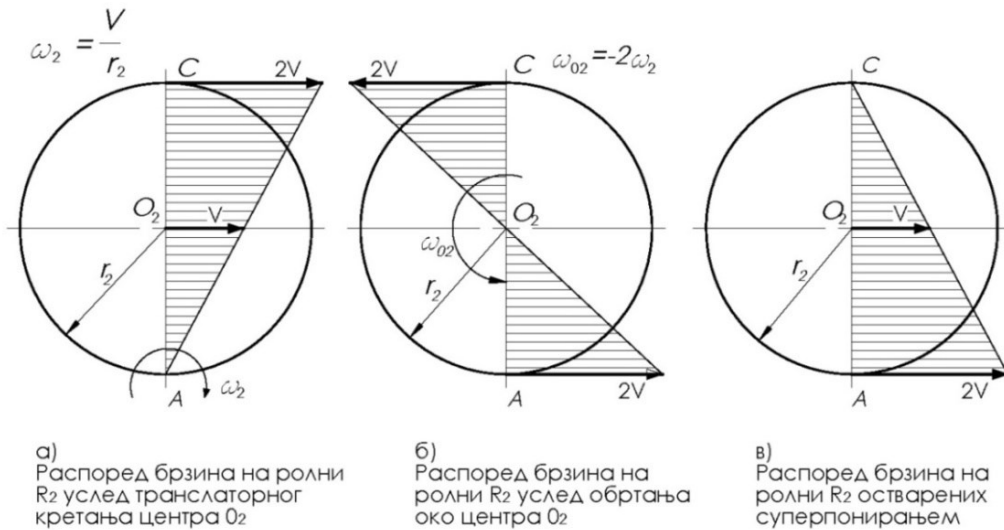


Слика 5.9 Концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање

Састоји се од колица за компензацију  $K_1$ , и колица за слојевање  $K_2$ , припадајућих бесконачних транспортних трака  $T_1$  и  $T_2$  и њихових погонских ваљака  $PV_1$  и  $PV_2$ . Транслаторним кретањем колица  $K_1$  и  $K_2$  напред - назад и кретањем транспортних трака  $T_1$  и  $T_2$  остварује се сложено кретање које омогућује континуални пролаз и слојевање тестане траке.

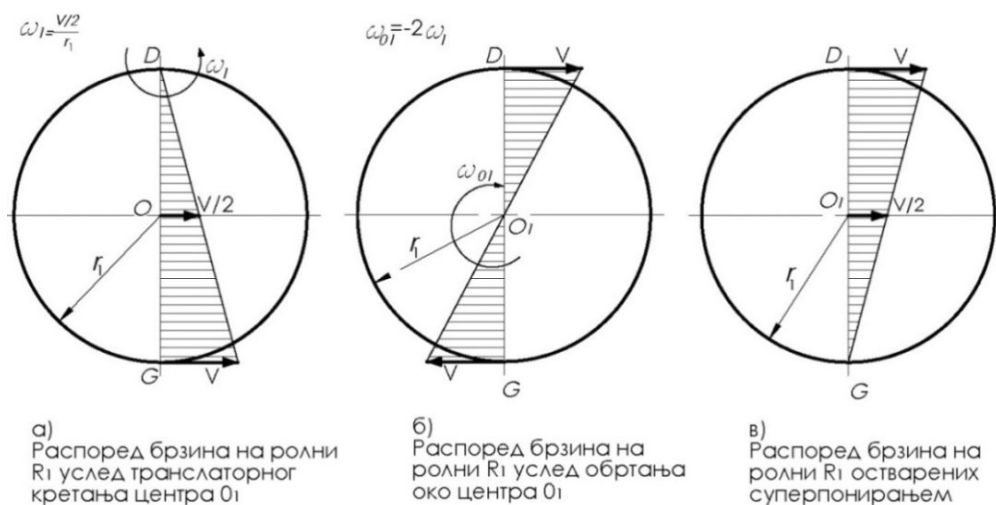
При ходу у назад (сл. 5.9.-а), колица за слојевање  $K_2$  крећу се транслаторно, константном брзином  $V$ . Распоред брзина на превојној ролни  $R_2$  колица  $K_2$ , услед овог транслаторног померања приказан је на слици 5.10.-а. Пошто је потребно да брзина тачке  $C$  буде једнака нули, треба заротирати ролну  $R_2$  угаоном брзином  $\omega_{02} = \text{const}$ , тако да брзина тачке  $C$  услед обртања буде  $2V$  и супротног смера од брзине исте тачке остварене транслацијом центра (сл. 5.10.-б). Потребна ротација ролне  $R_2$  остварује се посредно, преко бесконачне траке  $T_2$ , која се погони

погонским (гумираним) ваљком  $PV_2$ . Суперпонирањем ових кретања остварујемо потребно  $V_c = 0$  (сл. 5.10.-в). Дебљину бесконачне траке можемо занемарити при овој анализи, па је тачка  $C$  заједничка за тестану траку и ролну  $R_2$  колица  $K_2$ . То значи да у тачки  $C$  тестана трака мирује. Услед транслаторног померања колица  $K_2$ , тестана трака слободно пада и слаже се на излазни транспортер  $T_3$  - главну траку линије (сл. 5.9.-а).



Слика 5.10 Распоред брзина на превојној ролни  $R_2$ , ход у назад

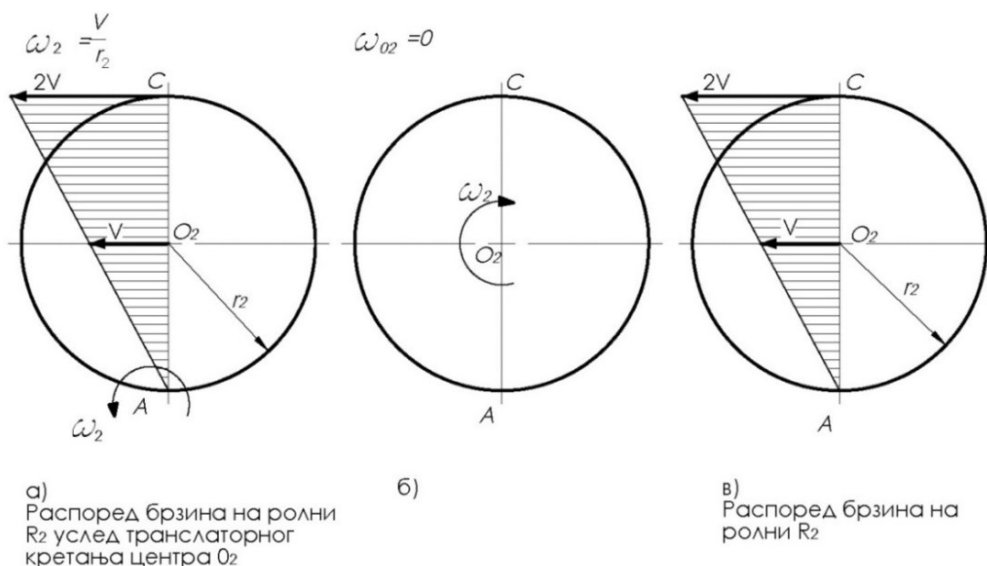
Како тестана трака непрекидно пристиже из последњег пара ваљака за калибрацију, дошло би до њеног гомилања на колицима  $K_2$ . Убачена су зато колица  $K_1$ , која се транслаторно крећу истовремено када и колица  $K_2$ , константном брзином  $V/2$ . Колица  $K_1$  прелазе у пола краћи пут од колица  $K_2$ .



Слика 5.11 Распоред брзина на превојној ролни  $R_1$ , ход у назад

Распоред брзина на ролни  $R_1$  колица  $K_1$  услед овог транслаторног померања приказан је на слици 5.11.-а. Да би колица  $K_1$  прихватила један део новодошле траке теста, а други слагала на колица  $K_2$ , тачка  $D$  као заједничка тачка тестане траке и ролне  $R_1$  мора имати исту брзину  $V$  као и тестана трака. Брзину  $V$  у тачки  $D$  добијамо ако ролну  $R_1$  заротирамо за  $\omega_{O1} = \text{const.}$  (сл. 5.11.-б). Ротација ролне  $R_1$  остварује се посредно преко бесконачне траке  $T_1$  која се погони погонским (гумираним) ваљком  $PV_1$ . Суперпонирањем ових кретања добијамо брзину тачке  $D$ , једнако  $V$ , док је брзина тачке  $G$  једнака нули (сл. 5.11.-в).

При ходу у напред (сл. 5.9.-б) колица  $K_2$  се, на исти начин крећу транслаторно, константном брзином  $V$ . Услед овог кретања распоред брзина на ролни  $R_2$  је приказан на сл. 5.12.-а.



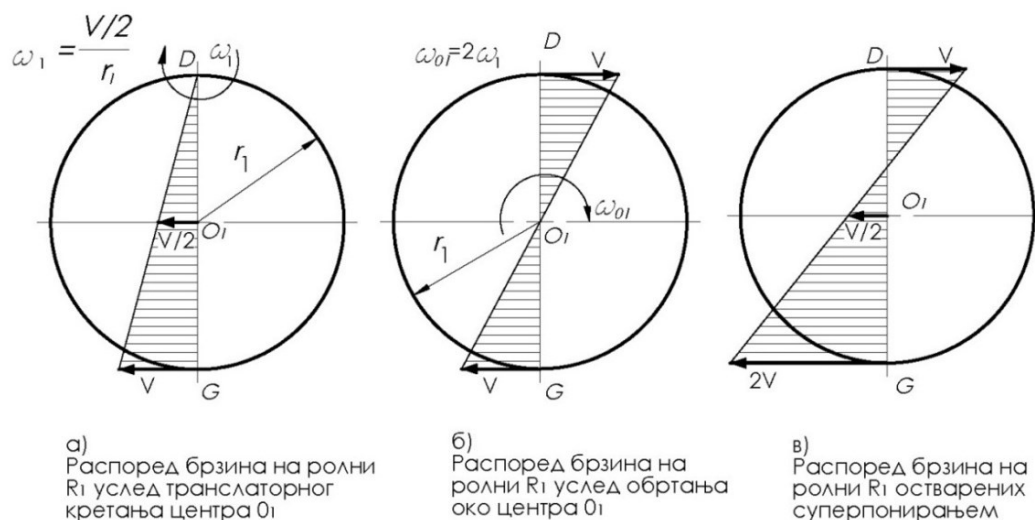
Слика 5.12 Распоред брзина на превојној ролни  $R_2$ , ход у напред

Брзина тачке  $C$  ће бити  $2V$ , док је брзина тачке  $A$  једнака нули. Пошто је ово потребан распоред брзина (сл. 5.12.-в), при ходу у напред погонски ваљак мирује (сл. 5.12.-б). На горњу страну колица  $K_2$  ће пристизати тестана трака која ће се даље слагати на излазни транспортер - главну траку линије  $T_3$ .

Колица  $K_1$  се крећу транслаторно константном брзином  $V/2$ . Распоред брзина на ролни  $R_1$  приказан је на слици 5.13.-а.

Погонски ваљак  $PV_1$  у овом ходу остварује обртање ролне преко бесконачне траке са  $\omega_{O1} = \text{const.}$  Распоред брзина на ролни  $R_1$  дат је на слици 5.13.-б.

Слагањем ових кретања на ролни  $R_1$  (сл. 5.13.-в), брзина тачке D је  $V$ , а брзина тачке G је  $2V$ .



Слика 5.13 Распоред брзина на превојној ролни  $R_1$ , ход у напред

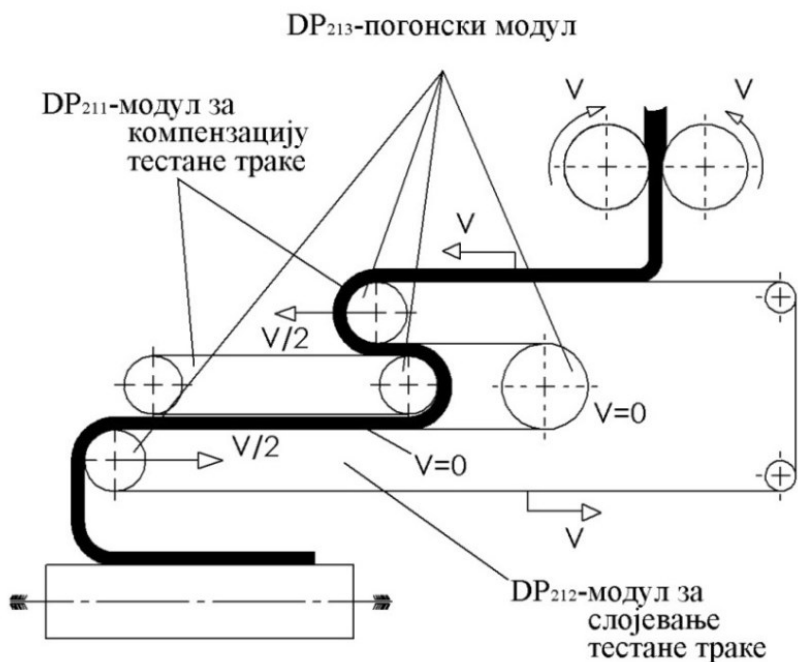
Приказани распореди брзине и дужине хода горњих и доњих колица (услов је да горња колица за исто време пређу упола краћи пут) омогућују континуалан пролаз тестане траке кроз ламинатор без њеног кидања или нагомилавања.

#### Ограничења

$C_{213a}$  – при избору концепта погона код уређаја за слојевање постојале су две опције. Једна, да сваки од четири интегрисана подсклопа има свој независни погон и да се они међусобно синхронизују кроз систем управљања и друга опција да постоји централни погон са погодном решеним преносом који ће истовремено покретати сва четири подсклопа. Аргумента за и против сваке од поменутих опција је било више али су преовладале следеће чињенице у корист централног погона:

- централни погон је увек синхронизован
- промена режима слојевања код централног погона изводи се само на једном месту
- мерно контролна опрема поставља се само на један централни мотор (уместо на четири)
- централни погон заузима мање места и има нижу цену

На овом нивоу декомпозиције, реализација функционалних захтева још увек



Слика 5.14 DP<sub>21</sub> Концепт реверзибилног механизма фирме Baker Perkins

представља конструктивне намере [21] па тако уочавамо да конструктивни параметри и патентираних решења која су власништво великих произвођача прехранбене опреме (Werner Pfleiderer, Baker Perkins, ) такође испуњавају исте функционалне захтеве.(слика 5.14).

**5.7.14 Декомпозиција FR<sub>22</sub> (одржавање хомогене структуре тестане траке током слојевања) и DP<sub>22</sub> (концепт наменског третирања тестане траке)**

Табела 5.14 Декомпозиција FR<sub>22</sub> и DP<sub>22</sub>

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>221</sub>	Растеређење напона тестане траке	DP <sub>221</sub>	Транспортер са ролницама
FR <sub>222</sub>	Минимизација висине истицања при слојевању	DP <sub>222</sub>	Позиционирање модула за слојевање
FR <sub>223</sub>	Изједначавање унутрашњих напона у тестаној траци	DP <sub>223</sub>	Позиционирање реверзибилног механизма

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.23).

$$\begin{Bmatrix} FR_{221} \\ FR_{222} \\ FR_{223} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{221} \\ DP_{222} \\ DP_{223} \end{Bmatrix} \quad (5.23)$$

#### *Опис конструктивних параметара*

DP<sub>221</sub> - транспортер са ролницама - омогућава равномерно ослобађање напонских стања у тесту после тађења и завршне калибрације а пре процеса слојевања.

DP<sub>222</sub> - позиционирање модула за слојевање - остварујемо оптимални положај модула за слојевање у односу на излазни транспортер ламинатора, чиме спречавамо неконтролисано истицање тестаног слоја услед сопствене тежине, а уједно омогућавамо формирање и несметан пролаз слојеване тестане траке дебљине до 40 (mm).

DP<sub>223</sub> - позиционирање реверзибилног механизма - тако да се слојевање тестане траке врши под углом од 90 степени у односу на излазни транспортер ламинатора, остварујемо могућност изједначавања унутрашњих напона у тестаној траци а тиме и постојаност задатог формираног облика производа како пре тако и после процеса печења.

#### *Ограничења*

C<sub>221a</sub> - растерећење напона после завршне калибрације

Функционални захтев FR<sub>221</sub> - растерећење напона тестане траке, се углавном врши на равној транспортној траци и то пре завршне калибрације код већине произвођача ламинатора, док код вертикалног ламинатора произвођача Baker Perkins, растерећење напона тестане траке имамо и после завршне калибрације.

Извршена испитивања на вертикалном ламинатору конструисаном у Институту за механику машина показала су да је неопходно извршити стабилизацију напонских стања и одмарање тестане траке после завршне калибрације, а пре остваривања слојевања, нарочито када су у питању теста са слабијим квалитетом сировина.

Такође испитивања су показала да је стабилизација напонских стања и одмарање тестане траке далеко боље на ролницама него на равној транспортној траци па је транспортер са ролницама конструктивни параметар који употпуности испуњава остварење функционалног захтева FR<sub>221</sub> - растерећење напона тестане траке.

**5.7.15 Декомпозиција  $FR_{23}$  (могућност промене броја тестаних слојева) и  $DP_{23}$  (модул за промену броја тестаних слојева)**

**Табела 5.15** Декомпозиција  $FR_{23}$  и  $DP_{23}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{231}$	Могућност подешавања брзине тестане траке за потребан број слојева	$DP_{231}$	Део програмске апликације везан за промену брзине тестане траке
$FR_{232}$	Могућност подешавања дебљине тестане траке за потребан број слојева	$DP_{232}$	Део програмске апликације везан за промену дебљине тестане траке

Пројектна једначина исказана је према (5.24).

$$\begin{Bmatrix} FR_{231} \\ FR_{232} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{231} \\ DP_{232} \end{Bmatrix} \quad (5.24)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{231}$  - део програмске апликације везан за промену брзине тестане траке - омогућава да се за задати број ламинација који се креће од 4 до 14, оствари потребна брзина тестане траке тако што се остварује потребан број обртаја ваљака за финалну калибрацију уз одржавање континуалног протока.

$DP_{232}$  - део програмске апликације везан за промену дебљине тестане траке - омогућава да се за задати број ламинација оствари оптимална дебљина тестане траке уз одржавање континуалног протока.

**5.7.16 Декомпозиција  $FR_{211}$  (могућност компензације истицања тестане траке) и  $DP_{211}$  (модул за компензацију тестане траке)**

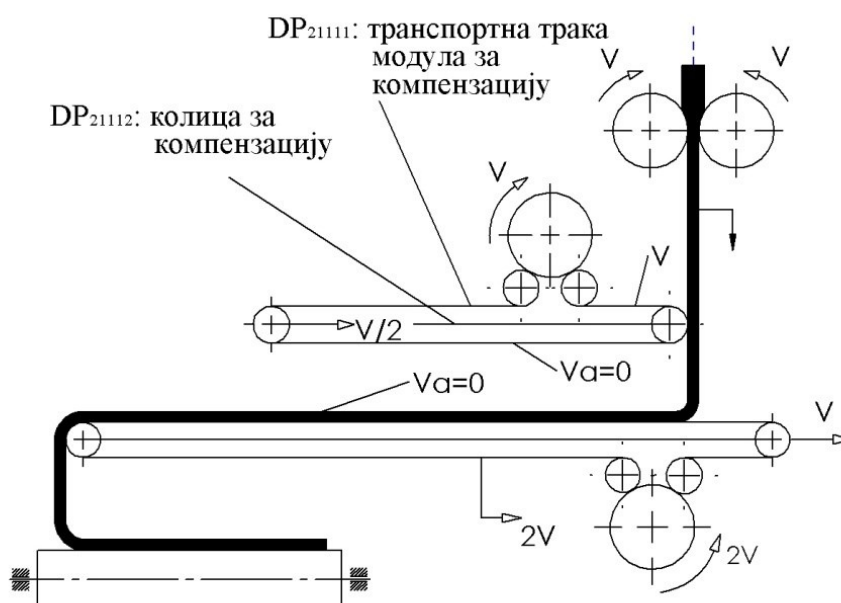
**Табела 5.16** Декомпозиција  $FR_{211}$  и  $DP_{211}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{2111}$	Остваривање прихвата тестане траке	$DP_{2111}$	Транспортна трака модула за компензацију
$FR_{2112}$	Остваривање компензације у току транспорта	$DP_{2112}$	Колица за компензацију

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.25).

$$\begin{Bmatrix} FR_{2111} \\ FR_{2112} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{2111} \\ DP_{2112} \end{Bmatrix} \quad (5.25)$$

На слици 5.15 је приказана декомпозиција  $DP_{211}$  - модул за компензацију дужине тестане траке.



Слика 5.15  $DP_{211}$ -Модул за компензацију дужине тестане траке

#### *Опис конструктивних параметара*

$DP_{2111}$  - транспортна трака модула за компензацију - остварује правилан прихват тестане траке са Транспортера са ролницама и њен транспорт до јединице за слојевање уз неопходно поштовање континуалности протока тестане траке. Овај параметар има утицаја на  $FR_{2112}$  - остваривање компензације у току транспорта.

$DP_{2112}$  - колица за компензацију - остварују пријем и предају компензационе дужине тестане траке уз остваривање праволинијског кретања и неопходну спрегу са припадајућом транспортном траком.

Ако декомпонујемо на овом нивоу патентирано решење фирме Baker Perkins према табели 5.16/2 за исте функционалне захтеве, уочавамо разлику у



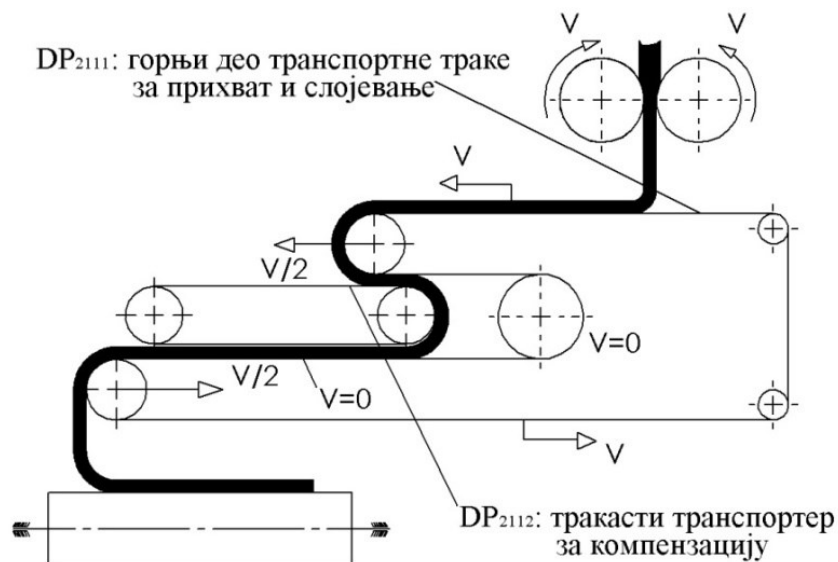
конструктивним параметрима, тако да даља декомпозиција, кретањем ка физичком домену и назад у функционални домен, доводи до успостављања сасвим различитих функционалних захтева које треба остварити одговарајућим конструктивним параметрима, што је несумњиво пут који води ка оригиналном и независном решењу. Види слику 5.16.

**Табела 5.16/2** Декомпозиција  $FR_{211}$  и  $DP_{211}$ , решење Baker Perkins

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{2111}$	Остваривање прихвата тестане траке	$DP_{2111}$	Горњи део транспортне траке за прихват и слојевање
$FR_{2112}$	Остваривање компензације у току транспорта	$DP_{2112}$	Тракасти транспортер за компензацију

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.26).

$$\begin{Bmatrix} FR_{2111} \\ FR_{2112} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{2111} \\ DP_{2112} \end{Bmatrix} \quad (5.26)$$



**Слика 5.16**  $DP_{211}$ -Модул за компензацију дужине тестане траке фирме Baker Perkins

**5.7.17 Декомпозиција  $FR_{212}$  (Формирање слојеване тестане траке) и  $DP_{212}$  (Модул за слојевање тестане траке)**

**Табела 5.17** Декомпозиција  $FR_{212}$  и  $DP_{212}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{2121}$	Транспорт тестане траке за остваривање слојевања	$DP_{2121}$	Транспортна трака модула за слојевање
$FR_{2122}$	Слојевање тестане траке	$DP_{2122}$	Колица за слојевање

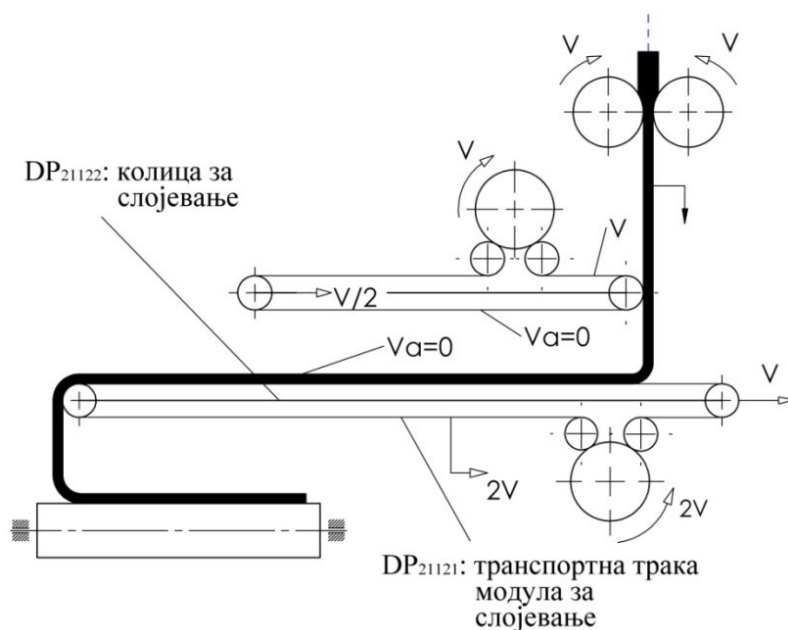
$$\begin{Bmatrix} FR_{2121} \\ FR_{2122} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{2121} \\ DP_{2122} \end{Bmatrix} \quad (5.27)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{2121}$  - транспортна трака модула за слојевање- остварује прихват тестане траке са јединице за компензацију и транспорт до места за слојевање. Овај параметар има утицаја на  $FR_{2122}$  - слојевање тестане траке.

$DP_{2122}$  - колица за слојевање- остварују формирање двоструког тестаног слоја уз остваривање праволинијског кретања и неопходну спрегу са припадајућом транспортном траком.

Декомпозиција  $DP_{212}$  - модул за слојевање тестане траке, приказана је на слици (5.17).



**Слика 5.17**  $DP_{212}$ -Модул за слојевање тестане траке

На исти начин као и приликом претходне декомпозиције, у табели 5.17/2 за исте функционалне захтеве приказаћемо конструктивне параметре патентираног решења фирме Baker Perkins.

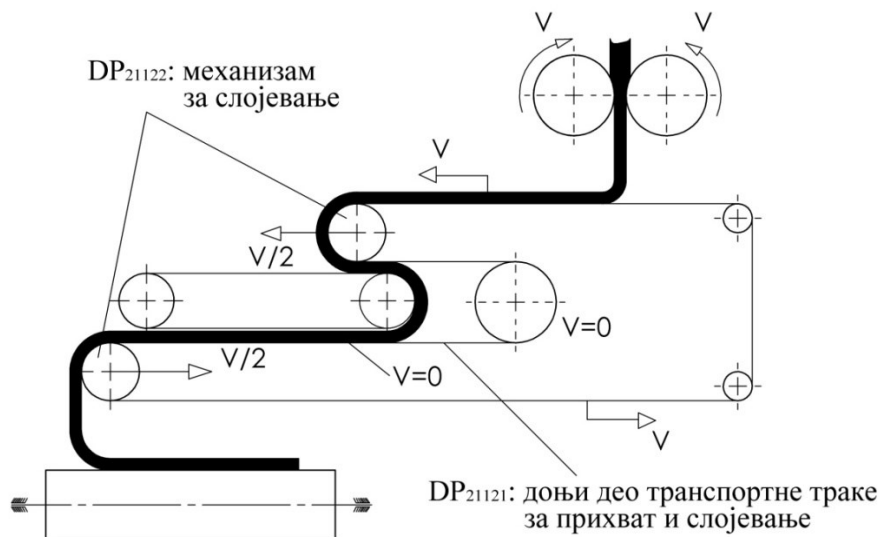
**Табела 5.17/2** Декомпозиција  $FR_{212}$  и  $DP_{212}$ , решење Baker Perkins

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{2121}$	Транспорт тестане траке за остваривање слојевања	$DP_{2121}$	Доњи део транспортне траке за прихват и слојевање
$FR_{2122}$	Слојевање тестане траке	$DP_{2122}$	Механизам за слојевање

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.28).

$$\begin{Bmatrix} FR_{2121} \\ FR_{2122} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{2121} \\ DP_{2122} \end{Bmatrix} \quad (5.28)$$

Декомпозиција  $DP_{212}$  - модул за слојевање тестане траке, фирме Baker Perkins приказана је на слици(5.18)



**Слика 5.18**  $DP_{212}$ -Модул за слојевање тестане траке фирме Baker Perkins

Уочавамо такође, да су у питању различити конструктивни параметри који испуњавају исте функционалне захтеве, па се може закључити да ће даља декомпозиција и ове гране водити ка оригиналном и независном решењу.

**5.7.18 Декомпозиција  $FR_{213}$  (синхронизовано кретање реверзибилног механизма при компензацији и слојевању) и  $DP_{213}$ (погонски модул)**

**Табела 5.18** Декомпозиција  $FR_{213}$  и  $DP_{213}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{2131}$	Остваривање погона	$DP_{2131}$	Централни мото-редуктор
$FR_{2132}$	Могућност варирања брзине погона	$DP_{2132}$	Фреквентни регулатор
$FR_{2133}$	Остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за компензацију	$DP_{2133}$	Подсклоп за остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за компензацију
$FR_{2134}$	Остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за слојевање	$DP_{2134}$	Подсклоп за остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за слојевање
$FR_{2135}$	Остваривање реверзибилних кретања колица за компензацију и слојевање	$DP_{2135}$	Подсклоп за остваривање реверзибилних кретања колица за компензацију и слојевање

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.29).

$$\begin{Bmatrix} FR_{2131} \\ FR_{2132} \\ FR_{2133} \\ FR_{2134} \\ FR_{2135} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 & 0 \\ X & X & 0 & 0 & 0 \\ X & 0 & X & 0 & 0 \\ X & 0 & 0 & X & 0 \\ X & 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{2131} \\ DP_{2132} \\ DP_{2133} \\ DP_{2134} \\ DP_{2135} \end{Bmatrix} \quad (5.29)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{2131}$  – централни мото редуктор - остварује пројектовани излазни број обртаја, момент и снагу за остваривање свих потребних кретања реверзибилног механизма, и има утицај на  $FR_{2132}$  - могућност варирања броја обртаја,  $FR_{2133}$  - остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за компензацију,  $FR_{2134}$

- остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за слојевање и FR<sub>2135</sub> - остваривање реверзибилних кретања колица за компензацију и слојевање.

DP<sub>2132</sub> - фреквентни регулатор - омогућава континуалну промену броја обртаја погонског модула како би се све потребне брзине кретања ускладиле са пројектованим временом печења у распону од 5 до 15 минута.

DP<sub>2133</sub> - подсклоп за остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за компензацију - омогућава пренос обртног момента од централног мото-редуктора до погонског ваљка транспортне траке за компензацију.

DP<sub>2134</sub> - подсклоп за остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за слојевање - омогућава пренос обртног момента од централног мото-редуктора до погонског ваљка транспортне траке за слојевање.

DP<sub>2135</sub> - подсклоп за остваривање реверзибилних кретања колица за компензацију и слојевање - омогућава пренос обртног момента од централног мото-редуктора и остваривање синтезе сложеног кретања колица за компензацију и колица за слојевање, тако да тестана трака, финално стањена, несметано прође кроз уређај за слојевање без растезања или нагомилавања и на излазном транспортеру оствари слојевану структуру.

#### *Ограничења*

C<sub>2133</sub> - елементи преноса морају да обезбеде такву брзину кретања транспортне траке за компензацију да пристижућа тестана трака буде транспортована без истезања или нагомилавања. Ово ограничење има утицај на FR<sub>2133</sub> - остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за слојевање.

C<sub>2135a</sub> - остваривање једновремених транслаторних кретања истих праваца и смерова колица за компензацију и колица за слојевање како би се испунио функционални захтев вишег хијерархијског нивоа за остваривањем слојевања хоризонталним реверзибилним кретањем.

C<sub>2135b</sub> - брзина транслаторног кретања мора бити константна.

C<sub>2135c</sub> - остварити могућност за промену дужине слојевања.

Сва ова ограничења утичу на  $FR_{2135}$  - остваривање реверзибилних кретања колица за компензацију и слојевање.

**5.7.19 Декомпозиција  $FR_{2111}$  (остваривање прихвата тестане траке) и  $DP_{2111}$  (транспортна трака модула за компензацију)**

**Табела 5.19** Декомпозиција  $FR_{2111}$  и  $DP_{2111}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{21111}$	Остваривање кретања транспортне траке	$DP_{21111}$	Погонски ваљак транспортне траке модула за компензацију
$FR_{21112}$	Спречавање проклизавања транспортне траке	$DP_{21112}$	Затезни уређај транспортне траке модула за компензацију
$FR_{21113}$	Одржавање правца кретања транспортне траке	$DP_{21113}$	Уређај за вођење транспортне траке модула за компензацију

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.30).

$$\begin{Bmatrix} FR_{21111} \\ FR_{21112} \\ FR_{21113} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21111} \\ DP_{21112} \\ DP_{21113} \end{Bmatrix} \quad (5.30)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{21111}$  - погонски ваљак транспортне траке модула за компензацију - својим обртањем омогућава њено кретање и правилан прихват тестане траке.

$DP_{21112}$  - затезни уређај транспортне траке модула за компензацију - спречава њено проклизавање и омогућује константност захтеване обимне брзине, односно константност брзине транслације транспортне траке.

$DP_{21113}$  - уређај за вођење транспортне траке модула за компензацију - омогућава правилно одржавање правца кретања транспортне траке.

**5.7.20 Декомпозиција  $FR_{2112}$ (остваривање компензације у току транспорта) и  $DP_{2112}$ (колица за компензацију)**

**Табела 5.20** Декомпозиција  $FR_{2112}$  и  $DP_{2112}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{21121}$	Могућност праволинијског кретања при компензацији	$DP_{21121}$	Котрљање точкова колица за компензацију по непокретној вођици
$FR_{21122}$	Пријем и предаја компензационе дужине тестане траке	$DP_{21122}$	Реверзибилни ход колица за компензацију
$FR_{21123}$	Спрега транспортне траке и колица за компензацију	$DP_{21123}$	Превојне ролне на крајевима колица за компензацију

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.31).

$$\begin{Bmatrix} FR_{21121} \\ FR_{21122} \\ FR_{21123} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21121} \\ DP_{21122} \\ DP_{21123} \end{Bmatrix} \quad (5.31)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{21121}$  - котрљање точкова колица за компензацију по непокретној вођици - омогућава праволинијско кретање колица за компензацију.

$DP_{21122}$  - реверзибилни ход колица за компензацију - омогућава да се оствари пријем и предаја компензационе дужине тестане траке.

$DP_{21123}$  - превојне ролне на крајевима колица за компензацију - остварују спрегу транспортне траке модула за компензацију и колица за компензацију.

*Ограничења*

$C_{21122}$  - ход колица за компензацију мора бити упола мањи од хода колица за слојевање. Ово ограничење утиче на  $FR_{21122}$  - пријем и предаја компензационе дужине тестане траке.

**5.7.21 Декомпозиција  $FR_{2121}$ (транспорт тестане траке за остваривање слојевања) и  $DP_{2121}$ (транспортна трака модула за слојевање)**

**Табела 5.21** Декомпозиција  $FR_{2121}$  и  $DP_{2121}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{21211}$	Остваривање кретања транспортне траке при слојевању	$DP_{21211}$	Пар погонских ваљака транспортне траке модула за слојевање
$FR_{21212}$	Спречавање проклизавања транспортне траке при слојевању	$DP_{21212}$	Затезни уређај транспортне траке модула за слојевање
$FR_{21213}$	Одржавање правца кретања транспортне траке при слојевању	$DP_{21213}$	Уређај за вођење транспортне траке модула за слојевање

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.32).

$$\begin{Bmatrix} FR_{21211} \\ FR_{21212} \\ FR_{21213} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21211} \\ DP_{21212} \\ DP_{21213} \end{Bmatrix} \quad (5.32)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{21211}$  - пар погонских ваљака транспортне траке модула за слојевање - својим обртањем омогућавају њено кретање а избором кинематских параметара, постизање правилног слојевања. Као конструктивни параметар усвојен је пар погонских ваљака који су спрегнути помоћу зупчаника постављених на рукавцима погонских ваљака а све у циљу повећања обвојног угла транспортне траке.

$DP_{21212}$  - затезни уређај транспортне траке модула за слојевање - омогућује константност захтеване обимне брзине, односно константност брзине translације транспортне траке.

$DP_{21213}$  - уређај за вођење транспортне траке модула за слојевање - омогућава правилно одржавање правца кретања транспортне траке модула за слојевање.



### 5.7.22 Декомпозиција $FR_{2122}$ (слојевање тестане траке) и $DP_{2122}$ (колица за слојевање)

Табела 5.22 Декомпозиција  $FR_{2122}$  и  $DP_{2122}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{21221}$	Могућност праволинијског кретања при слојевању	$DP_{21221}$	Котрљање точкова колица за слојевање по непокретној вођици
$FR_{21222}$	Формирање двоструког тестаног слоја	$DP_{21222}$	Реверзибилни ход колица за слојевање
$FR_{21223}$	Спрега транспортне траке и колица за слојевање	$DP_{21223}$	Превојне ролне на крајевима колица за слојевање

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.33).

$$\begin{Bmatrix} FR_{21221} \\ FR_{21222} \\ FR_{21223} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21221} \\ DP_{21222} \\ DP_{21223} \end{Bmatrix} \quad (5.33)$$

#### Опис конструктивних параметара

$DP_{21221}$  - котрљање точкова колица за слојевање по непокретној вођици - остварује у потпуности функционални захтев  $FR_{21221}$  - могућност праволинијског кретања при слојевању.

$DP_{21222}$  - реверзибилни ход колица за слојевање - омогућава формирање слојеване тестане траке на излазном транспортеру.

$DP_{21223}$  - превојне ролне на крајевима колица за слојевање - остварују спрегу транспортне траке модула за слојевање и колица за слојевање.

#### Ограничења

$C_{21222}$  - ход колица за слојевање мора бити једнак радној ширини излазног транспортера што за пројектовани ламинатор износи 1200 (mm). Ово ограничење утиче на  $FR_{21222}$  - формирање двоструког тестаног слоја

**5.7.23 Декомпозиција  $FR_{2133}$  (остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за компензацију) и  $DP_{2133}$  (подсклоп за остваривање кретања погонског ваљка транспортне траке за компензацију)**

**Табела 5.23** Декомпозиција  $FR_{2133}$  и  $DP_{2133}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{21331}$	Пренос обртног момента	$DP_{21331}$	Ланчаник на рукавцу погонског ваљка транспортне траке за компензацију
$FR_{21332}$	Остваривање потребног преносног односа	$DP_{21332}$	Избор елемената преноса

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.34).

$$\begin{Bmatrix} FR_{21331} \\ FR_{21332} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21331} \\ DP_{21332} \end{Bmatrix} \quad (5.34)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{21331}$  - ланчаник на рукавцу погонског ваљка - омогућава пренос обртног момента и остваривање обртања погонског ваљка, и утиче на  $FR_{21332}$  - остваривање потребног преносног односа јер његов број зуба учествује у остваривању укупног преносног односа.

Остваривање  $FR_{21331}$  могло би се омогућити и каишницима и мзупчастим каишем али пошто су у питању мале вредности броја обртаја погонског ваљка ( $6 \text{ min}^{-1} - 37 \text{ min}^{-1}$ ) као детаљно конструктивно решење прихватљивији је ланчаник

$DP_{21332}$  - избор елемената преноса - омогућава да се оствари потребан преносни однос од централног мото-редуктора до ланчаника на рукавцу погонског ваљка транспортне траке за компензацију како би се остварила једнакост обимне брзине погонског ваљка и брзине кретања тестане траке.

**5.7.24 Декомпозиција  $FR_{2134}$ (остваривање кретања погонских ваљака транспортне траке за слојевање) и  $DP_{2134}$ (подсклоп за остваривање кретања погонских ваљака транспортне траке за слојевање)**

**Табела 5.24** Декомпозиција  $FR_{2134}$  и  $DP_{2134}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{21341}$	Пренос обртног момента	$DP_{21341}$	Ланчаник на рукавцу једног од погонских ваљака транспортне траке за слојевање
$FR_{21342}$	Остваривање потребног преносног односа	$DP_{21342}$	Избор елемената преноса
$FR_{21343}$	Остваривање секвенцијалног кретања погонских ваљака транспортне траке за слојевање	$DP_{21343}$	Подсклоп секвенцијалног кретања погонских ваљака транспортне траке за слојевање

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.35).

$$\begin{Bmatrix} FR_{21341} \\ FR_{21342} \\ FR_{21343} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21341} \\ DP_{21342} \\ DP_{21343} \end{Bmatrix} \quad (5.35)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{21341}$  - ланчаник на рукавцу једног од погонских ваљака транспортне траке за слојевање - омогућава пренос обртног момента и остваривање обртања погонских ваљака, и утиче на  $FR_{21342}$  - остваривање потребног преносног односа јер његов број зуба учествује у остваривању укупног преносног односа.

$DP_{21342}$  - избор елемената преноса - омогућава да се оствари потребан преносни однос од централног мото-редуктора до ланчаника на рукавцу једног од погонских ваљака транспортне траке за слојевање како би се остварила једнакост обимне брзине погонског ваљака и брзине кретања тестане траке.

DP<sub>21343</sub> - подсклоп секвенцијалног кретања погонских ваљака транспортне траке за слојевање - омогућава да се оствари пауза у кретању транспортне траке и тако изврши правилно слојевање при ходу у назад модула за слојевање и испоштују сва ограничења вишег нивоа о континуалном току тестане траке кроз све склопове ламинатора.

**5.7.25 Декомпозиција FR<sub>2135</sub> (остваривање реверзибилних кретања колица за компензацију и слојевање) и DP<sub>2135</sub> (подсклоп за остваривање реверзибилних кретања колица за компензацију и слојевање)**

**Табела 5.25** Декомпозиција FR<sub>2135</sub> и DP<sub>2135</sub>

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>21351</sub>	Остваривање кретања колица за компензацију	DP <sub>21351</sub>	Спрега зупчаник-зупчаста летва колица за компензацију
FR <sub>21352</sub>	Остваривање кретања колица за слојевање	DP <sub>21352</sub>	Спрега зупчаник-зупчаста летва колица за слојевање
FR <sub>21353</sub>	Остваривање синхронизације кретања колица за компензацију и слојевање	DP <sub>21353</sub>	Подсклоп синхронизације кретања колица за компензацију и слојевање

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.36).

$$\begin{Bmatrix} FR_{21351} \\ FR_{21352} \\ FR_{21353} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21351} \\ DP_{21352} \\ DP_{21353} \end{Bmatrix} \quad (5.36)$$

Остварење FR<sub>21351</sub> и FR<sub>21352</sub> може се извршити на више начина и различитим механизмима. Проучавањем доступне литературе могу се разматрати класе механизма који улазно обртно кретање претварају у излазно транслаторно кретање [28], [29], [30]. Ту спадају полужни механизми – једноставне или сложене конструкције, брегасте механизми, зупчасти механизми, навојни парови и други. Такође за обављање праволинијске транслације могу се користити савремена решења као што су пнеуматски цилиндри или електро погони са серво или корачним моторима - електричне осе.

Како су функционални захтеви као и претходна ограничења на вишем хијерархијском нивоу, условили да се трансляторно кретање обавља као праволинијска translација променљивог смера релативно велике дужине ( $L = 1200\text{mm}$ ), при чему је неопходно да брзина translације буде константна за сво време извођења кретања, не могу се применити полужни и брегасти механизми пошто не могу остварити  $v=\text{const.}$  члана који врши трансляторно кретање.

Такође, електрична оса се користи када се ради о линеарном кретању велике динамике елемената релативно малих маса што овде није случај. Употреба пнеуматског цилиндра није прикладна јер постоји потреба за променом брзине трансляторног кретања у зависности од времена печења (5 min – 15 min) а континуална промена брзине пнеуматског цилиндра је врло сложена и скупа.

Због свега наведеног, као детаљна решења разматрали су се зупчasti и навојни парови а расположиви простор, конструктивне карактеристике и једноставност извођења одредили су спрегу зупчаник-зупчаста летва за детаљна решења са највећом вероватноћом успешности.

DP<sub>21351</sub> - спрега зупчаник-зупчаста летва колица за компензацију - остварује захтевано кретање колица за компензацију а елементима преноса се постиже да брзина трансляторног кретања колица за компензацију буде једнака половини брзине дотока тестане траке у циљу поштовања ограничења вишег хијерархијског нивоа о континуалном пролазу тестане траке кроз све склопове ламинатора

DP<sub>21352</sub> - спрега зупчаник-зупчаста летва колица за слојевање - остварује захтевано кретање колица за слојевање а елементима преноса се постиже да брзина трансляторног кретања колица за слојевање буде једнака брзини дотока тестане траке такође у циљу поштовања ограничења вишег хијерархијског нивоа о континуалном пролазу тестане траке кроз све склопове ламинатора

DP<sub>21353</sub> - подсклоп синхронизације кретања колица за компензацију и слојевање - омогућава да се оствари истовремено кретање, у истом правцу, колица за компензацију и слојевање, да се омогући детекција крајњих положаја реверзибилних кретања и изврши брза промена смера кретања колица за компензацију и слојевање.

**5.7.26 Декомпозиција  $FR_{21112}$  (спречавање проклизавања транспортне траке модула за компензацију) и  $DP_{21112}$  (затезни уређај транспортне траке)**

**Табела 5.26** Декомпозиција  $FR_{21112}$  и  $DP_{21112}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{211121}$	Могућност затезања транспортне траке	$DP_{211121}$	Ролна за затезање транспортне траке
$FR_{211122}$	Остваривање силе затезања	$DP_{211122}$	Пнеуматски цилиндар
$FR_{211123}$	Подешавање силе затезања	$DP_{211123}$	Регулатор притиска

Пројектна једначина исказана је према (5.37).

$$\begin{Bmatrix} FR_{211121} \\ FR_{211122} \\ FR_{211123} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{211121} \\ DP_{211122} \\ DP_{211123} \end{Bmatrix} \quad (5.37)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{211121}$  - ролна за затезање транспортне траке - омогућава да се око ње обмота транспортна трака модула за компензацију и оствари функционални захтев  $FR_{211121}$  - могућност затезања транспортне траке.

За испуњење функционалног захтева  $FR_{211122}$  - остваривање силе затезања, може се применити више техничких решења. Најједноставније решење била би примена спиралних опруга. Такође може се употребити и полужни механизам са контра-тегом. Ова решења имају недостатке у виду суженог опсега подешавања силе затезања јер она директно зависи од карактеристика опруге односно сложеног начина подешавања силе затезања код механизма са контра – тегом. Из наведених разлога изабран је пнеуматски цилиндар као конструктивни параметар

$DP_{211122}$  - пнеуматски цилиндар - омогућава да се оствари сила затезања а колика ће она бити зависи од врсте употребљене транспортне траке па се тако према њеним производним карактеристикама бира одговарајућа величина пнеуматског цилиндра.  $DP_{211122}$  - пнеуматски цилиндар, има утицаја на остварење функционалног захтева  $FR_{211123}$  - подешавање силе затезања.

$DP_{211123}$  - регулатор притиска - омогућава да се у потпуности оствари функционални захтев  $FR_{211123}$  - подешавање силе затезања.

*Ограничења*

$C_{211122}$  - остварење потребног притиска у пнеуматској инсталацији (3 - 12 bar). Ово ограничење има утицај на  $FR_{211122}$  - остваривање силе затезања.

**5.7.27 Декомпозиција  $FR_{21113}$  (одржавање правца кретања транспортне траке модула за компензацију) и  $DP_{21113}$  (уређај за вођење транспортне траке)**

**Табела 5.27** Декомпозиција  $FR_{21113}$  и  $DP_{21113}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{211131}$	Могућност утицаја на правац кретања транспортне траке	$DP_{211131}$	Ролна за вођење транспортне траке
$FR_{211132}$	Фино подешавање правца кретања транспортне траке	$DP_{211132}$	Навојни пар за регулацију положаја превојне ролне

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.38).

$$\begin{Bmatrix} FR_{211131} \\ FR_{211132} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{211131} \\ DP_{211132} \end{Bmatrix} \quad (5.38)$$

*Опис конструктивних параметара*

$DP_{211131}$  - ролна за вођење транспортне траке - омогућава да се утиче на правац кретања транспортне траке.

$DP_{211132}$  - навојни пар за регулацију положаја превојне ролне - омогућава померање превојне ролне и на тај начин постиже одржавање правца кретања транспортне траке у уским оквирима.

**5.7.28 Декомпозиција  $FR_{21122}$  (пријем и предаја компензационе дужине тестане траке) и  $DP_{21122}$  (реверзибилни ход колица за компензацију)**

**Табела 5.28** Декомпозиција  $FR_{21122}$  и  $DP_{21122}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{211221}$	Пријем компензационе дужине тестане траке	$DP_{211221}$	Ход у назад колица за компензацију
$FR_{211222}$	Предаја компензационе дужине тестане траке	$DP_{211222}$	Ход у напред колица за компензацију

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.39).

$$\begin{Bmatrix} FR_{211221} \\ FR_{211222} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{211221} \\ DP_{211222} \end{Bmatrix} \quad (5.39)$$

*Опис конструктивних параметара*

DP<sub>211221</sub> - ход у назад колица за компензацију - омогућава да се у том периоду кретања део тестане траке који континуално дотиче, задржи на транспортној траци.

DP<sub>211222</sub> - ход у напред колица за компензацију - омогућава да се у том периоду кретања део тестане траке који је задржан, као и новонаилазећи део преда модулу за слојевање.

#### 5.7.29 Декомпозиција FR<sub>21212</sub> (спречавање проклизавања транспортне траке модула за слојевање) и DP<sub>21212</sub> (затезни уређај транспортне траке)

Табела 5.29 Декомпозиција FR<sub>21212</sub> и DP<sub>21212</sub>

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>212121</sub>	Могућност затезања транспортне траке	DP <sub>212121</sub>	Ролна за затезање транспортне траке
FR <sub>212122</sub>	Остваривање силе затезања	DP <sub>212122</sub>	Пнеуматски цилиндар
FR <sub>212123</sub>	Подешавање силе затезања	DP <sub>212123</sub>	Регулатор притиска

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.40).

$$\begin{Bmatrix} FR_{212121} \\ FR_{212122} \\ FR_{212123} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{212121} \\ DP_{212122} \\ DP_{212123} \end{Bmatrix} \quad (5.40)$$

*Опис конструктивних параметара*

Конструктивни параметри су исти као и код декомпозиције FR<sub>21112</sub> и DP<sub>21112</sub> па нема потребе за понављањем описа и објашњења.



**5.7.30 Декомпозиција  $FR_{21213}$  (одржавање правца кретања транспортне траке модула за слојевање) и  $DP_{21213}$  (уређај за вођење транспортне траке)**

**Табела 5.30** Декомпозиција  $FR_{21213}$  и  $DP_{21213}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{212131}$	Могућност утицаја на правац кретања транспортне траке	$DP_{212131}$	Ролна за вођење транспортне траке
$FR_{212132}$	Фино подешавање правца кретања транспортне траке	$DP_{212132}$	Навојни пар за регулацију положаја превојне ролне

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.41).

$$\begin{Bmatrix} FR_{212131} \\ FR_{212132} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{212131} \\ DP_{212132} \end{Bmatrix} \quad (5.41)$$

*Опис конструктивних параметара*

Конструктивни параметри су исти као и код декомпозиције  $FR_{21113}$  и  $DP_{21113}$  па нема потребе за понављањем описа и објашњења.

**5.7.31 Декомпозиција  $FR_{21222}$  (формирање двоструког тестаног слоја) и  $DP_{21222}$  (реверзибилни ход колица за слојевање)**

**Табела 5.31** Декомпозиција  $FR_{21222}$  и  $DP_{21222}$

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
$FR_{212221}$	Први корак при формирању тестаног слоја	$DP_{212221}$	Ход уназад колица за слојевање
$FR_{212222}$	Други корак при формирању тестаног слоја	$DP_{212222}$	Ход унапред колица за слојевање

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.42).

$$\begin{Bmatrix} FR_{212221} \\ FR_{212222} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{212221} \\ DP_{212222} \end{Bmatrix} \quad (5.42)$$

*Опис конструктивних параметара*

DP<sub>212221</sub> - ход у назад колица за слојевање - испуњава функционални захтев FR<sub>212221</sub> - први корак при формирању тестаног слоја, уз поштовање свих ограничења и захтева вишег нивоа и формира први слој тестане траке на излазном транспортеру.

DP<sub>212222</sub> - ход у напред колица за слојевање - испуњава функционални захтев FR<sub>212222</sub> - други корак при формирању тестаног слоја и омогућава формирање преклапајућег слоја тестане траке.

**5.7.32 Декомпозиција FR<sub>21343</sub> (остваривање секвенцијалног кретања погонских ваљака транспортне траке за слојевање) и DP<sub>21343</sub> (подсклоп секвенцијалног кретања погонских ваљака)**

**Табела 5.32** Декомпозиција FR<sub>21343</sub> и DP<sub>21343</sub>

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>213431</sub>	Могућност прекида обртања погонских ваљака транспортне траке модула за слојевање	DP <sub>213431</sub>	Једносмерна спојница
FR <sub>213432</sub>	Осигурање прекида обртања погонских ваљака транспортне траке модула за слојевање	DP <sub>213432</sub>	Електромагнетна кочница

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.43).

$$\begin{Bmatrix} FR_{213431} \\ FR_{213432} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{213431} \\ DP_{213432} \end{Bmatrix} \quad (5.43)$$

*Опис конструктивних параметара*

DP<sub>213431</sub> - једносмерна спојница - омогућава да се прекине пренос обртног момента односно заустави обртање погонских ваљака транспортне траке модула за слојевање у периоду када је у току ход у назад колица за слојевање.

DP<sub>213432</sub> - електромагнетна кочница - остварује практично тренутно осигурање прекида обртања погонских ваљака и на тај начин омогућава правилно слојевање. Без њене употребе могло би се покренути погонски ваљци услед трансляторног кретања колица за слојевање и повећаног трења на превојним ролнама.

**5.7.33 Декомпозиција FR<sub>21353</sub> (остваривање синхронизације кретања колица за компензацију и слојевање) и DP<sub>21353</sub> (подсклоп синхронизације кретања колица за компензацију и слојевање)**

**Табела 5.33** Декомпозиција FR<sub>21353</sub> и DP<sub>21353</sub>

Функционални захтеви (FRs)		Конструктивни параметри (DPs)	
FR <sub>213531</sub>	Остваривање истовремених кретања колица за компензацију и слојевање	DP <sub>213531</sub>	Заједничко вратило са зупчаницима за спрегу са зупчастим летвама
FR <sub>213532</sub>	Детекција крајњих положаја реверзибилних кретања	DP <sub>213532</sub>	Индуктивни давачи крајњих положаја реверзибилних кретања
FR <sub>213533</sub>	Могућност брзе промене смера реверзибилних кретања	DP <sub>213533</sub>	Подсклоп разделник снаге-електромагнетне спојнице

За наведене функционалне захтеве и конструктивне параметре пројектна једначина исказана је према (5.44).

$$\begin{Bmatrix} FR_{213531} \\ FR_{213532} \\ FR_{213533} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{213531} \\ DP_{213532} \\ DP_{213533} \end{Bmatrix} \quad (5.44)$$

*Опис конструктивних параметара*

DP<sub>213531</sub> - заједничко вратило са зупчаницима за спрегу са зупчастим летвама - омогућава да се остваре истовремена кретања истог смера, колица за компензацију и колица за слојевање.

DP<sub>213532</sub> - индуктивни давачи крајњих положаја реверзибилних кретања - региструју крајње положаје колица за компензацију и слојевање и омогућују

укључење и искључење електромагнетних спојница, а тиме и промену смера кретања

DP<sub>213533</sub> - подсклоп разделник снаге - електромагнетне спојнице - омогућује да се брзо промени смер обртања и остваре сва потребна кретања у жељеном смеру, тако што су електромагнетне спојнице постављене на оба излазна вратила разделника снаге супротних смерова обртања. Активирањем једне или друге електромагнетне спојнице остварује се потребан смер обртања елемената погонског модула.

#### ***5.7.34 Формирање пројектне матрице за Концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање***

Пратећи начела аксиоматског пројектовања, за постављени функционални захтев FR - остваривање слојевања тестане траке код ламинатора и пројектног - конструктивног параметра DP - уређај за слојевање тестане траке код ламинатора, урађена је пирамидална структура, степенованом декомпозицијом почевши од највишег структурног нивоа, па до најнижег – елементарног нивоа.

Декомпозиција је у појединим гранама изведена са 6 нивоа. Најнижим нивоом се дошло до конструктивних параметара који се даље не могу рашчланити. Тиме су остварена оптимална појединачна конструктивна решења реверзибилног механизма ламинатора. На сваком од различитих хијерархијских нивоа дефинисана је пројектна матрица са одговарајућим једначинама и показано је како се оне формирају решавају и даље рашчлањују.

Прилог 3 садржи комплетну структуру са дефинисаним гранањима и међусобном повезаношћу параметара.

Прилог 4 садржи пројектну матрицу хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање. Ово је и кључни склоп неопходан за слојевање тестане траке, па чињеница да је ова матрица у потпуности и прецизно показала да не постоје утицаји који доводе настанка повезаног пројекта – решења (coupled design), потврђује применљивост и ефикасност аксиоматског пројектовања у поставци нових структура механизма.

## **6 САД МОДЕЛИРАЊЕ РЕВЕРЗИБИЛНОГ МЕХАНИЗМА ПРЕМА РЕЗУЛТАТИМА АКСИОМАТСКОГ ПРОЈЕКТОВАЊА**

Поступком аксиоматског пројектовања, датом у претходном поглављу, успостављени су оптимални елементи реверзибилног механизма ламинатора које је неопходно интегрисати у постојећи концепт вертикалног ламинатора. Применом 3D моделирања рађеног у софтверском пакету *Solid Works* поред просторне, обликовне и димензионе дефиниције елемената и склопова реверзибилног механизма извешће се и функционална провера кретања, синхронизација брзина, контрола крајњих положаја и провера кохерентности модела са пројектним концептуалним решењем. Пре тога потребно је представити прорачун основних кинематичких параметара ламинатора јер синхронизација брзине континуалне тестане траке кроз све склопове ламинатора је суштински важна за правилно остваривање слојевања тестане траке.

### **6.1 Прорачун кинематичких параметара ламинатора**

Приликом избора свих кинематичких величина главних склопова ламинатора мора се поћи од одређених технолошких и пројектних услова које мора да задовољи комплетна аутоматска линија за тврди кекс и крекер пројектована у Институту за механику машина, а то су:

- просечан рачунски капацитет пећи  $Q_R$   
 $Q_R = 1200 \text{ kg/h}$  печеног кекса
- радна ширина линије  $B$   
 $B = 1200 \text{ mm}$
- ширина тестане траке кроз ламинатор  $B_L$   
 $B_L = 900 \text{ mm}$

- опсег времена печења  
од 5 до 15 min
- дужина пећи L  
L = 66 m.

Да би се остварио рачунски капацитет  $Q_R=1200 \text{ kg/h}$ , кроз ламинатор треба да се оствари проток  $Q_T$  тестане траке.

Рачунски капацитет треба да се повећа за 17%, што одговара смањивању масе теста услед одузимања влаге приликом печења. као и за 25%, услед одвајања тестане мреже приликом формирања коначног облика кекса пре печења, јер се тестана мрежа повратним транспортером враћа у пријемни кош ламинатора.

$$Q_T=1,25 \cdot 1,17 \cdot Q_R = 1,25 \cdot 1,17 \cdot 1200 \text{ kg/h} = 1755 \text{ kg/h}$$

Густина теста приближно је једнака  $1 \text{ kg /dm}^3$ , тако да су ово уједно и запремински протоци.

Прорачун је вршен за технолошки утврђено време печења од 7 минута, за већину готових производа, међутим, како је опсег времена печења од 5 до 15 минута, на основу крајњих времена и дужине пећи, односно крајњих брзина транспортера кроз пећ, могу се одредити протоци за време од 5 до 15 минута, а на основу њих и минималне и максималне обимне брзине и бројеви обртаја елемената ламинатора.

- брзина транспортера кроз пећ

$$V_{(\text{за } t=7 \text{ min})} = L/t = 66/7 = 9,428 \text{ m/min}$$

$$V_{(\text{за } t=5 \text{ min})} = L/t = 66/5 = 13,2 \text{ m/min}$$

$$V_{(\text{за } t=15 \text{ min})} = L/t = 66/15 = 4,4 \text{ m/min}$$

$h_3 = 3 \text{ mm}$  - дебљина тестане траке на трећим ваљцима за глачање - технолошки утврђен параметар

Из једнакости протока тестане траке кроз ламинатор и пред пећ добијамо:

$$Q_{T(\text{кроз ваљке I ламинатора})} = Q_{T(\text{кроз III ваљке за глачање})}$$

$$V \cdot B_L \cdot \delta_1 = V_{(\text{за } t=5 \text{ min})} \cdot B \cdot h_3$$

$$V \cdot 0,9 \cdot 0,02 = 13,2 \cdot 1,2 \cdot 0,003$$

$V = 2,64 \text{ m/min}$  - обимна брзина ожљебљених ваљака I за време печења од 5 минута.

$$V \cdot B_L \cdot \delta_1 = V_{(\text{за } t=15 \text{ min})} \cdot B \cdot h_3$$

$$V \cdot 0,9 \cdot 0,02 = 4,4 \cdot 1,2 \cdot 0,003$$

$V = 0,88 \text{ m/min}$  - обимна брзина ожљебљених ваљака I за време печења од 15 минута.

Екстремне вредности брзина и бројева обртаја елемената ламиатора биће у даљем току прорачуна дате у загради, јер се одређују на исти начин како је већ показано.

*6.1.1. Одређивање кинематичких параметара ваљака за калибрацију*

Израз за запремински проток:

$$Q = V \cdot A \text{ (dm}^3\text{/h)}$$

где је  $V$  брзина протицања, а  $A$  попречни пресек, можемо написати у облику:

$$Q_T = V \cdot B_L \cdot \delta \dots\dots\dots(6.1)$$

где је  $V$  обимна брзина ваљака,  $B_L$  ширина ваљака, а  $\delta$  технолошки утврђен параметар, растојање између ваљака. Из израза (6.1) можемо одредити обимну брзину

$$V = \frac{Q_T}{B_L \cdot \delta} \dots\dots\dots (6.2)$$

такође обимна брзина  $V$  може се написати као:

$$V = n \cdot D \cdot \pi \dots\dots\dots(6.3)$$

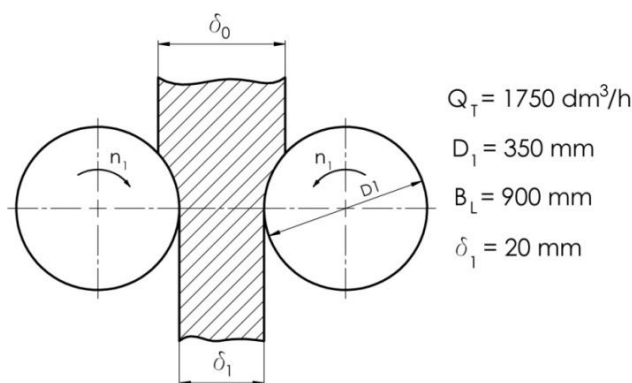
Из израза (6.3) добијамо број обртаја ваљака:

$$n = \frac{V}{D \cdot \pi} \dots\dots\dots(6.4)$$

где је  $D$  пречник ваљка.

Заменом вредности у (6.2) и (6.4) добијамо:

За **ожљебљене ваљке I** ( види слику 6.1)

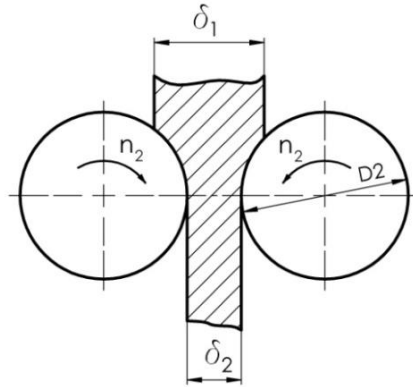


Слика 6.1 Шематски приказ ожљебљених ваљака I и карактеристичне вредности

$$V_1 = \frac{1750}{9 \cdot 0,2} = 972,22 \frac{dm}{h} = 1,62 (2,64 - 0,88) m/min$$

$$n_1 = \frac{1,62}{0,35 \cdot \pi} = 1,473 (2,4 - 0,8) min^{-1}$$

За ваљке за калибрацију II (види слику 6.2)



$$Q_T = 1750 \text{ dm}^3/h$$

$$D_2 = 215 \text{ mm}$$

$$B_L = 900 \text{ mm}$$

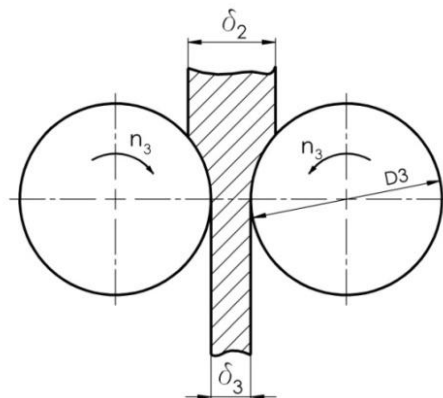
$$\delta_2 = 12 \text{ mm}$$

Слика 6.2 Шематски приказ ваљака за калибрацију II и карактеристичне вредности

$$V_2 = \frac{Q_T}{B_L \cdot \delta_2} = \frac{1750}{9 \cdot 0,12} = 1620,37 \frac{dm}{h} = 2,701 (4,4 - 1,47) m/min$$

$$n_2 = \frac{V_2}{D_2 \cdot \pi} = \frac{2,701}{0,215 \cdot \pi} = 3,988 (6,52 - 2,17) min^{-1}$$

За ваљке за калибрацију III (види слику 6.3)



$$Q_T = 1750 \text{ dm}^3/h$$

$$D_3 = 215 \text{ mm}$$

$$B_L = 900 \text{ mm}$$

$$\delta_3 = 6,8 \text{ mm}$$

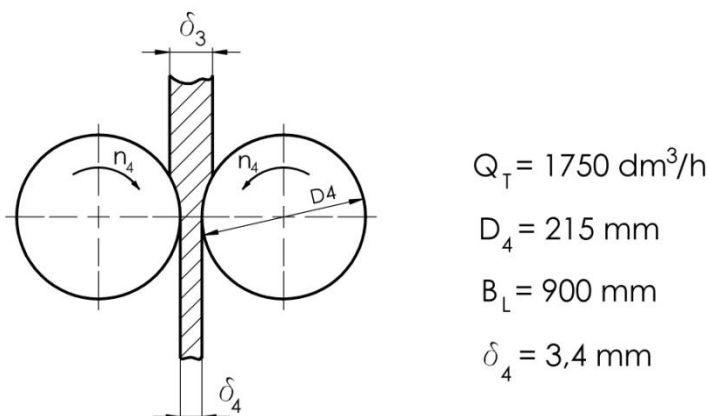
Слика 6.3 Шематски приказ ваљака за калибрацију III и карактеристичне вредности

$$V_3 = \frac{Q_T}{B_L \cdot \delta_3} = \frac{1750}{9 \cdot 0,068} = 2859,48 \frac{dm}{h} = 4,766 (7,76 - 2,58) m/min$$

$$n_3 = \frac{V_3}{D_3 \cdot \pi} = \frac{4,766}{0,215 \cdot \pi} = 7,056 (11,49 - 3,83) min^{-1}$$



За ваљке за завршну калибрацију IV (види слику 6.4)



Слика 6.4 Шематски приказ ваљака за завршну калибрацију IV и карактеристичне вредности

$$V_4 = \frac{Q_T}{B_L \cdot \delta_4} = \frac{1750}{9 \cdot 0,034} = 5718,95 \text{ dm/h} = 9,532 (15,53 - 5,88) \text{ m/min}$$

$$n_4 = \frac{V_4}{D_4 \cdot \pi} = \frac{9,532}{0,215 \cdot \pi} = 14,112 (22,99 - 7,66) \text{ min}^{-1}.$$

#### 6.1.2. Одређивање броја обртаја ваљчастих транспортера

При израчунавању бројева обртаја ролни ваљчастог транспортера полази се од једнакости обимних брзина, што је услов континуалног тока тестане траке, па тако ролна ваљчастог транспортера  $R_1$  мора имати обимну брзину једнаку  $V_2$ , ролна ваљчастог транспортера  $R_2$  обимну брзину  $V_3$ , а ролна ваљчастог транспортера  $R_3$  обимну брзину  $V_4$ .

За ваљчасти транспортер  $R_1$  добијамо:

$$n_{R_1} = \frac{V_{R_1}}{d_{R_1} \cdot \pi} = \frac{2,701}{0,05 \cdot \pi} = 17,195 (28,01 - 9,36) \text{ min}^{-1}$$

За ваљчасти транспортер  $R_2$  добијамо:

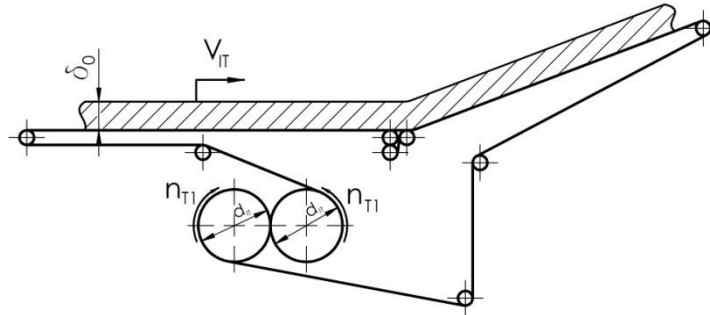
$$n_{R_2} = \frac{V_{R_2}}{d_{R_2} \cdot \pi} = \frac{4,766}{0,05 \cdot \pi} = 30,341 (49,40 - 16,52) \text{ min}^{-1}$$

За ваљчасти транспортер  $R_3$  добијамо:

$$n_{R_3} = \frac{V_{R_3}}{d_{R_3} \cdot \pi} = \frac{9,532}{0,05 \cdot \pi} = 60,682 (98,87 - 32,98) \text{ min}^{-1}$$

## 6.1.3. Одређивање кинематичких параметара излазног транспортера

Обимну брзину и број обртаја излазног транспортера одређујемо на основу протока и броја ламината (види слику 6.5).



Слика 6.5 Шематски приказ излазног транспортера

$$d_{IT} = 215 \text{ mm} \quad \delta_4 = 3,4 \text{ mm}$$

$$B = 1200 \text{ mm} \quad Q_T = 1750 \text{ dm}^3/h$$

$$N = 8 \text{ Laminacija}$$

$$h_o = N \cdot \delta_4 = 8 \cdot 3,4 = 27,2 \text{ mm}$$

Брзина траке излазног транспортера:

$$V_{IT} = \frac{Q_T}{h_o \cdot B} = \frac{1750}{0,272 \cdot 12} = 536,15 \text{ dm}/h = 0,89 (1,46 - 0,485) \text{ m}/min$$

Број обртаја погонских ваљака излазног транспортера:

$$n_{IT} = \frac{V_o}{d_T \cdot \pi} = \frac{0,89}{0,215 \cdot \pi} = 1,323 (2,16 - 0,72) \text{ min}^{-1}$$

## 6.1.4. Одређивање кинематичких параметара реверзибилног механизма

Брзина трака горњих и доњих колица, како је већ објашњено, мора бити једнака обимној брзини ваљака за завршну калибрацију IV, односно двострукој обимној брзини, па из тих услова одређујемо потребне бројеве обртаја погонских ваљака (слика 6.6).

$$d_{PV_1} = 210 + 2\delta_{Trake} \quad Z_1 = 23 \quad m = 5$$

$$\delta_{Trake} = 1,5 \text{ mm} \quad Z_2 = 46$$

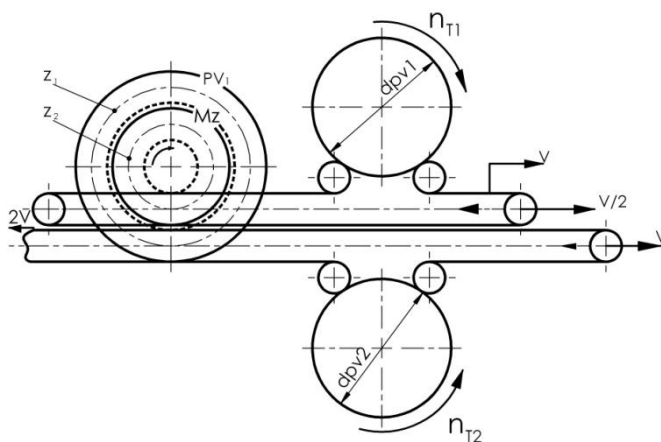
$$d_{PV_1} = 213 \text{ mm} = d_{PV_2} \quad V = V_4 = 9,532 \text{ m}/min$$

$$n_{PV_1} = \frac{V}{d_{PV_1} \cdot \pi} = \frac{9,532}{0,213 \cdot \pi} = 14,25 \text{ (23,208 - 8,78) } ^\circ/\text{min}$$

$$n_{PV_2} = \frac{2V}{d_{PV_2} \cdot \pi} = \frac{2 \cdot 9,532}{0,213 \cdot \pi} = 28,5 \text{ (46,42 - 17,57) } ^\circ/\text{min}$$

Број обртаја вратила са зупчаницима одређујемо из услова да брзина translације мора бити  $V/2$ , односно  $V$ .

$$n_z = \frac{V}{Z_2 \cdot m \cdot \pi} = \frac{9,532}{46 \cdot 0,005 \cdot \pi} = 13,19 \text{ (21,49 - 8,14) } \text{min}^{-1}$$



Слика 6.6 Шематски приказ погонских ваљака колица за компензацију и слојевање и заједничког вратила са зупчаницима за спрегу са зупчастим летвама

#### 6.1.5. Одређивање броја ламината

Максималан број ламината одређује дебљина тестане траке која се може безбедно слојевати. Ако усвојимо  $N_{\max} = 14$  ламината, дебљина тестане траке је:

$$\delta_4 = \frac{h_o}{N_{\max}} = \frac{27,2}{14} = 1,94 \text{ mm}$$

а из услова да је обимна брзина ваљака за завршну калибрацију IV једнака брзини translације доњих колица, добијамо:

$$V = V_4 = \frac{Q_T}{B_L \cdot \delta_4} = \frac{1750}{9 \cdot 0,0194} = 10022,9 \text{ dm/h} = 16,7 \text{ m/min}$$

Односно

$$n_z = \frac{V}{Z_2 \cdot m \cdot \pi} = \frac{16,7}{46 \cdot 0,005 \cdot \pi} = 23,12 \text{ min}^{-1}.$$

Овај број обртаја се налази између екстремних вредности броја обртаја у табели за погон реверзибилног механизма (прилог 5), па је тиме потврђен  $N=14$  као максимални број ламината.

Минимални број ламината  $N_{min.} = 4$ , па је:

$$\delta_4 = \frac{h_o}{N_{min.}} = \frac{27,2}{4} = 6,8 \text{ mm}$$

$$V = V_4 = \frac{1750}{9 \cdot 0,068} = 2859,48 \text{ dm/h} = 4,76 \text{ m/min}$$
 и

$$n_z = \frac{4,76}{46 \cdot 0,005 \cdot \pi} = 6,6 \text{ min}^{-1}.$$

У истој табели (прилог 5) израчунати број обртаја налази се између екстремних вредности, што потврђује  $N = 4$  за минимални број ламината.

Комплетна кинематичка шема ламиатора, са усвојеним моторредукторима, разделницима и усвојеним погонским механизмима дата је као прилог 5.

**Основни погон** остварује обртање ваљка тестане мреже, ожљебљених ваљака I, ваљака за калибрацију II и ваљчастог транспортера  $R_1$ . Састоји се од моторредуктора, телескопског карданског вратила и специјалних пужних редуктора који омогућују да ваљци за калибрацију II добијају погон, а да се врши и потребна промена растојања између ваљака. Специјални пужни редуктори се састоје од десног и левог пужног пара, који су спојени ожљебљеним вратилом, и паралелно са њим постављеном вођицом, тако да је омогућено примицање и одмицање пужних парова уз истовремену предају погона ваљцима. Обртање се ланчастим преносом доводи до ожљебљених ваљака I, ваљка тестане мреже и ваљчастог транспортера  $R_1$ .

**Погон ваљака за калибрацију III** садржи моторредуктор, телескопско карданско вратило и специјалне пужне редукторе.

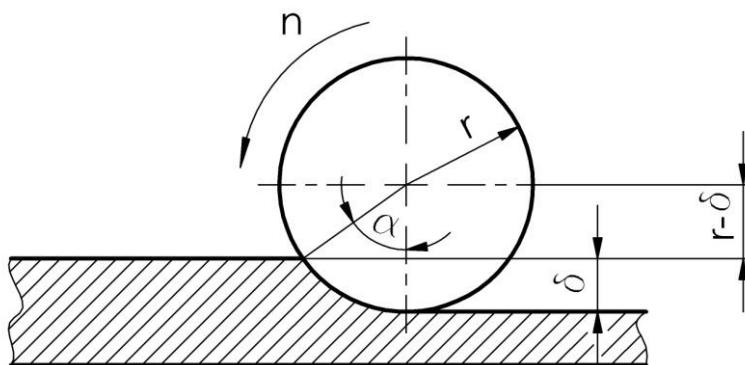
**Погон ваљака за завршну калибрацију IV** такође садржи моторредуктор, телескопско карданско вратило и специјалне пужне редукторе.

**Погон излазног транспортера** се састоји од моторредуктора, ланчастог преноса, пужног редуктора и зупчаника за спрегу са зупчаником погонског ваљка излазног транспортера.

**Погон реверзибилног механизма** добијен на основу методе аксиоматског пројектовања, састоји се од моторедуктора, разделника, карданског вратила, еластичне спојнице, специјалног погонског склопа, ланчастих преноса, спреге зупчаника и зупчастих летви као и електромагнетне кочнице. Сви ови елементи погона реверзибилног механизма пројектовани су тако да потпуно остваре захтевана кретања колица за компензацију и слојевање као и погон припадајућих транспортних трака.

## 6.2 Прорачун снаге ваљака

Смањивање дебљине постижемо проласком тестане траке између ваљака који се обрћу одређеном угаоном брзином. За одређивање снаге ваљака посматраћемо котрљање ваљака по тестаној траци (слика 6.7).



Слика 6.7 Котрљање ваљка по тестаној траци

Отпор котрљања ваљака:

$$R = F_V \cdot f$$

где је

$F_V$  - сила притиска ваљка на тесто и

$f$  - коефицијент отпора котрљања (0,15-0,3), усвојено  $f = 0,3$ .

$$F_V = p \cdot B \cdot r \cdot \sin \alpha$$

где је

$p = 3 \text{ daN/cm}^2 = 30\,000 \text{ daN/m}^2$  - отпор гњечења теста,

$\alpha$  - хватни угао теста и ваљка

$$\alpha = \arccos \frac{r-\delta}{r},$$

$B = B_L = 900 \text{ mm}$  - ширина ваљака.

Моменат потребан за савлађивање отпора котрљања:

$$M = R \cdot r = F_B \cdot f \cdot r = p \cdot B \cdot r \cdot \sin \alpha \cdot f \cdot r = p \cdot B \cdot f \cdot r^2 \sin \alpha.$$

Снага ваљања

$$P = M \cdot \omega = M \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} - \text{угаона брзина}$$

### Први пар ваљака

$$\delta_0 = 30 \text{ mm}$$

$$\delta_1 = 20 \text{ mm}$$

$$D = 350 \text{ mm}$$

$$\delta = \delta_0/2 - \delta_1/2 = 15 - 10 = 5 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = \frac{175 - 5}{17} = 0,971$$

$$\sin \alpha = 0,237$$

$$M_1 = p \cdot B_L \cdot r^2 \cdot f \cdot \sin \alpha = 30.000 \cdot 0,9 \cdot 0,175^2 \cdot 0,3 \cdot 0,237 = 58,79 \text{ daNm}$$

$$P_1 = M_1 \cdot \frac{\pi \cdot n_{1max}}{30} = 587,9 \cdot \frac{\pi \cdot 2,4}{30} = 147,75 \text{ W} = 0,148 \text{ KW}$$

Укупна снага

$$P_{1U} = 2P_1 = 0,296 \text{ KW}$$

### Други пар ваљака

$$\delta_1 = 20 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 12 \text{ mm}$$

$$d = 215 \text{ mm}$$

$$\delta = \delta_1/2 - \delta_2/2 = 10 - 6 = 4 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = \frac{107,5 - 4}{107,5} = 0,9627$$

$$\sin \alpha = 0,27$$

$$M_2 = p \cdot B_L \cdot r^2 \cdot f \cdot \sin \alpha = 30.000 \cdot 0,9 \cdot 0,1075^2 \cdot 0,3 \cdot 0,27 = 25,29 \text{ daNm}$$

$$P_2 = M_2 \cdot \frac{\pi \cdot n_{2max}}{30} = 252,96 \cdot \frac{\pi \cdot 6,51}{30} = 172,45 \text{ W} = 0,172 \text{ KW}$$

Укупна снага

$$P_{2U} = 2P_2 = 0,344 \text{ KW}$$

### **Трећи пар ваљака**

$$\delta_2 = 12 \text{ mm}$$

$$\delta_3 = 6,8 \text{ mm}$$

$$d = 215 \text{ mm}$$

$$\delta = \delta_2/2 - \delta_3/2 = 6 - 3,4 = 2,6 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = \frac{107,5 - 2,6}{107,5} = 0,9758$$

$$\sin \alpha = 0,218$$

$$M_3 = p \cdot B_L \cdot r^2 \cdot f \cdot \sin \alpha = 30.000 \cdot 0,9 \cdot 0,1075^2 \cdot 0,3 \cdot 0,21 = 20,41 \text{ daNm}$$

$$P_3 = M_3 \cdot \frac{\pi \cdot n_{3max}}{30} = 204,1 \cdot \frac{\pi \cdot 11,49}{30} = 245,58 \text{ W} = 0,246 \text{ KW}$$

Укупна снага

$$P_{3U} = 2P_3 = 0,492 \text{ KW}$$

### **Четврти пар ваљака**

$$\delta_3 = 6,8 \text{ mm}$$

$$\delta_4 = 3,4 \text{ mm}$$

$$d = 215 \text{ mm}$$

$$\delta = \delta_3/2 - \delta_4/2 = 3,4 - 1,7 = 1,7 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = \frac{107,5 - 1,7}{107,5} = 0,985$$

$$\sin \alpha = 0,177$$

$$M_4 = p \cdot B_L \cdot r^2 \cdot f \cdot \sin \alpha = 30.000 \cdot 0,9 \cdot 0,1075^2 \cdot 0,3 \cdot 0,17 = 16,57 \text{ daNm}$$

$$P_4 = M_4 \cdot \frac{\pi \cdot n_{4max}}{30} = 165,7 \cdot \frac{\pi \cdot 22,99}{30} = 398,92 \text{ W} = 0,398 \text{ KW}$$

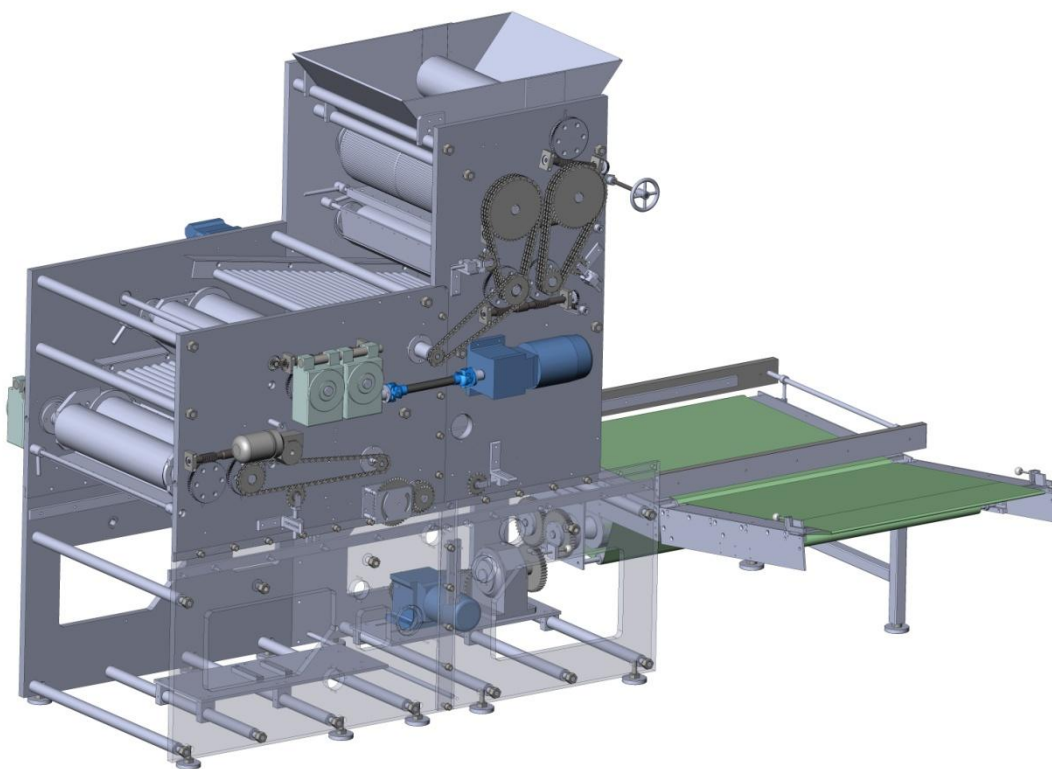
Укупна снага

$$P_{4U} = 2P_4 = 0,796 \text{ KW}$$

Сваку од срачунатих снага ваљања неопходно је увећати због губитака у преносу снаге код помоћних механизма, могућности рада у три смене у дужем

временском периоду линије за производњу тврдог кекса и крекера, као и у циљу повећања поузданости. Такође посебно је важно, према [31], да се при пројектовању усклади погонска карактеристика мотора и карактеристика потребног погонског момента како би избор мотора био најадекватнији, о чему се и водило рачуна.

### 6.3 3D приказ реверзибилног механизма код ламинатора



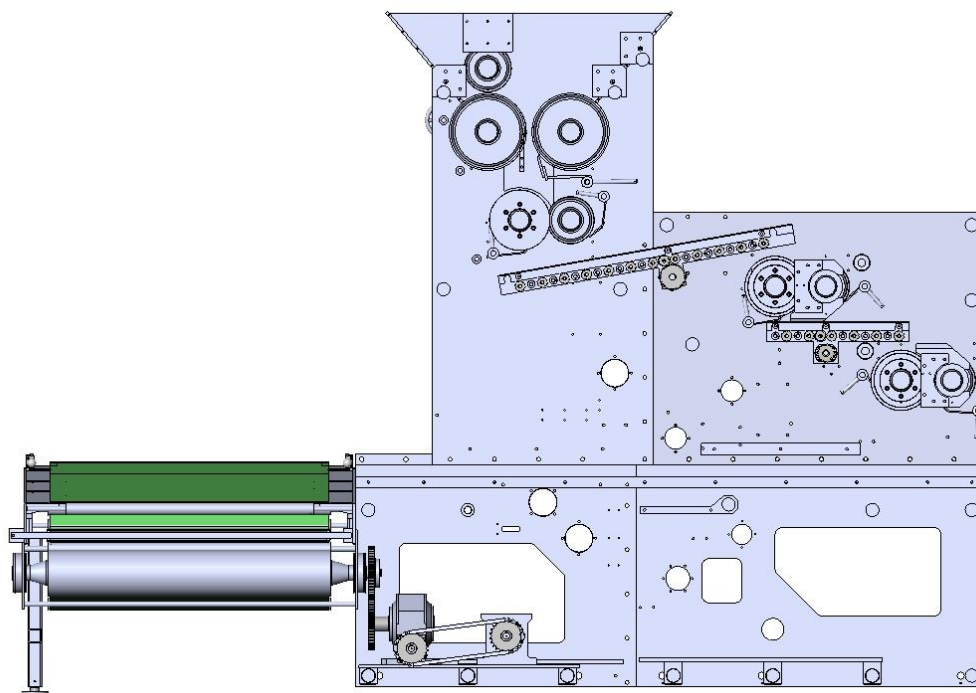
Слика 6.8 Просторни изглед ламинатора без реверзибилног механизма

Како би се сагледао простор у који треба интегрисати комплетан новопроектовани реверзибилни механизам и његов погонски модул на сликама 6.8 и 6.9 приказани су просторни изглед ламинатора и његов уздужни пресек.

Висина на којој су у ламинатору смештени ваљци за завршну калибрацију износи  $h = 1425 \text{ mm}$  а висина хоризонталног дела излазног транспортера ламинатора износи  $h = 875 \text{ mm}$ . У том простору, омеђеном разликом ових висина умањеном за полупречник ваљака за завршну калибрацију  $r = 107.5 \text{ mm}$ , ширином и дужином

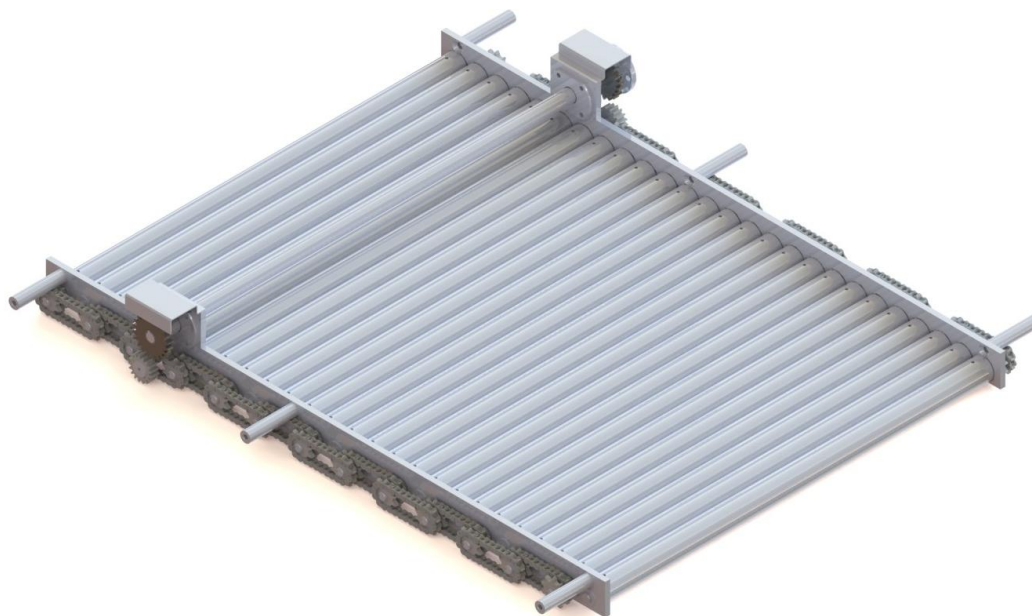


ламинатора, потребно је сместити ваљчасти транспортер и новоразвијени концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање.



Слика 6.9 Уздужни пресек кроз ламинатор без реверзибилног механизма

Изгледи ваљчастог транспортера, колица за компензацију и колица за слојевање дати су сликама 6.10, 6.11 и 6.12.



Слика 6.10 Просторни изглед ваљчастог транспортера



Слика 6.11 Просторни изглед колица за компензацију

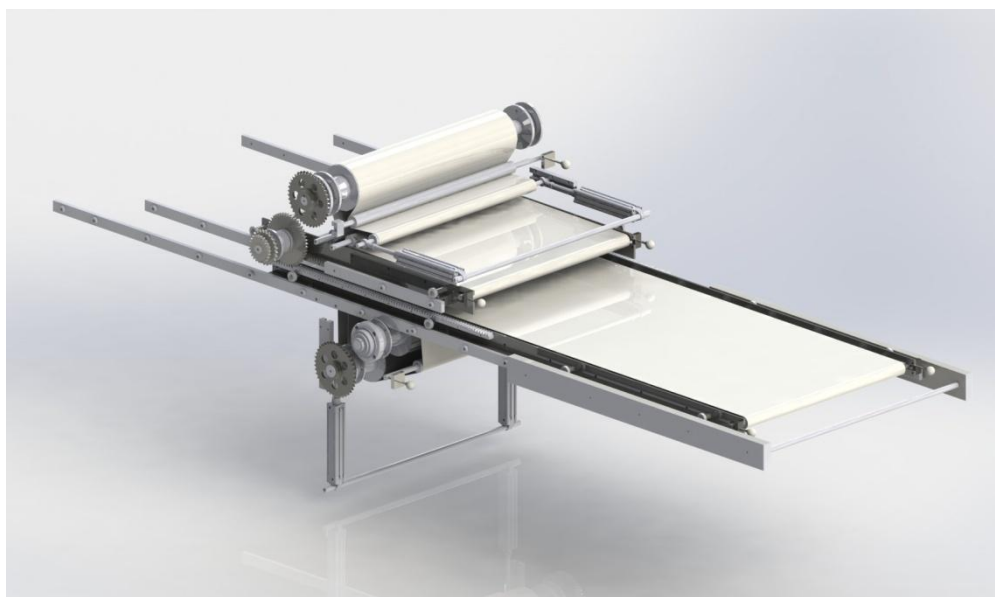


Слика 6.12 Просторни изглед колица за слојевање

Раније је већ напоменут значај постављања ваљчастог транспортера после финалне калибрације тестане траке а омогућавање њеног даљег преноса врши се транспортним тракама које обмотане преко погонских гумираних ваљака и преко превојних ролни колица за компензацију и колица за слојевање формирају модуле за компензацију и слојевање. На сликама 6.13 и 6.14 приказани су модули за компензацију и слојевање у крајњим положајима.



**Слика 6.13** Просторни изглед модула за компензацију и модула за слојевање, крајњи положаји хода у назад

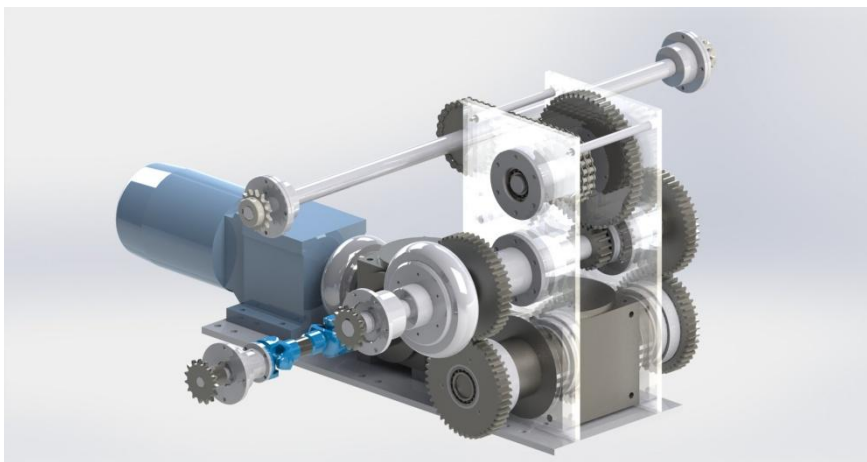


**Слика 6.14** Просторни изглед модула за компензацију и модула за слојевање, крајњи положаји хода у напред

Погонски модул реверзибилног механизма за слојевање, чији је основни део приказан на слици 6.15, обртно кретање улазног вратила остварено централним мото редуктором, коришћењем специјалног разделника, претвара у раздвојено двосмерно кретање од којих свако може засебно да буде активирано. То се изводи системом спрегнутих зупчаника и ланчастим преносом преко зупчаника и

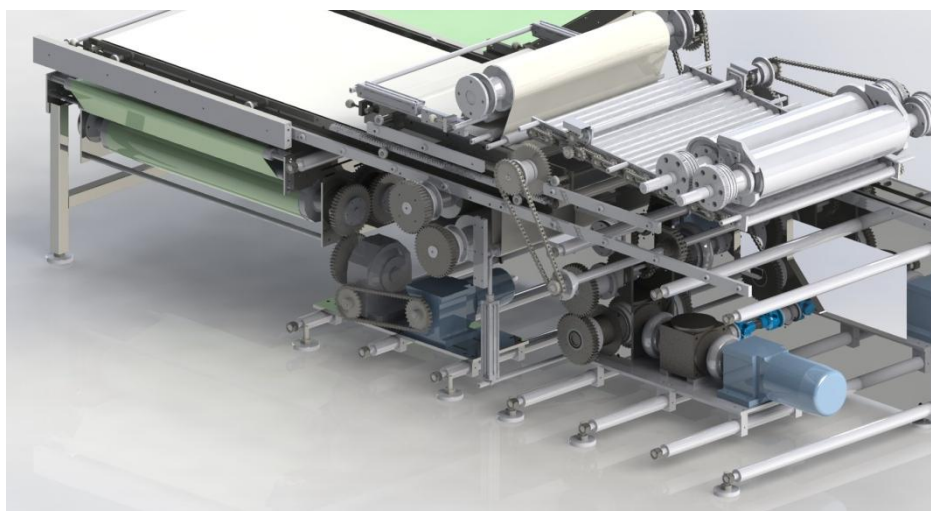
зупчасте летве чиме се остварује континуално реверзибилно кретање колица за компензацију и слојевање. Сви преносни односи структуре реверзибилног механизма тако су подешени да су задовољене функције кретања колица за компензацију и колица за слојевање, као и одговарајућих транспортних трака.

Промена смера кретања изводи се тако што је разделником омогућено да у сваком тренутку постоји на располагању обртно кретање и у једном и у другом смеру а према потреби електро магнетним спојницама укључује се одговарајући смер обртања који је у том тренутку потребан.



Слика 6.15 Основни подсклопови погонског модула

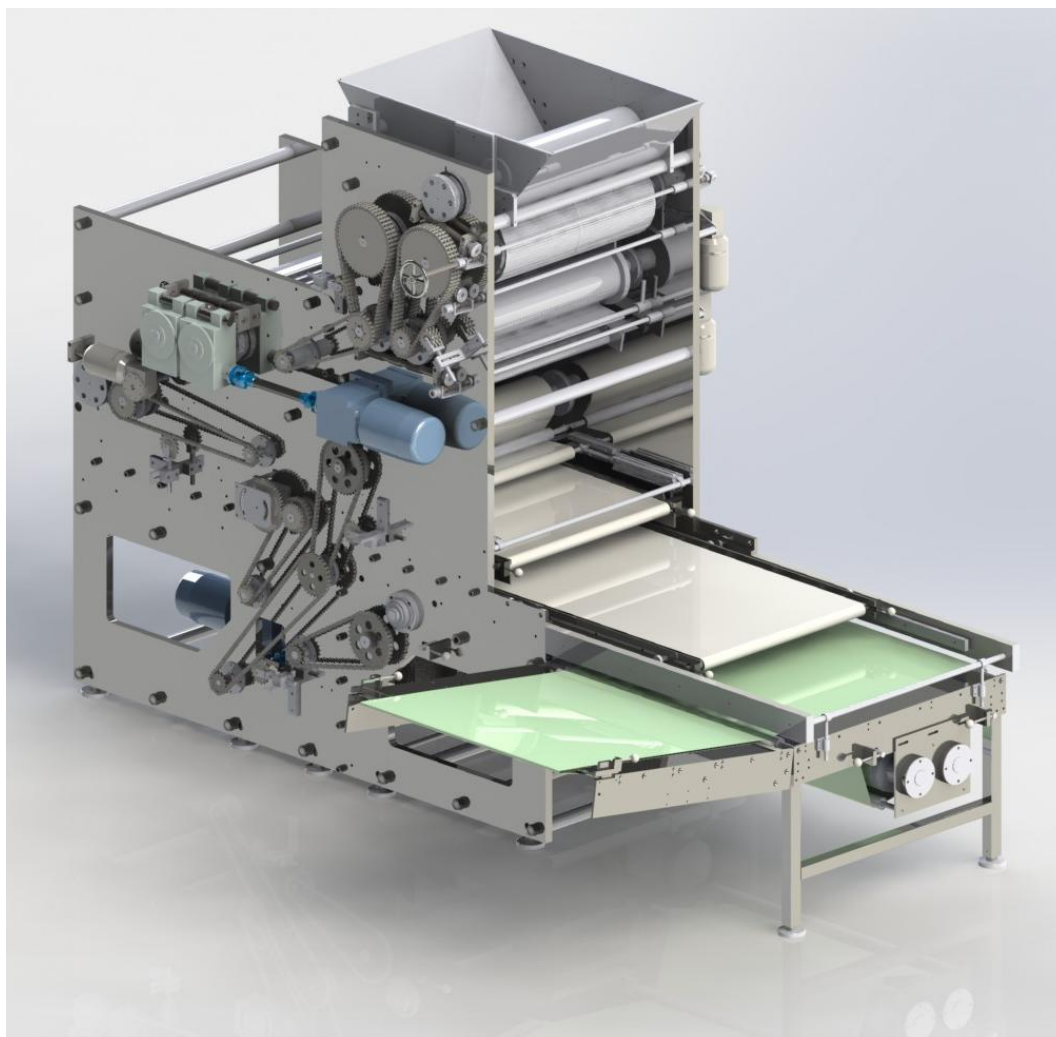
На слици 6.16 и 6.17 приказан је концепт хоризонталног реверзибилног механизма према резултатима аксиоматског пројектовања, интегрисаног у ламинатор MF1200, а на сликама 6.18 и 6.19 приказан је комплетан ламинатор.



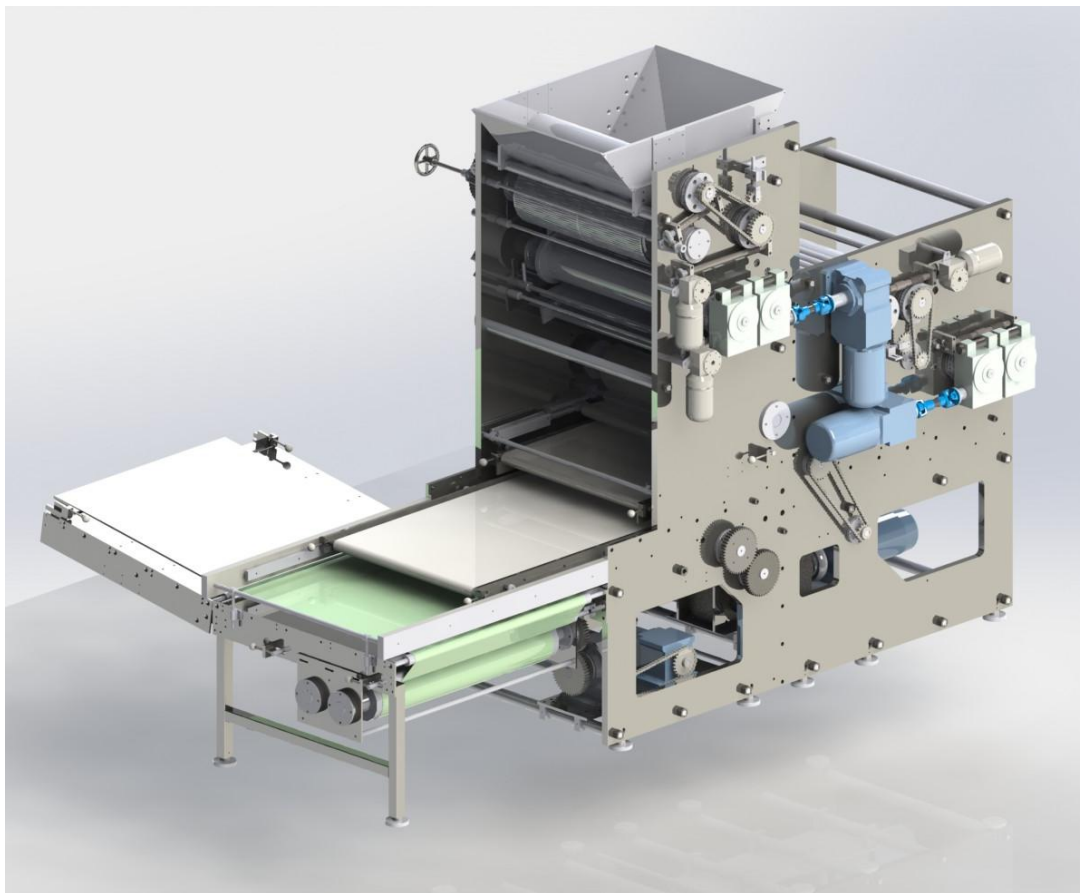
Слика 6.16 Просторни приказ 1 концепта хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање интегрисаног у ламинатор MF1200



Слика 6.17 Просторни приказ 2 концепта хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање интегрисаног у ламинатор MF1200



Слика 6.18 Просторни приказ 1 ламинатора MF1200



Слика 6.19 Просторни приказ 2 ламинатора MF1200

Методологијом 3D моделирања, у софтверском пакету *Solid Works*, сви конструктивни параметри реверзибилног механизма ламинатора успостављени аксиоматским пројектовањем, преточени су у реалне позиције, подсклопове и склопове са дефинисаним обликом, положајем, димензијом, међусобном спрегом и везивањем за носећу конструкцију. Постављени подсклопови и склопови реверзибилног механизма ламинатора, функционално су тестирани на моделу кроз проверу кретања, синхроност брзина, контролу крајњих положаја и верификацију кохерентности модела са пројектним концептуалним решењем.

Дефинисањем одговарајућег 3D модела структуре реверзибилног механизма омогућена је виртуална верификација његове функционалности, а према оригиналној радионичкој и склопној документацији израђено је прототипско решење реверзибилног механизма ламинатора дефинисане су просторне, обликовне и димензионе карактеристике

## **7. РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА ПРОТОТИПСКОГ РЕШЕЊА**

Испитивање новоразвијеног реверзибилног механизма ламинатора могуће је извести само интегрално, унутар ламинатора, јер оперативни параметри могу да се остваре само у реалним условима са протоком тестане траке која долази на улаз реверзибилног механизма и отиче на његовом излазу.

Елементарно функционисање реверзибилног механизма могуће је проверити независно од експлоатационих услова у смислу кинематских параметара и остварења пројектованог кретања.

На основу искустава током дугогодишњег истраживања спроведеног у сарадњи Центра за механику машина Машинског факултета Београд, и Института за кондиторску индустрију Русије, вођених у циљу освајања поступака и технологија у производњи тврдог кекса и крекера дефинисан је поступак испитивања током пробне производње аутоматских линија за тврди кекс и крекер у објекту корисника опреме.

Првенствени циљ програма испитивања новопројектованог реверзибилног механизма и његовог погонског склопа код ламинатора је утврђивање испуњености постављених функционалних захтева при коришћењу различитих сировина. Кључни недостатак ламинатора па и комплетне кондиторске опреме светских произвођача је непоуздан рад са сировинама различитих квалитета.

Овде се у првом реду мисли на квалитет брашна, јер је то ултимативна сировина која се локално набавља и квалитет јој се не може поправити на једноставан и економичан начин. Нерегуларан рад ламинатора огледа се у:

- Застојима, услед нагомилавања или кидања тестане траке
- Променљивом протоку тестане масе,

што за директну последицу има варирање и облика и димензија излазних комада кекса.

Да би се испитало побољшање остварено новопостављеним реверзибилним механизмом ламинатора постављен је програм који обухвата:

- А) Испитивање трајања застоја линије услед неправилног рада ламинатора, и
- Б) Испитивање броја интервенција на ламинатору ради обезбеђења континуалног протока тестане траке.

Тестирање ламинатора, односно уређаја за слојевање, су вршена у два наврата. Прва испитивања су рађена са сировинама, строго прописаних карактеристика, које је за исправан рад своје кондиторске опреме дефинисао произвођач Baker Perkins, док су током другог испитивања коришћене сировине доступне на локалном тржишту.

Испитивања су рађена истовремено на 4 различите линије за производњу тврдог кекса и крекера (линија 1000 Несрона, линија 1200 Baker Perkins, линија 800 Машински завод Кијев, линија MF1200).

За тестану масу са прописаним сировинама испитивање трајања застоја и броја интервенција на ламинатору рађено је у периоду од 10 сати рада. Регистровани су застоји настали због потребе да се заустави линија и да се отклоне проблеми узроковани нерегуларностима протока тестане траке (депозити и кидање) као и број интервенција на ламинатору ради одржавања континуалног протока тестане траке.

Добијени резултати приказани су у табели Т.7.1

Табела 7.1 Упоредни резултати времена застоја и броја интервенција при обради теста од сировина гарантованог квалитета

	Линија за производњу тврдог кекса	Време застоја		Број интервенција
		(min)	%	
1	Несрона 1000	7.5	1.25	13
2	Baker Perkins 1200	0	0	6
3	Кијевски машински завод 800	24	4	22
4	MF1200	3,5	0,58	8



Резултати ове врсте испитивања показују да ламинатори линије 1200 Baker Perkins и линије MF1200 имају знатно мање трајање застоја као и број интервенција за корекцију протока тестане масе. Дужи застоји и повећан број интервенција код друга два произвођача су у највећој мери последица примењеног концепта слојевања.

За тестану масу од сировина нижег квалитета, испитивања су обављена у 4 циклуса по 3 мерења, обављених на исти начин као у претходном случају рада аутоматских линија.

Добијени резултати приказани су у табелама Т.7.2 и Т.7.3

Табела 7.2 Упоредни резултати времена застоја при обради теста од сировина нижег квалитета

	Линија за производњу тврдог кекса	Време застоја (min)												Укупно време застоја (%)
		Циклуси испитивања												
		1			2			3			4			
		Број мерења у циклусу												
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Несрона 1000	48	42	52	51	58	61	55	62	57	28	35	42	8,21
2	Baker Perkins 1200	32	47	47	37	42	39	45	51	43	37	36	41	6,90
3	Кијевски машински завод 800	75	84	88	74	82	75	94	96	85	77	83	74	13,71
4	MF1200	33	37	41	28	32	25	35	36	30	34	33	31	5,48

Табела 7.3 Упоредни резултати броја интервенција при обради теста од сировина нижег квалитета

	Линија за производњу тврдог кекса	Број интервенција												Просечан број интервенција
		Циклуси испитивања												
		1			2			3			4			
		Број мерења у циклусу												
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Несрона 1000	18	19	18	21	22	24	20	22	21	18	16	19	19,83
2	Baker Perkins 1200	12	13	12	11	10	14	15	16	16	13	15	16	13,58
3	Кијевски машински завод 800	32	34	34	37	38	40	38	41	40	35	34	37	36,66
4	MF1200	10	11	10	9	10	11	12	14	13	12	12	13	11,42

Из табела Т.7.2 и Т.7.3 запажа се да повећан број застоја и интервенција код свих ламинатора услед коришћења тестане масе нижег квалитета.

Код ламинатора линије 1200 Baker Perkins и линије MF1200 застоји су се јављали при калибрацији тестане траке, када процес слојевања није ни започет, а манифестовао се у виду лепљења тестане траке на ваљцима за калибрацију, њеног гомилања и отежаног пролаза између њих. Међутим, након успостављеног протока кроз све ваљке ламинатора, у току процеса слојевања није долазило до појаве застоја.

Код ламинатора линије 1000 Несрона и линије 800 Машински завод Кијев, осим застоја у делу ламинатора за калибрацију тестане траке, застој се јављао и током проласка тестане траке кроз уређај за слојевање (тестана трака придржавана системом каишева, кретање при слојевању у вертикалном правцу у односу на излазни транспортер).

На основу увида у остварене резултате током мерења на више паралелних линија, уочава се да је време застоја због неопходних корекција на тестаној траци било најмање код ламинатора линије MF1200 са примењеним новопроектованим решењем реверзибилног механизма. У апсолутном смислу побољшање износи 23,68 часова на нивоу 12 радних дана а за рад у три смене. Овим су производни трошкови на линији за кекс MF1200 смањени за 8,2 %.

Потврђена је теза да новопроектовани реверзибилни механизам ламинатора и у условима где недостаје сталан, висок квалитет употребљених сировина, првенствено брашна, успева да се оствари континуално и униформно слојевање тестане траке.

Поред тога ваљчасти транспортер за „фалтање“ постављен после финалне калибрације тестане траке, а пред операцију слојевања, веома утиче на релаксацију и додатно смирује напоне у тестаној траци што умањује истезање и скупљање тестане траке, услед унетих напона.

Једини неспоран недостатак континуалног слојевања тестане траке, када се ради о реверзибилном кретању у хоризонталној равни, је неједнака густина слојеване тестане траке у зони преклопљених крајева која настаје због стварања петљи приликом промене смера слојевања. Овај недостатак се међутим решава тако што

се ти делови исецају и остају на повратној тестаној мрежи, која се враћа у кош ламинатора и правилно сједињује са свежом тестаном масом.

Заједничка испитивања Центра за механику машина Машинског факултета Београд и Института за кондиторску индустрију Русије обухватила су и органолептичка оцењивања готових производа. Поред облика, вредновао се изглед горње и доње површине кекса, изглед прелома, а са великим процентом утицаја на коначну оцену квалитета, вредновали су се и структура - текстура, жвакљивост и мирис – укус.

Показало се да финални производ има фину слојевиту структуру, једнако распоређену по целом попречном пресеку, иако употребљене сировине нису сталног високог квалитета. Такође димензије финалног производа остају у границама прихватљивим са становишта манипулације готовим производом после печења и хлађења у оквиру  $\pm 1\text{mm}$ . Наиме охлађени производ потребно је распоредити и усправити како би се операција машинског паковања успешно извела па зато димензије производа морају бити у прописаним границама.

Утврђена је постојаност облика, финални производ је раван а његово третирање током хлађења, распоређивања и усправљања не доводи до дробљења или лома. Констатује се да је проценат дробљеног или ломњеног кекса мањи од 1%.

Свеукупно може се констатовати да су пројектни захтеви, остварени кроз нови концепт реверзибилног механизма и његовог погона, у великој мери остварени код ламинатора кондиторске линије.

Тиме је показано да је метода аксиоматског пројектовања ефикасан алат у развоју нових механизма и њихове примене. Надаље добар синергијски ефекат у конструисању остварен је спрезањем резултата добијених аксиоматским пројектовањем са програмом за 3D моделирање и конструисање (Solid Works). Посебан допринос пројекту пружила је могућност Solid Works 3D пакета, да се након почетне фазе дефинисања елемената и склопова, испита функционално кретање, међусобна усаглашеност и цикличност свих спрегнутих механизма. На овај начин се са великом извесношћу успешног коначног решења могло приступити следећим фазама пројектовања.

## 8 ЗАКЉУЧАК

У докторској дисертацији под називом „Синтеза оптималне структуре реверзибилног механизма ламинатора применом аксиоматског пројектовања“ постављена је методологија за синтезу оптималне структуре реверзибилног механизма и развијено је апликативно решење. Дефинисањем одговарајућег 3D модела структуре механизма омогућена је виртуална верификација његове функционалности, да би се потом према оригиналној радионичкој и склопној документацији приступило изради прототипског решења, и кроз оперативно испитивање, доказала потпуна валидност постављеног решења реверзибилног механизма.

Допринос ове дисертације се огледа у следећем:

- Оригиналним научним приступом изведена је компарација постојећих решења за ламинирање тестане траке. Показано је која су примућства а који недостаци сваког појединачног решења.
- Увидом у патентну документацију светских произвођача дефинисан је “слободан патентни простор“ новог решења.
- Применом методе аксиоматског пројектовања постављена је корелација између функционалних захтева и конструктивних параметара.
- Синтетизовано је решење реверзибилног механизма који крајње ефикасно изводи ламинирање тестане траке.
- Међу низом могућих решења погонског склопа реверзибилног механизма извршена је критичка евалуација и селектирано је решење које оптимално задовољава постављене критеријуме.
- У фази идејне поставке иновативног решења урађен је компјутерски 3D модел механизма на којем су проверене све премисе добре функционалности, синхронизације и проточности тестане траке.

- Коначно урађена је склопна и радионичка документација, према којој је произведено прототипско решење машине
- Испитивањем опреме у реалним оперативним условима доказане су све пројектоване перформансе.

Поставком оптималне структуре реверзибилног механизма ламинатора остварен је научно технички допринос у домену:

- примене принципа аксиоматског пројектовања у синтези сложених механизма/система,
- примене 3D модела за верификацију теоријских поставки
- примене 3D модела за проверу функционалности механизма,
- изналажења и коришћења „слободног патентног простора“,
- унапређења обраде тестане траке са сировинама слабијег квалитета
- подизања оперативних перформанси аутоматизованих линија кондиторске индустрије.

Посебан резултат је флексибилност постављеног решења реверзибилног механизма ламинатора да са улазним сировинама различитог квалитета даје релативно стаалан квалитет излазног производа, што је значајни технолошки искорак у производњи тврдог кекса и крекера.

На светском тржишту постоје линије за производњу кекса и крекера код којих се користе различита решења сложених механизма за ламинацију тестане траке. Вишегодишњим испитивањем показало се да ниједно од тих решења не може да пружи излазни производ високог квалитета, ако улазне сировине варирају у широком дијапазону. За разлику од тих, до сада познатих решења, новоразвијени реверзибилни механизам за ламинирање показао је велику флексибилност и делотворност када се користе сировине слабијег квалитета. Тиме се отвара широко поље примене и пласмана овако конципираног решења.

Осим у кондиторској индустрији, овако синтетизован реверзибилни механизам може се применити и у фабрикацији слојеваних тракастих производа од гуме, пластике и сличних материјала.

Такође, сам поступак оптимизације механизма, методом аксиоматског пројектовања је детаљно развијен и објашњен што је веома користан алат за сличне развоје.

Све ово говори о актуелности и применљивости истраживања и поставки из саме дисертације као и о техничкој прихватљивости код реалних инжењерских постројења.

## 9 ЛИТЕРАТУРА

1. Cookies and Crackers, Time/Life Books, 1982.
2. The History of the Greek Biscuit THE HELLENIC LITERARY AND HISTORICAL ARCHIVE ATHENS 2000.
3. Wheal,F.A.I., "Lecture Notes on Biscuit Tehnology", The Nacional Bakery School, Polytechnic of the South Bank. London, England, 1985.
4. Gavrilović M., Tehnologija konditorskih proizvoda,Tehnološki fakultet Novi Sad, 2003.
5. Manley,D., *Biscuit dough piece forming, manual 3*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 1998.
6. Андрејевић,R., "Решење проблема добијања слојевитог теста за кекс и крекер са могућношћу апликације у различитим конфигурацијама и технологијама", Магистарски рад, Машински факултет у Београду, 1988. год.
7. Andrejević,R., "Техничко-tehnoloшко решење laminatora kod automatske linije za tvrdi keks i kreker", Univerzitetska istraživanja i primena u industriji,Petrovac,1987.
8. Baker,R.G., "Formation of Continuous Laminated Biscuit Dough or other Web", US Patent Office, 2,478,075, Patented Aug. 2, 1949.
9. Loose,D.K., "Continuous Laminating Machine", US Patent Office, 2,076,657, Patented Apr. 13, 1937.
10. Oakes,T.E., "Method of Laminating Dough", US Patent Office, 2,823,625, Patented Feb. 18, 1958.
11. Mercer,J.M., "Dough Laminators", US Patent Office, 4,023,475, Patented May. 17, 1977.
12. Albrecht, R.J., "Method for Laminating Sheet Dough", US Patent Office, 3,851,088, Patented Nov. 26, 1974.
13. Hubbard,H.F., "Dough Laminating Apparatus", US Patent Office, 2,627,822, Patented Feb. 10, 1953.
14. Rejsa,J.J., "Dough Lapping Apparatus", US Patent Office, 3,804,637, Patented Apr. 16, 1974.
15. Hirabayashi,K., "Dough Sheet Laminating Apparatus", US Patent Office, 5,219,592, Patented Jun. 15, 1993.
16. Finkowski,W.J., "Controller for Dough Lapper", US Patent Office, 5,606,906, Patented Mar. 4, 1997.

17. Wood, P., Wray, M.T., "Dough Manipulation Apparatus" US Patent Office, 5,863,566, Patented Jan. 26, 1999.
18. Andrejević, R. "Synchronous Laminating of Dough Strip", International Symposium "Machines and Mechanisms", 02-05 септембра 1997. Год, Београд, стр.1-3.
19. Андрејевић, R., Стоименов, M., "Погонски систем за остваривање ламинације при континуалном протоку тестане траке у производњи тврдог кекса и крекера", 18. Конгрес о процесној индустрији - Процесинг 2004, Београд, Процесна техника, бр.2-3/2004, стр. 210-213.
20. Suh, N.P., *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York, 1990.
21. Suh, N.P., *Axiomatic Design, Advances and Applications*, Oxford University Press, New York, 2001.
22. Taguchi, G., *Systems of Engineering Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Cost*, American Supplier Institute, Dearborn, MI, 1987.
23. Altshuller, G., *And Suddenly the Inventor Appeared*, Technical Innovation Center, Worcester, MA, 1996.
24. Suh, N.P., "Axiomatic Design of Mechanical Systems", *Journal of Mechanical Design and the Journal of Vibrations and Acoustics*, Transactions of the ASME, Volume 117, pp 1-10, June 1995(a).
25. Ulrich, K., and Eppinger, S., *Product Design and Development*, McGraw-Hill, New York, 1995.
26. Wood, K., and Otto, K., *Product Design*, Prentice-Hall, Englewood, NJ, 2000.
27. Петровић, Д., Андрејевић, Р., Четић, Д., "Решење механичког преносника снаге променљивог осног растојања излазних вратила код машина за тврди кекс и крекер", 4. Северов симпозијум о механичким преносницима, Суботица", септембар 1993. год, П1. 2/4 (1-6).
28. Erdman G.A., Sandor N.G., *Mechanism Design - Analysis And Synthesis*, Prentice-Hall, London, 1997, ISBN 0-13-273343-9.
29. Norton L.R., *Design Of Machinery*, McGraw-Hill, New York, 2004, ISBN 0-07-121496-8.
30. Andrejević, R., Šiniković, G., Stojićević, M., Stoimenov, M., Miladinović, Lj., Popkonstantinović, B., Ostojić, G., Stankovski, S., "A Novel Walker With Mechanically Established Walking And Standing Mechanism", *Technical Gazette (ISSN 1330-3651)*, Vol.20, No.6, accepted for publication, end of December 2013.
31. Cusimano G., "Choice Of Electrical Motor And Transmission In Mechatronic Applications: The Torque Peak", *Mech. and mach. Theory*, V46, 2011, pp 1207-1235.



## СПИСАК СЛИКА

- Слика 3.1 Технолошки поступак производње тврдог кекса и крекера
- Слика 3.2 Шема процеса обраде и формирања кекса
- Слика 3.3 Шема аутоматске линије капацитета 550kg/h пројектоване у Институту за механику машина Машинског факултета у Београду
- Слика 3.4 Остваривање слојевања код ламинатора MF800
- Слика 4.1 Шема уређаја за слојевање са повратним ваљцима
- Слика 4.2 Шемтски изглед ламинатора WERNER & PFLEIDERER
- Слика 4.3 Начин рада уређаја за слојевање ламинатора WERNER & PFLEIDERER
- Слика 4.4 LU 800/LU1200 ламинатор, из проспекта WERNER & PFLEIDERER
- Слика 4.5 Шема хоризонталног ламинатора, BAKER PERKINS
- Слика 4.6 Шема уређаја за слојевање, хоризонтални ламинатор BAKER PERKINS
- Слика 4.7 Шема уређаја за слојевање, вертикалног ламинатора HECRONA
- Слика 4.8 Шема уређаја за слојевање, патентни цртеж E.T. OAKES
- Слика 4.9 Шема погона уређаја за слојевање, патентни цртеж E.T. OAKES
- Слика 4.10 Шема уређаја за слојевање, патентни цртеж SIMON VICARS Limited
- Слика 4.11 Шема погона уређаја за слојевање, патентни цртеж SIMON VICARS Limited
- Слика 4.12 Шема уређаја за слојевање, патентни цртеж NABISCO Inc
- Слика 4.13 Шема уређаја за слојевање-попречни пресек, патентни цртеж NABISCO Inc
- Слика 4.14 Шема уређаја за слојевање- просторни изглед, патентни цртеж NABISCO Inc
- Слика 4.15 Шема уређаја за слојевање-фиг.1, патентни цртеж Frank Hubbard
- Слика 4.16 Шема уређаја за слојевање-фиг2-4, патентни цртеж Frank Hubbard
- Слика 4.17 Шема уређаја за слојевање-фиг5-8, патентни цртеж Frank Hubbard
- Слика 4.18 Шема уређаја за слојевање, патентни цртеж PILLSBURY Company
- Слика 4.19 Уређаји за слојевање на принципу клатна, патентни цртеж Rheon Automatic Machinery Co.
- Слика 4.20 Шема уређаја за ламинацију, патентни цртеж Rheon Automatic Machinery Co.

- Слика 4.21 Шема осцилаторног механизма, патентни цртеж Rheon Automatic Machinery Co.
- Слика 4.22 Погон осцилаторног механизма, патентни цртеж Rheon Automatic Machinery Co.
- Слика 5.1 Дефиниција пројектовања као успостављање пресликавања између „онога што желимо да постигнемо“ и „онога како желимо то да постигнемо“ [Suh N.P. 2001].
- Слика 5.2 Четири домена света пројектовања. У заградама су карактеристични вектори сваког домена ( $\{X\}$ ), [Suh N.P. 2001].
- Слика 5.3 DP<sub>113</sub>- Механизам за одвајање тестане траке са ваљака
- Слика 5.4 DP<sub>121</sub>- Модул за остваривање супротносмерног обртања пара ваљака)
- Слика 5.5 DP<sub>1111</sub>- Механизам за подешавање растојања између ваљака
- Слика 5.6 DP<sub>11111</sub>- Склоп улежиштења ваљака и његов експандирани приказ
- Слика 5.7 DP<sub>11112</sub>- Механизам за закретање оса ваљака по кружном луку
- Слика 5.8 DP<sub>21</sub>- Концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање са DP<sub>21x</sub>
- Слика 5.9 Концепт хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање
- Слика 5.10 Распоред брзина на превојној ролни R<sub>2</sub>, ход у назад
- Слика 5.11 Распоред брзина на превојној ролни R<sub>1</sub>, ход у назад
- Слика 5.12 Распоред брзина на превојној ролни R<sub>2</sub>, ход у напред
- Слика 5.13 Распоред брзина на превојној ролни R<sub>1</sub>, ход у напред
- Слика 5.14 DP<sub>21</sub> Концепт реверзибилног механизма фирме Baker Perkins
- Слика 5.15 DP<sub>211</sub>-Модул за компензацију дужине тестане траке
- Слика 5.16 DP<sub>211</sub>-Модул за компензацију дужине тестане траке фирме Baker Perkins
- Слика 5.17 DP<sub>212</sub>-Модул за слојевање тестане траке
- Слика 5.18 DP<sub>212</sub>-Модул за слојевање тестане траке фирме Baker Perkins
- Слика 6.1 Шематски приказ ожљебљених ваљака I и карактеристичне вредности
- Слика 6.2 Шематски приказ ваљака за калибрацију II и карактеристичне вредности
- Слика 6.3 Шематски приказ ваљака за калибрацију III и карактеристичне вредности

Слика 6.4 Шематски приказ ваљака за завршну калибрацију IV и карактеристичне вредности

Слика 6.5 Шематски приказ излазног транспортера

Слика 6.6 Шематски приказ погонских ваљака колица за компензацију и слојевање и заједничког вратила са зупчаницима за спрегу са зупчастим летвама

Слика 6.7 Котрљање ваљка по тестаној траци

Слика 6.8 Просторни изглед ламинатора без реверзибилног механизма

Слика 6.9 Уздужни пресек кроз ламинатор без реверзибилног механизма

Слика 6.10 Просторни изглед ваљчастог транспортера

Слика 6.11 Просторни изглед колица за компензацију

Слика 6.12 Просторни изглед колица за слојевање

Слика 6.13 Просторни изглед модула за компензацију и модула за слојевање, крајњи положаји хода у назад

Слика 6.14 Просторни изглед модула за компензацију и модула за слојевање, крајњи положаји хода у напред

Слика 6.15 Основни подсклопови погонског модула

Слика 6.16 Просторни приказ 1 концепта хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање интегрисаног у ламинатор MF1200

Слика 6.17 Просторни приказ 2 концепта хоризонталног реверзибилног механизма за слојевање интегрисаног у ламинатор MF1200

Слика 6.18 Просторни приказ 1 ламинатора MF1200

Слика 6.19 Просторни приказ 2 ламинатора MF1200

## СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 5.1 Највиши ниво функционалних захтева и конструктивних параметара

Табела 5.2 Декомпозиција FR и DP, највишег нивоа

Табела 5.3 Декомпозиција FR<sub>1</sub> и DP<sub>1</sub>

Табела 5.4 Декомпозиција FR<sub>11</sub> и DP<sub>11</sub>

Табела 5.5 Декомпозиција FR<sub>12</sub> и DP<sub>12</sub>

Табела 5.6 Декомпозиција FR<sub>111</sub> и DP<sub>111</sub>

Табела 5.7 Декомпозиција FR<sub>113</sub> и DP<sub>113</sub>

Табела 5.8 Декомпозиција FR<sub>121</sub> и DP<sub>121</sub>

Табела 5.9 Декомпозиција FR<sub>1111</sub> и DP<sub>1111</sub>

Табела 5.10 Декомпозиција FR<sub>11111</sub> и DP<sub>11111</sub>

Табела 5.11 Декомпозиција FR<sub>11112</sub> и DP<sub>11112</sub>

Табела 5.12 Декомпозиција FR<sub>2</sub> и DP<sub>2</sub>

Табела 5.13 Декомпозиција FR<sub>21</sub> и DP<sub>21</sub>

Табела 5.14 Декомпозиција FR<sub>22</sub> и DP<sub>22</sub>

Табела 5.15 Декомпозиција FR<sub>23</sub> и DP<sub>23</sub>

Табела 5.16 Декомпозиција FR<sub>211</sub> и DP<sub>211</sub>

Табела 5.16/2 Декомпозиција FR<sub>211</sub> и DP<sub>211</sub>, решење Baker Perkins

Табела 5.17 Декомпозиција FR<sub>212</sub> и DP<sub>212</sub>

Табела 5.17/2 Декомпозиција FR<sub>212</sub> и DP<sub>212</sub>, решење Baker Perkins

Табела 5.18 Декомпозиција FR<sub>213</sub> и DP<sub>213</sub>

Табела 5.19 Декомпозиција FR<sub>2111</sub> и DP<sub>2111</sub>

Табела 5.20 Декомпозиција FR<sub>2112</sub> и DP<sub>2112</sub>

Табела 5.21 Декомпозиција FR<sub>2121</sub> и DP<sub>2121</sub>

Табела 5.22 Декомпозиција FR<sub>2122</sub> и DP<sub>2122</sub>

Табела 5.23 Декомпозиција FR<sub>2133</sub> и DP<sub>2133</sub>

Табела 5.24 Декомпозиција FR<sub>2134</sub> и DP<sub>2134</sub>

Табела 5.25 Декомпозиција FR<sub>2135</sub> и DP<sub>2135</sub>

Табела 5.26 Декомпозиција FR<sub>21112</sub> и DP<sub>21112</sub>

Табела 5.27 Декомпозиција FR<sub>21113</sub> и DP<sub>21113</sub>

Табела 5.28 Декомпозиција FR<sub>21122</sub> и DP<sub>21122</sub>

Табела 5.29 Декомпозиција FR<sub>21212</sub> и DP<sub>21212</sub>

Табела 5.30 Декомпозиција FR<sub>21213</sub> и DP<sub>21213</sub>

Табела 5.31 Декомпозиција FR<sub>21222</sub> и DP<sub>21222</sub>

Табела 5.32 Декомпозиција FR<sub>21343</sub> и DP<sub>21343</sub>

Табела 5.33 Декомпозиција FR<sub>21353</sub> и DP<sub>21353</sub>

Табела 7.1 Упоредни резултати времена застоја и броја интервенција при обради теста од сировина гарантованог квалитета

Табела 7.2 Упоредни резултати времена застоја при обради теста од сировина нижег квалитета

Табела 7.3 Упоредни резултати броја интервенција при обради теста од сировина нижег квалитета

## **ПРИЛОГ 1**

**КАРАКТЕРИСТИКЕ ЧЕТИРИ ДОМЕНА СВЕТА ПРОЈЕКТОВАЊА ЗА  
РАЗЛИЧИТЕ ОБЛАСТИ: ПРОЈЕКТОВАЊЕ ПРОИЗВОДЊЕ, МАТЕРИЈАЛА,  
СОФТВЕРА, ОРГАНИЗАЦИЈА, СИСТЕМА И ПОСЛОВАЊА**

**Табела** Карактеристике четири домена света пројектовања за различите области: пројектовање производње, материјала, софтвера, организација, система и пословања.[N.P.Suh, Axiomatic Design, 2001.]

	<b>Домен клијента {CA}</b>	<b>Функционални домен {FR}</b>	<b>Физички домен {DP}</b>	<b>Процесни домен {PV}</b>
<b>Производња</b>	Особине које клијенти желе	Функционални захтеви спецификовани за производ	Физичке променљиве које могу да испуне функционалне захтеве	Процесне променљиве које могу да контролишу пројектне параметре
<b>Материјали</b>	Жељене перформансе	Захтеване особине	Микроструктура	Процеси
<b>Софтвер</b>	Особине пожељне за софтвер	Излазна спецификација програмских кодова	Улазне променљиве Алгоритми Модули Програмски кодови	Потпрограми Машински кодови Компајлери Модули
<b>Организације</b>	Задовољство клијента	Функције организације	Програми Службе Активности	Људи и други ресурси који пружају подршку програмима
<b>Системи</b>	Особине пожељне за систем у целини	Функционални захтеви од система	Машине Компоненте Поткомпоненте	Ресурси (људски, финансијски итд.)
<b>Пословање</b>	Профит	Пословни циљеви	Пословна структура	Људски и финансијски ресурси

## **ПРИЛОГ 2**

**ЧЕТИРИ ДОМЕНА ЈЕДНОГ ДЕПАРТМАНА У ОКВИРУ УНИВЕРЗИТЕТА**



**Табела** Четири домена једног департмана у оквиру универзитета [N.P.Suh, Axiomatic Design, 2001.]

Домен клијента	Функционални домен	Физички домен	Процесни домен
<b>CA<sub>1</sub>: Задовољство клијента</b>	<b>FR<sub>1</sub>: Квалитет</b>	<b>DP<sub>1</sub>: Програми</b>	<b>PV<sub>1</sub>: Наставници</b>
CA <sub>11</sub> – Студенти основних студија	FR <sub>11</sub> – Обезбедити квалитетне основне студије	DP <sub>11</sub> – Програм основних студија	PV <sub>11</sub> – Активно залагање наставника
CA <sub>12</sub> – Студенти постдипломских студија	FR <sub>12</sub> – Обезбедити квалитетне постдипломске студије	DP <sub>12</sub> – Програм постдипломских студија	PV <sub>12</sub> – Успешни студенти постдипломских студија
CA <sub>13</sub> – Спонзори истраживања	FR <sub>13</sub> – Спроводити квалитетно истраживање које дефинише трендове	DP <sub>13</sub> – Организација истраживања	PV <sub>13</sub> – Квалитетни истраживачи
CA <sub>14</sub> – Јавност (друштво у целини)	FR <sub>14</sub> – Промовисати активно учешће у јавним дешавањима	DP <sub>14</sub> – Сервисна улога	PV <sub>14</sub> – Снажна подршка активностима наставника ван универзитета
<b>CA<sub>2</sub>: Проток новца</b>	<b>FR<sub>2</sub>: Добро управљање ресурсима</b>	<b>DP<sub>2</sub>: Административни механизми</b>	<b>PV<sub>2</sub>: Административно особље</b>
CA <sub>21</sub> – Подршка настави	FR <sub>21</sub> – Ефективно користити општи фонд	DP <sub>21</sub> – Механизми буџетирања и планирања	PV <sub>21</sub> – Саветник за буџет
CA <sub>22</sub> – Подршка истраживању	FR <sub>22</sub> – Генерисати екстерну подршку истраживању	DP <sub>22</sub> – Инфраструктура за подршку истраживању	PV <sub>22</sub> – Особље за подршку истраживању
CA <sub>23</sub> – Капитална улагања	FR <sub>23</sub> – Трагати за донацијама	DP <sub>23</sub> – Механизми за прикупљање донација	PV <sub>23</sub> – Шеф департмана и наставници који прикупљају донације
CA <sub>24</sub> – „Заштита“ људских ресурса	FR <sub>24</sub> – Предвидети систем катедара, подршке итд.	DP <sub>24</sub> – Систем подстицаја	PV <sub>24</sub> – Шеф департмана и његов помоћник
<b>CA<sub>3</sub>: Профит</b>	<b>FR<sub>3</sub>: Продуктивност (интелектуална и финансијска)</b>	<b>DP<sub>3</sub>: Средства</b>	<b>PV<sub>3</sub>: Методе</b>
CA <sub>31</sub> – Боље наставне парадигме	FR <sub>31</sub> – Развити ефективна педагошка средства	DP <sub>31</sub> – Развој уџбеника, видеотрака	PV <sub>31</sub> – Механизми за подршку и награђивање
CA <sub>32</sub> – Истраживачка инфраструктура	FR <sub>32</sub> – Развити лабораторије и истраживачке центре	DP <sub>32</sub> – (Боље) истраживачке организације	PV <sub>32</sub> – Успоставити интердисциплинарне истраживачке активности

CA <sub>33</sub> – Нови изуми и открића	FR <sub>33</sub> – Промовисати научни рад и креативне активности: патенти, монографије, награде и признања	DP <sub>33</sub> – Активна подршка, промоција и номинација	PV <sub>33</sub> – Подршка запослених
CA <sub>34</sub> – Боља средства (опрема / простор за рад)	FR <sub>34</sub> – Обезбедити опрему и простор за рад	DP <sub>34</sub> – Улагање у основна средства	PV <sub>34</sub> – Прикупљање донација
CA <sub>35</sub> – Изузетни дипломци: водећи у индустрији, истраживачи, професори, владини званичници	FR <sub>35</sub> – Омогућити рад са ментором	DP <sub>35</sub> – Интензивнија интеракција између наставника и студената	PV <sub>35</sub> – „Истраживачки тимови“ и почетак рада на тези у раној фази студирања
<b>CA<sub>4</sub>: Раст (интелектуални и физички)</b>	<b>FR<sub>4</sub>: Иновација</b>	<b>DP<sub>4</sub>: Околина / Култура</b>	<b>PV<sub>4</sub>: Ресурси</b>
CA <sub>41</sub> – Дефинисати машинство XXI века	FR <sub>41</sub> – Развити нова педагошка средства и дисциплине	DP <sub>41</sub> – Креативни, експериментални образовни програми	PV <sub>41</sub> – Додатни рад са наставницима и финансијска подршка
CA <sub>41</sub> – Дефинисати инжењерство XXI века	FR <sub>42</sub> – Отворити пут новим инжењерским алатима, методама и књигама	DP <sub>42</sub> – Активна интеракција са индустријом	PV <sub>42</sub> – „Произвођачки институт“
CA <sub>41</sub> – Обликовати друштво XXI века	FR <sub>43</sub> – Решавати друштвене проблеме	DP <sub>43</sub> – Активна интеракција са индустријом и владом	PV <sub>43</sub> – Екстерно учешће
CA <sub>41</sub> – Ојачати људске ресурсе у инжењерству	FR <sub>44</sub> – Привући у инжењерство мањине и жене	DP <sub>44</sub> – Специјални програми	PV <sub>44</sub> – Финансијски ресурси

### **ПРИЛОГ 3**

ДЕКОМПОЗИЦИЈА  $FR_S$  – ОСТВАРИТИ СЛОЈЕВАЊЕ ТЕСТАНЕ ТРАКЕ КОД  
ЛАМИНАТОРА И  $DP_S$  – УРЕЂАЈ ЗА СЛОЈЕВАЊЕ ТЕСТАНЕ ТРАКЕ КОД  
ЛАМИНАТОРА



FR- HIJERARHIJSKA STRUKTURA



DP- ХИЈЕРАРХИЈСКА СТРУКТУРА

## **ПРИЛОГ 4**

ПРОЈЕКТНА МАТРИЦА КОНЦЕПТА ХОРИЗОНТАЛНОГ РЕВЕРЗИБИЛНОГ  
МЕХАНИЗМА

Konstruktivni parametri (DPs)

		21																																			
		211										212								213																	
		2111					2112					2121				2122				2131	2132	2133		2134			2135										
		21111	21112			21113		21121	21122		21123	21211	21212			21213		21221	21222		21223			21331	21332	21341	21342	21343		21351	21352	21353					
			211121	211122	211123	211131	211132		211221	211222			212121	212122	212123	212131	212132		212221	212222							213431	213432			213531	213532	213533				
Funkcionalni zahtevi (FRs)	211	2111	21111	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O				
			211121	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		
			21112	211122	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
			211123	X	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
			21113	211131	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		211132	X	O	O	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		
		2112	21121		O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		
		21122	211221	O	O	O	X	X	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		211222	O	O	O	X	X	O	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		21123		O	X	X	X	X	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
	212	2121	21211		O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		
			21212	212121	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
			212122	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
			212123	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
			21213	212131	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
		212132	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		2122	21221		O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		21222	212221	O	X	X	X	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		212222	O	X	X	X	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		21223		O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	213	2131		O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		
		2132		O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		2133	21331	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
			21332	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	X	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
		2134	21341	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	X	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	
			21342	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	X	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	
			21343	213431	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	
		213432	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O		
2135		21351		O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O		
		21352		O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O		
		21353	213531	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	
			213532	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	
			213533	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	

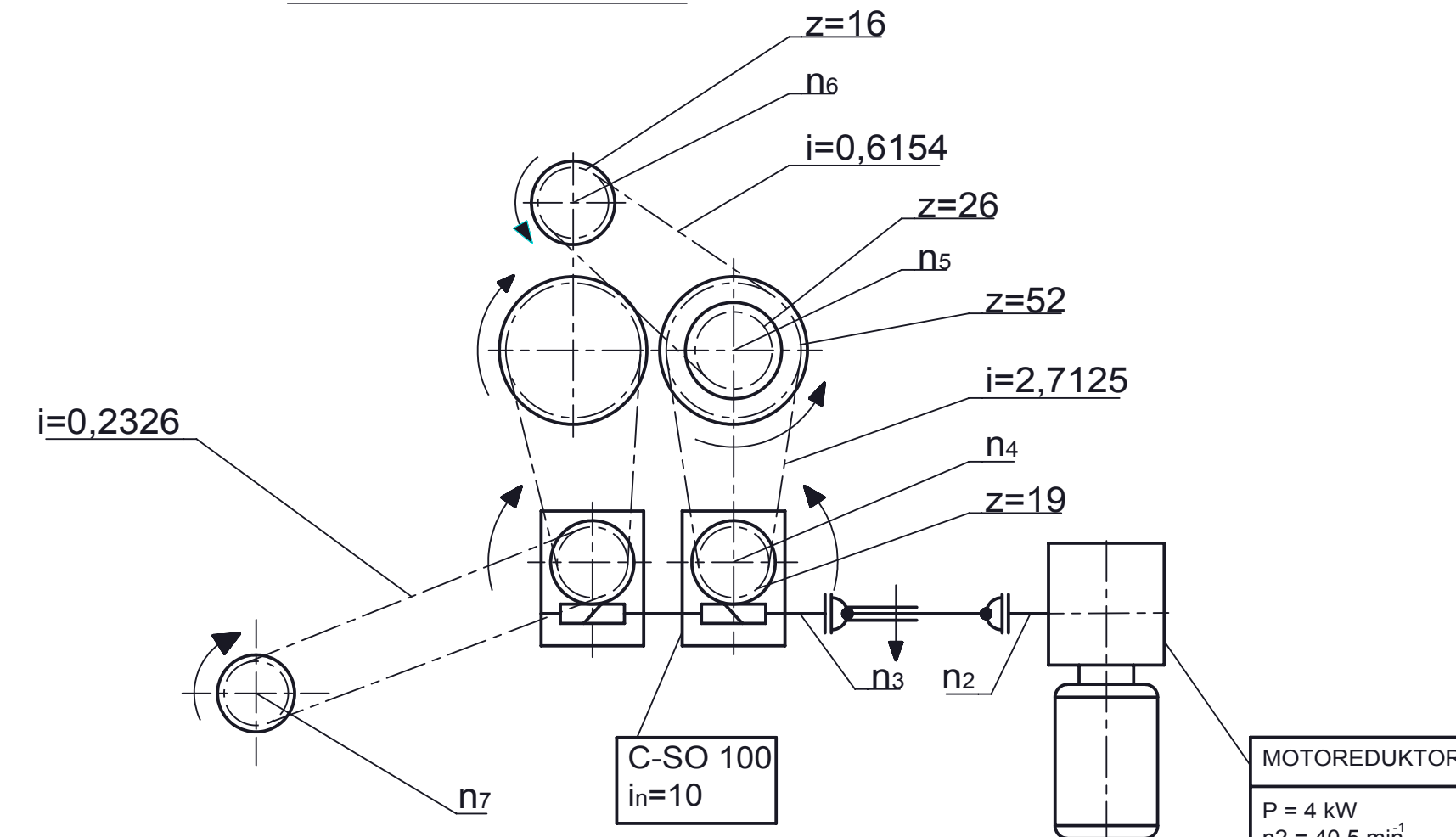
Projektna matrica koncepta horizontalnog reverzibilnog mehanizma za slojevanje

## **ПРИЛОГ 5**

**КИНЕМАТИЧКА ШЕМА ЛАМИНАТОРА MF1200**



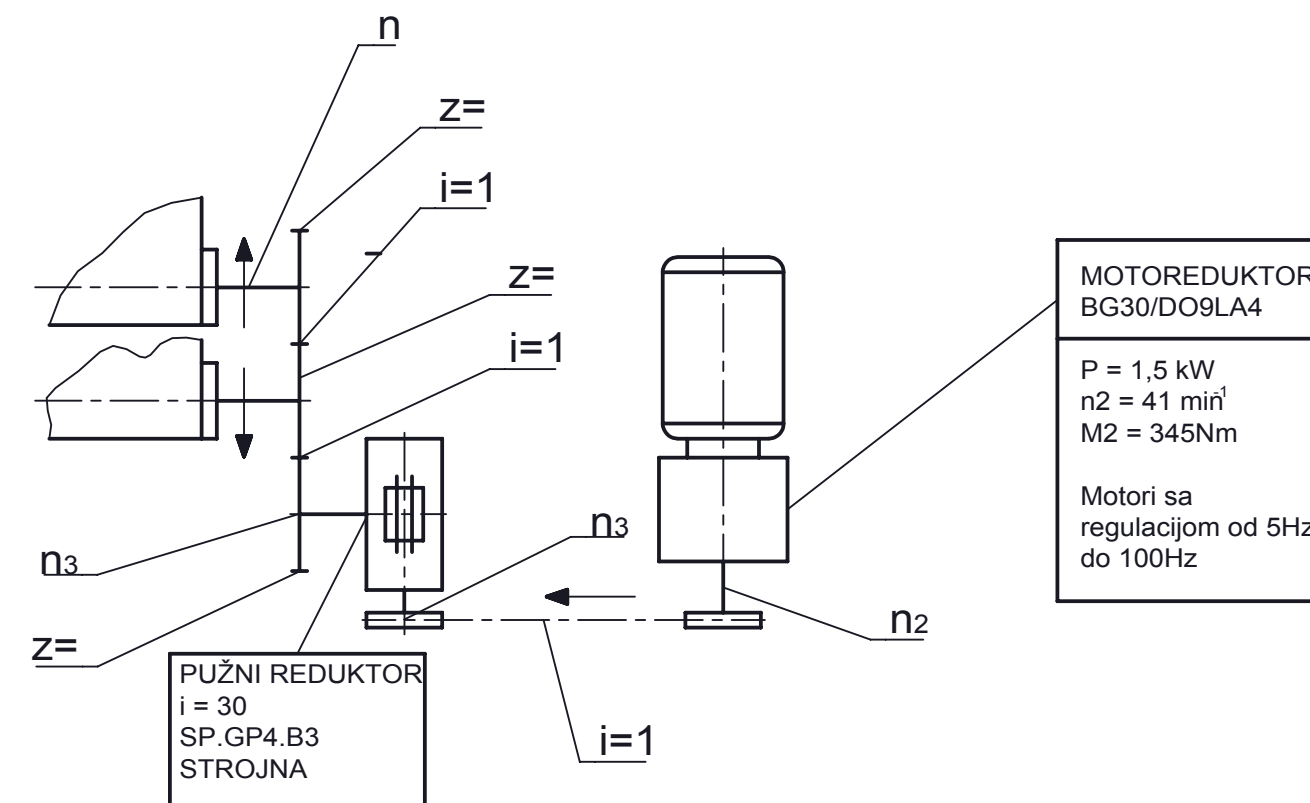
### OSNOVNI POGON



i	PRORAČUNSKI BROJEVI OBRTAJA ni (min <sup>-1</sup> )			OSTVARENI BROJEVI OBRTAJA ni (min <sup>-1</sup> )	
	5 min	7 min	15 min	max	min
2	65,1	40,31	21,7	81	4,05
3	65,1	40,31	21,7	81	4,05
4	6,51	4,031	2,17	8	0,4
5	2,4	1,47	0,8	2,94	0,15
6	3,89	2,39	1,29	4,78	0,24
7	16,72	10,27	5,55	20,54	1,03

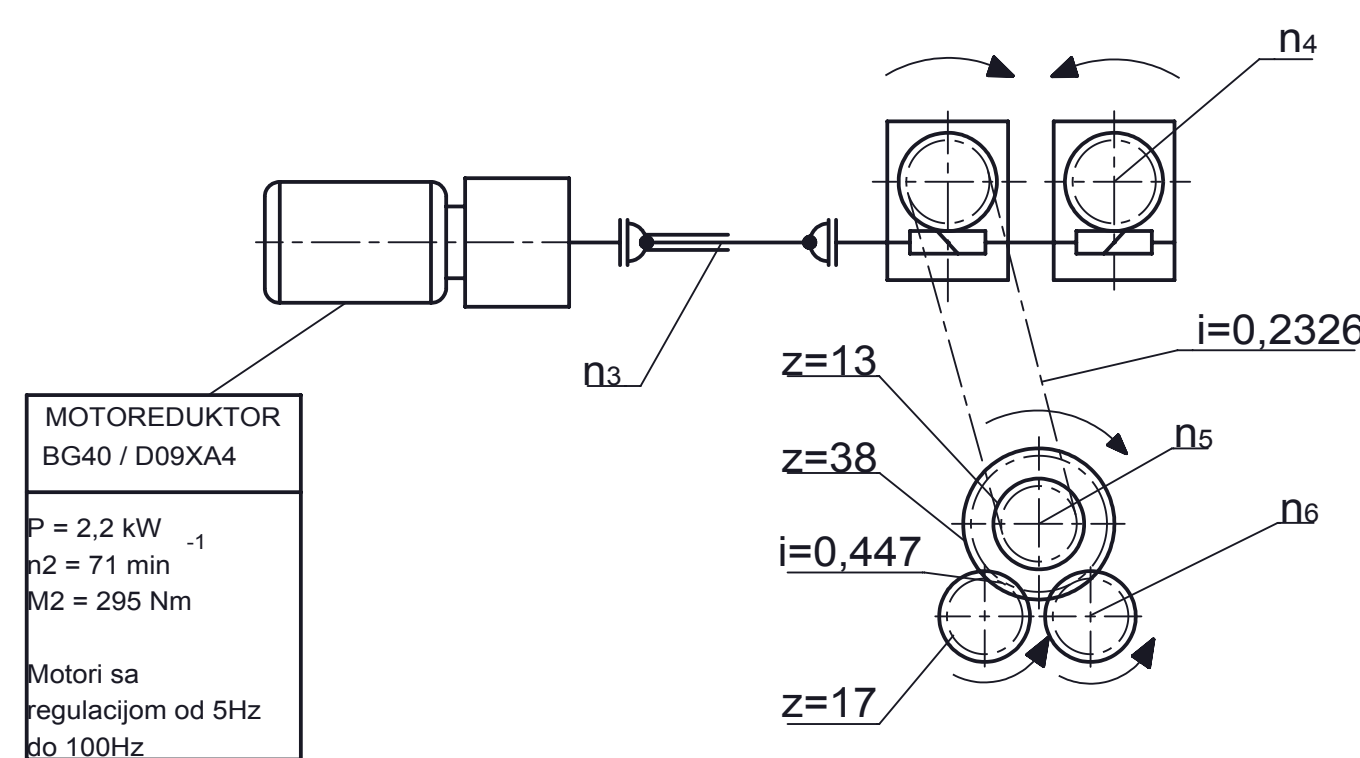
MOTOREDUKTOR  
P = 4 kW  
n<sub>2</sub> = 40,5 min<sup>-1</sup>  
M<sub>2</sub> = 840 Nm  
Motori sa regulacijom od 5Hz do 100Hz

### POGON IZLAZNOG TRANSPORTERA



MOTOREDUKTOR  
BG30/D09LA4  
P = 1,5 kW  
n<sub>2</sub> = 41 min<sup>-1</sup>  
M<sub>2</sub> = 345Nm  
Motori sa regulacijom od 5Hz do 100Hz

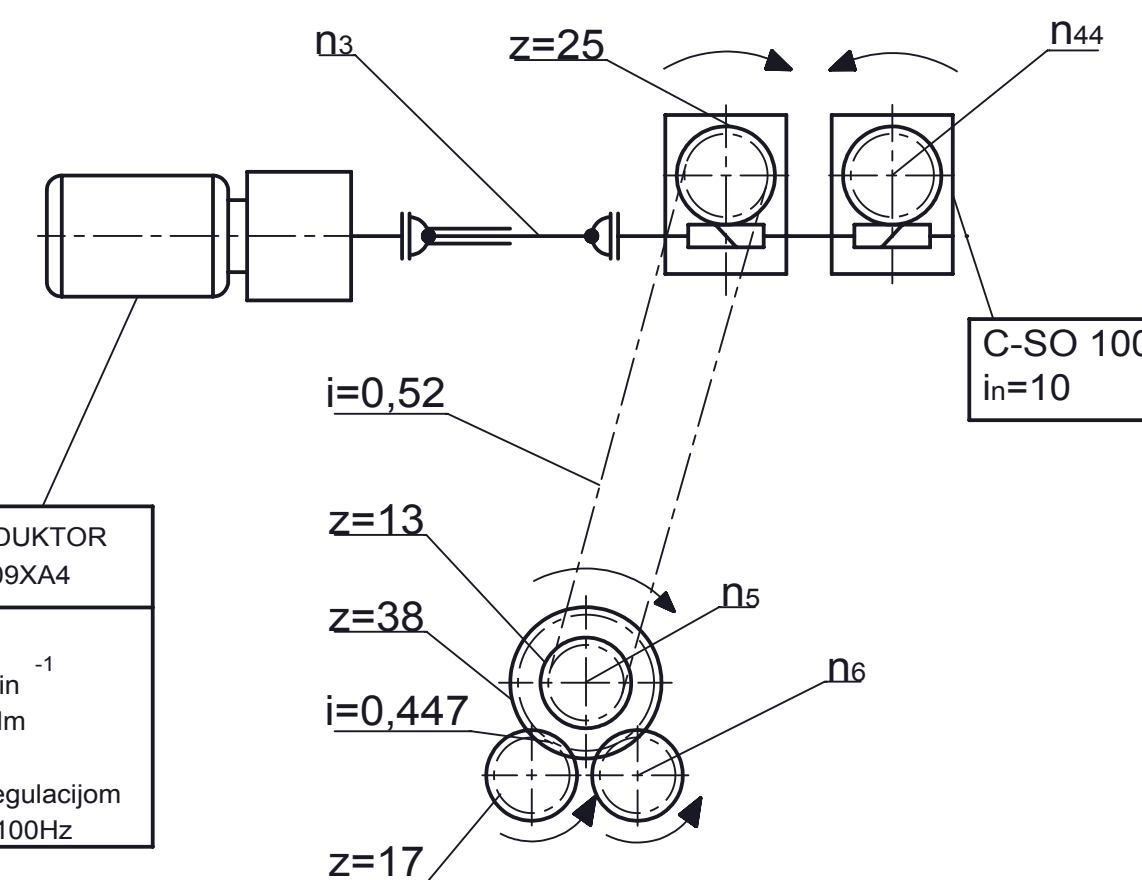
### POGON VALJAKA ZA KALIBRACIJU III



MOTOREDUKTOR  
BG40 / D09XA4  
P = 2,2 kW  
n<sub>2</sub> = 71 min<sup>-1</sup>  
M<sub>2</sub> = 295 Nm  
Motori sa regulacijom od 5Hz do 100Hz

i	PRORAČUNSKI BROJEVI OBRTAJA ni (min <sup>-1</sup> )			OSTVARENI BROJEVI OBRTAJA ni (min <sup>-1</sup> )	
	5 min	7 min	15 min	max	min
2	114,9	70,56	38,3	142	7,1
3	114,9	70,56	38,3	142	7,1
4	11,49	7,056	3,83	14,2	0,71
5	49,39	30,34	16,46	61,05	3,05

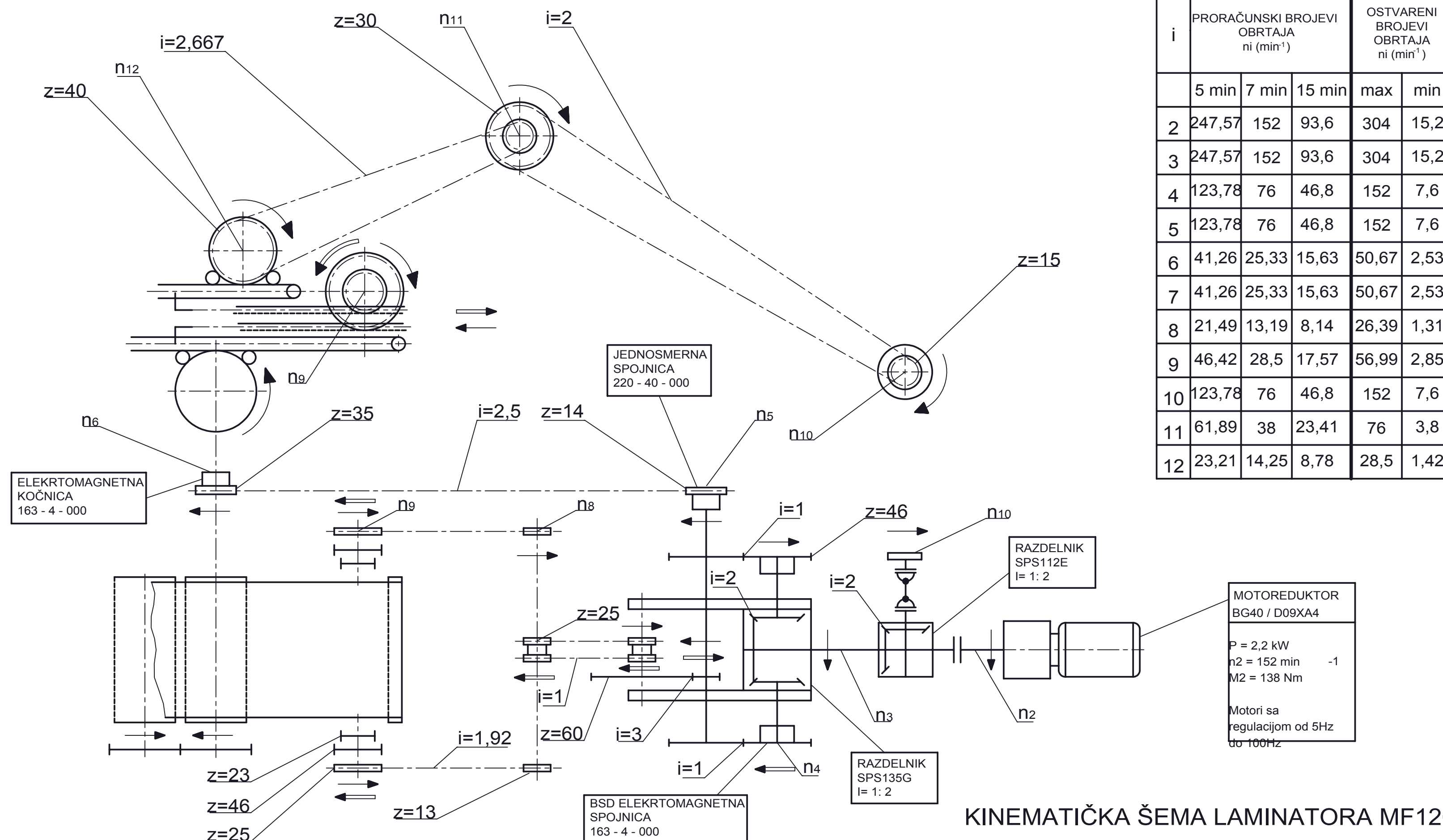
### POGON VALJAKA ZA KALIBRACIJU IV



MOTOREDUKTOR  
BG40 / D09XA4  
P = 2,2 kW  
n<sub>2</sub> = 136 min<sup>-1</sup>  
M<sub>2</sub> = 154 Nm  
Motori sa regulacijom od 5Hz do 100Hz

i	PRORAČUNSKI BROJEVI OBRTAJA ni (min <sup>-1</sup> )			OSTVARENI BROJEVI OBRTAJA ni (min <sup>-1</sup> )	
	5 min	7 min	15 min	max	min
2	229,9	141,2	76,6	272	13,6
3	229,9	141,2	76,6	272	13,6
4	22,99	14,12	7,66	27,2	1,36
5	44,21	27,14	14,73	52,31	2,62
6	98,9	60,72	32,95	117,02	5,86

### POGON REVERZIBILNOG MEHANIZMA



i	PRORAČUNSKI BROJEVI OBRTAJA ni (min <sup>-1</sup> )			OSTVARENI BROJEVI OBRTAJA ni (min <sup>-1</sup> )	
	5 min	7 min	15 min	max	min
2	247,57	152	93,6	304	15,2
3	247,57	152	93,6	304	15,2
4	123,78	76	46,8	152	7,6
5	123,78	76	46,8	152	7,6
6	41,26	25,33	15,63	50,67	2,53
7	41,26	25,33	15,63	50,67	2,53
8	21,49	13,19	8,14	26,39	1,31
9	46,42	28,5	17,57	56,99	2,85
10	123,78	76	46,8	152	7,6
11	61,89	38	23,41	76	3,8
12	23,21	14,25	8,78	28,5	1,42

MOTOREDUKTOR  
BG40 / D09XA4  
P = 2,2 kW  
n<sub>2</sub> = 152 min<sup>-1</sup>  
M<sub>2</sub> = 138 Nm  
Motori sa regulacijom od 5Hz do 100Hz

### KINEMATIČKA ŠEMA LAMINATORA MF1200

## **Биографија**

Име и Презиме: Раша Андрејевић  
Датум рођења: 02.10.1952.  
Место рођења: Београд  
Породично стање: Ожењен, троје деце

## **Школовање**

1959. - 1968. Основна школа Алекса Шантић, Београд  
1968. – 1971. Осма београдска гимназија, Београд  
1971. – 1979. Студије на Машинском факултету у Београду,  
одсек за Механизацију  
06.12.1979. Одбрањен дипломски рад, Машински факултет  
Београд  
05.09.1988. Одбрањен магистарски рад, Машински факултет  
Београд

## **Кретање у послу**

01.1981. – 05.1981. Секретаријат за унутрашње послове Београд  
Од 05.1981 Машински факултет Београд, Катедра за Теорију  
механизама и машина

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани: Мр Раша Андрејевић, дипл.маш.инж.

број уписа \_\_\_\_\_

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**СИНТЕЗА ОПТИМАЛНЕ СТРУКТУРЕ РЕВЕРЗИБИЛНОГ МЕХАНИЗМА ЛАМИНАТОРА  
ПРИМЕНОМ АКСИОМАТСКОГ ПРОЈЕКТОВАЊА**

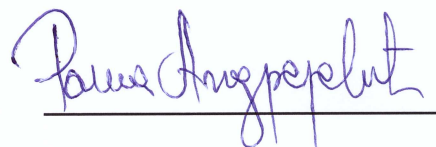
---

---

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 15.06.2013.

  
\_\_\_\_\_

Прилог 2.

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Мр Раша Андрејевић, дипл.маш.инж

Број уписа \_\_\_\_\_

Студијски програм \_\_\_\_\_

Наслов рада: **СИНТЕЗА ОПТИМАЛНЕ СТРУКТУРЕ РЕВЕРЗИБИЛНОГ МЕХАНИЗМА  
ЛАМИНАТОРА ПРИМЕНОМ АКСИОМАТСКОГ ПРОЈЕКТОВАЊА**

Ментор Др Срђан Бошњак, редовни професор

Потписани Мр Раша Андрејевић, дипл.маш.инж

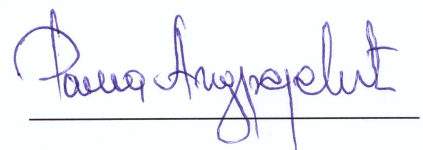
изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, 15.06.2013.



\_\_\_\_\_

Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

### **СИНТЕЗА ОПТИМАЛНЕ СТРУКТУРЕ РЕВЕРЗИБИЛНОГ МЕХАНИЗМА ЛАМИНАТОРА ПРИМЕНОМ АКСИОМАТСКОГ ПРОЈЕКТОВАЊА**

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство

2. Ауторство - некомерцијално

3. Ауторство – некомерцијално – без прераде

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима

5. Ауторство – без прераде

6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 15.06.2013.

