



UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET
AGRONOMIJA



**Minimizacija odstupanja grupne od
individualnih odluka primenom inteligentnih
stohastičkih algoritama u problemima
vodoprivrede i poljoprivrede**

- Doktorska disertacija -

Mentori:

Prof. dr Bojan Srđević
Prof. dr Zorica Srđević

Kandidat:

Boško D. Blagojević, mast. inž.

Novi Sad, 2015. god.

Predgovor

Doktorska disertacija je urađena na Departmanu za uređenje voda, Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu, Univerziteta u Novom Sadu, pod rukovodstvom profesora dr Bojana Srđevića i profesorice dr Zorice Srđević, a u okviru projekta OI 174003: "*Teorija i primena Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) za višekriterijumsko odlučivanje u uslovima rizika i neizvesnosti (individualni i grupni kontekst)*", koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, rukovodilac projekta: prof. dr Bojan Srđević.

Zahvaljujem se:

Svojim mentorima, prof. dr Bojanu Srđeviću i prof. dr Zorici Srđević na pruženom znanju, prijateljskim i dobronamernim savetima koji su mi omogućili profesionalno napredovanje. Hvala im što su verovali u moje kvalitete i pružili mi priliku da gradim univerzitetsku karijeru,

Svim zaposlenima na Departmanu za uređenje voda, na višegodišnjoj profesionalnoj podršci i na prijateljskom odnosu,

Kolegi i prijatelju dr Atili Bezdanu, na velikoj pomoći prilikom izrade doktorske disertacije,

Prof. dr Tihomiru Zoranoviću, na ogromnoj pomoći u držanju nastave, čime mi je omogućio da blagovremeno završim pisanje doktorske disertacije,

Mojim roditeljima Dragomiru i Cvijeti i bratu Draganu, za svu podršku tokom mog školovanja, za bezgranično razumevanje i poverenje,

Mojoj babi Marici, zbog toga što je bila na mojoj strani u mnogim lošim životnim okolnostima u kojima sam se nalazio,

Nedićima, Rakićima i Lukićima, na ljubavi, podršci i pomoći tokom školovanja,

Mojim prijateljima iz Brazilije i Beočina, kao i kolegama sa fakulteta na podršci i lepim trenucima tokom studiranja,

Mojoj životnoj saputnici Dajani, na beskrajnoj ljubavi, strpljenju i razumevanju.

Novi Sad, 2015. godine

Boško Blagojević

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
POLJOPRIVREDNI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: RBR	
Identifikacioni broj: IBR	
Tip dokumentacije: TD	Monografska dokumentacija
Tip zapisa: TZ	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): VR	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora: AU	Boško Blagojević, mast. inž.
Mentori (titula, ime, prezime, zvanje): MN	dr Bojan Srđević, redovni profesor dr Zorica Srđević, vanredni profesor
Naslov rada: NR	Minimizacija odstupanja grupne od individualnih odluka primenom inteligentnih stohastičkih algoritama u problemima vodoprivrede i poljoprivrede
Jezik publikacije: JP	Srpski
Jezik izvoda: JI	Srpski / Engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2015.
Izdavač: IZ	Autorski reprint
Mesto i adresa: MA	21000 Novi Sad, Poljoprivredni fakultet, Trg D. Obradovića 8.
Fizički opis rada: FO	7 poglavlja / 142 strane / 55 tabela / 43 slike / 194 navoda literature / 2 priloga / biografija
Naučna oblast: NO	Biotehničke nauke
Naučna disciplina: ND	Informatika i sistemska analiza
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Poljoprivreda, vodoprivreda, višekriterijumsko grupno donošenje odluka, inteligentni stohastički algoritmi, pogodnost lokaliteta za navodnjavanje 628.381:626.81(043.3)
UDK	
Čuva se: ČU	Biblioteka Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu
Važna napomena: VN	Nema

Izvod:

IZ

Donošenje odluka u poljoprivredi i vodoprivredi podrazumeva uvažavanje ekonomskih, društvenih i kriterijuma zaštite životne sredine. Proces je složen jer se odluke zbog nemogućnosti kvantifikacije često donose na osnovu kvalitativnih podataka, ili još češće, u kombinaciji sa postojećim kvantitativnim podacima. Analitički hijerarhijski proces (AHP) je teorijsko-metodološki koncept višekriterijumske analize i optimizacije za podršku složenih procesa individualnog i grupnog odlučivanja, koji se pokazao kao jedan od najpogodnijih da podrži takve procese i zato je u svetu široko rasprostranjen. Kod odlučivanja u poljoprivredi i vodoprivredi, zbog složenosti procesa, podrazumeva se interdisciplinarni pristup sa učešćem više interesnih strana (donosilaca odluka). Kod grupnih primena AHP, odluka se najčešće dobija objedinjavanjem individualnih ocena ili objedinjavanjem individualnih prioriteta. U novije vreme AHP se sve više kombinuje sa modelima za postizanje konsenzusa.

U disertaciji je predložen mogući novi način objedinjavanja individualnih odluka u grupnu zasnovan na minimizaciji odstupanja grupne od individualnih odluka. Ideja je da se na osnovu individualnih vrednovanja elemenata odlučivanja po metodologiji AHP generiše grupni vektor pomoću algoritma simuliranog kaljenja (SA - simulated annealing) iz klase inteligentnih stohastičkih optimizacionih algoritama, posebno pogodnog kada rešenje treba tražiti u beskonačnim diskretnim prostorima. Pošto se u AHP mogu koristiti različiti metodi za određivanje vektora prioriteta, koji se uobičajeno nazivaju "prioritizacioni metodi", da bi se postupak objedinjavanja učinio nezavisnim od metoda prioritizacije, u disertaciji je definisan univerzalni pokazatelj grupne konzistentnosti nazvan grupno euklidsko rastojanje (*GED* - group Euclidean distance). Inteligentnim približavanjem grupnog vektora prioriteta individualnim odlukama, odnosno minimizacijom *GED*, identifikuje se grupni vektor koji dovoljno dobro predstavlja individualne odluke. Predloženi postupak nazvan je metod SAAP (SA aggregation procedure). Za testiranje ispravnosti metoda SAAP korišćena su tri primera i rezultati predloženog metoda su poređeni sa rezultatima najčešće korišćenih kombinacija metoda grupnog objedinjavanja, konsenzus modela i metoda prioritizacije koje su nazvane šeme objedinjavanja. Dobijeni rezultati su pokazali da je SAAP konkurentan sa ostalim šemama objedinjavanja.

U disertaciji je predložena i transparentna metodologija za grupno višekriterijumsko ocenjivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje na datoj teritoriji. U FAO dokumentima je sugerisano da treba vršiti ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje a ne isključivo zemljišta i da treba uzeti u obzir sve faktore (kriterijume) koji utiču na uspešnost uvođenja navodnjavanja. Višekriterijumsko određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje je zasnovano na kombinaciji AHP i geografskog informacionog sistema (GIS) u grupnom kontekstu. Metodologija se sastoji iz četiri faze. U prvoj fazi se identifikuju podkriterijumi za određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje od interesa za dato područje. Podkriterijumi se zatim grupišu u kriterijume (kao što su osobine zemljišta, klima, socio-ekonomski kriterijum, tehničko-pravni kriterijum i zaštita životne sredine) i na taj način se formira hijerarhija problema odlučivanja. Identifikovani donosioci odluka vrednuju elemente hijerarhije, takođe po metodu AHP, a zatim se vrednovanje koriste za izračunavanje individualnih težina podkriterijuma.

Sastavni deo druge faze metodologije je predloženi višekriterijumski metod za određivanje težina donosilaca odluka. Koristeći individualne težine podkriterijuma izračunate u prvoj i težine donosilaca odluka izračunate u ovoj fazi, "otežanim" aritmetičkim osrednjavanjem određuju se grupne (konačne težine) podkriterijuma (GIS slojeva). Da bi rastersko preklapanje slojeva bilo moguće, u trećoj fazi se standardizuju GIS slojevi. Množenjem vrednosti piksela u svakom sloju sa pripadajućim grupnim težinama slojeva i njihovim sabiranjem dobija se konačna mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje i ona predstavlja osnovu za definisanje prostornih prioriteta izgradnje novih sistema za navodnjavanje na datom području. U četvrtoj fazi (analiza osetljivosti) se prvo isključuju slojevi koji predstavljaju antropogene podkriterijume, a zatim i slojevi zasnovani na prirodnim karakteristikama. Na ovaj način se dobijaju dve nove mape pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje koje pružaju dodatne informacije za definisanje prostornih prioriteta izgradnje novih sistema za navodnjavanje.

Datum prihvatanja teme od strane NN veća: 02.10.2013.

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

dr Bojan Srđević, redovni profesor,
NO Informatika i sistemska analiza,
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Mentor:

dr Zorica Srđević, vanredni profesor,
NO Uređenje, zaštita i korišćenje voda,
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Mentor:

dr Dragan Savić, redovni profesor,
NO Hidroinformatika,
University of Exeter, UK, Član:

dr Srđan Kolaković, redovni profesor,
NO Hidrotehnika,
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Član:

dr Tihomir Zoranović, docent,
NO Informatika i sistemska analiza,
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Član:

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF AGRICULTURE**

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number: ANO	
Identification number: INO	
Document type: DT	Monograph documentation
Type of record: TR	Textual printed material
Contents code: CC	PhD thesis
Author: AU	MSc Bosko Blagojevic
Mentors: MN	Bojan Srdjevic, PhD, Full Professor Zorica Srdjevic, PhD, Associate Professor
Title: TI	Minimization of distance between group and individual decisions using intelligent stochastic algorithms for water and agricultural management
Language of text: LT	Serbian
Language of abstract: LA	Serbian / English
Country of publication: CP	Republic of Serbia
Locality of publication: LP	AP Vojvodina
Publication year: PY	2015
Publisher: PU	Author's reprint
Publication place: PP	Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg D. Obradovica 8
Physical description: PD	7 chapters / 142 pages / 55 tables / 43 figures / 194 references / 2 appendix / biography
Scientific field SF	Biotechnology
Scientific discipline SD	Informatics and Systems Analysis
Subject, Key words SKW	Agriculture, water management, multi criteria group decision making, intelligent stochastic algorithms, land suitability for irrigation
UC	628.381:626.81(043.3)
Holding data: HD	Library of the Faculty of Agriculture of the University of Novi Sad
Note : N	none

Abstract:

AB

Agricultural and water management decision problems are usually complex because many criteria (such as economical, social and environmental) need to be considered. For this kind of problems, decision making process is often based only on qualitative data or sometimes on combination of quantitative and qualitative data. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a multi criteria decision-making method that has been used in many applications related with decision-making based on qualitative data, and is applicable to both individual and group decision making situations. Because of the increasing complexity of decision making problems in agriculture and water management and the necessity to include all interested participants in problem solving, nowadays many AHP decision making processes take place in group settings. There are various aggregation procedures for obtaining a group priority vector within AHP-supported decision making, the most common of which are the aggregation of individual judgments (AIJ), aggregation of individual priorities (AIP) and aggregations based on consensus models.

A heuristic stochastic approach to group decision making is proposed in this dissertation as an aggregation procedure which searches for the best group priority vector for a given node in an AHP-generated hierarchy. The group Euclidean distance (*GED*) is used as a group consistency measure for deriving the group priority vector for a given node in the AHP hierarchy where all participating individuals already set their judgments. The simulated annealing (SA) algorithm tries to minimize the *GED*, of the process of which can be considered an objective search for maximum consensus between individuals within the group. The group priority vector obtained in this way is invariant to any prioritization method; that is, there is no need to have individual priority vectors as is required by some other aggregation procedures. This approach is named simulated annealing aggregation procedure (SAAP). In order to check validity of this approach, three examples are used to compare its results with results obtained by various combinations of aggregations (AIJ and AIP), consensus models and prioritization methods. In this dissertation, SAAP and other known combinations of aggregation procedures and prioritization methods are labeled as aggregation schemes. Results shows that the SAAP performs better or at least equally to several other well known combinations of prioritization and aggregation in AHP group decision making frameworks.

The second objective of this dissertation was to establish a transferable and transparent procedure for multi criteria group evaluations of land suitability for irrigation. The multi criteria approach is recommended because according to FAO documents all aspects of the problem (environment, social aspect, economy) need to be considered in the evaluation, not just soil. To make a decision on where to build new, sustainable irrigation systems, here we propose multi criteria group decision making approach which combines AHP and Geographic Information System (GIS). This approach is presented as four-phase decision making framework. In the first phase, subcriteria relevant in validating land suitability were grouped into five major criteria: soil, climate, economy, infrastructure and environment. Considered as spatially determined decision making elements, criteria and subcriteria were evaluated within the AHP framework by identified experts in the subject area.

In the second phase new multi criteria method is developed for deriving decision makers' weights. Using this weights and individual priority weights of subcriteria from first phase final group weights of subcriteria (GIS layers) are computed. In third phase each subcriterion (GIS layer) is standardized. Then, the cell values in each of the subcriterion layers are multiplied by the corresponding final weights of the subcriteria and aggregated into the final land suitability maps for irrigation in GIS environment. Finally, in the fourth phase, a sensitivity analysis is applied to check the influence of different criteria on the result. By changing the weights of criteria, two more maps were generated showing land suitability for irrigation regarding natural conditions and economy-water infrastructure.

Accepted on Senate on:
AS

October, 2nd, 2013.

Defended:
DE

Thesis Defend Board:
DB

Bojan Srdjevic, PhD, Full Professor,
Scientific Field - Informatics and Systems Analysis,
Faculty of Agriculture, Novi Sad, Mentor:

Zorica Srdjevic, PhD, Associate Professor,
Scientific Field - Water Management,
Faculty of Agriculture, Novi Sad, Mentor:

Dragan Savic, PhD, Full Professor,
Scientific Field - Hydroinformatics,
University of Exeter, UK, Member:

Srdjan Kolakovic, PhD, Full Professor,
Scientific Field - Hydrotechnic,
Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Member:

Tihomir Zoranovic, PhD, Assistant Professor,
Scientific Field - Informatics and Systems Analysis,
Faculty of Agriculture, Novi Sad, Member:

SADRŽAJ

DEO 1. Uvodna razmatranja	2
1.1. Uvod.....	3
1.2. Cilj istraživanja.....	4
1.3. Posebni ciljevi i zadaci istraživanja.....	5
1.4. Osnovne hipoteze.....	6
1.5. Predmet istraživanja i kratak pregled dobijenih rezultata.....	7
DEO 2. Metodi i tehnike inteligentnog određivanja grupnih odluka, težina donosilaca odluka i grupnih vrednovanja pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje	10
2.1. Analitički hijerarhijski proces (AHP).....	11
2.1.1. Metodi prioritizacije i mere konzistentnosti	15
2.1.2. Metodi objedinjavanja individualnih ocena i odluka u grupne ekvivalente	19
2.2. Predloženi metod za objedinjavanje individualnih AHP ocena u grupnu odluku	25
2.3. Kombinovanje geografskog informacionog sistema (GIS) i AHP u oceni pogodnosti zemljišnih resursa	36
2.4. Predloženi metod za višekriterijumsko određivanje težina donosilaca odluka	41
2.5. Predložena metodologija za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje	48
DEO 3. Opis problema odlučivanja	52
3.1. Pokrajinski Fond za razvoj poljoprivrede Vojvodine	53
3.2. Određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje u Vojvodini	55
DEO 4. Rezultati	58
4.1. Rezultati predloženog metoda za objedinjavanje individualnih AHP ocena u grupnu odluku	59
4.2. Rezultati određivanja pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje.....	70
4.2.1. Faza # 1: AHP	70
4.2.2. Faza # 2: Određivanje težina donosilaca odluka i računanje grupnog vektora prioriteta (grupnih težina podkriterijuma)	83
4.2.3. Faza # 3: GIS analiza	87
4.2.4. Faza # 4: Analiza osetljivosti	113
DEO 5. Diskusija rezultata	115
DEO 6. Zaključci i pravci budućih istraživanja	122
Literatura	125
Prilozi	140
Biografija autora	142

DEO 1. UVODNA RAZMATRANJA

1.1. Uvod

Upravljanje prirodnim resursima, kao i donošenje odluka u poljoprivredi i vodoprivredi, danas podrazumeva uvažavanje ekonomskih, društvenih i kriterijuma zaštite životne sredine. To znači da samo jedna struka ne može pružiti sve neophodne inpute za sveobuhvatnu analizu, interdisciplinarnost se podrazumeva, a učešće različitih interesnih strana (stejkholdera) zakonski se propisuje. Donošenje odluka u poljoprivredi i vodoprivredi je složen posao jer se odluke zbog nemogućnosti kvantifikacije često donose na osnovu kvalitativnih podataka ili, još češće, u kombinaciji sa postojećim kvantitativnim podacima. Analitički hijerarhijski proces (AHP) (Saaty, 1980) je teorijsko-metodološki koncept višekriterijumske analize i optimizacije za podršku složenih procesa individualnog i grupnog odlučivanja, koji se pokazao kao jedan od najpogodnijih da podrži takve procese i zato je u svetu široko rasprostranjen kao pouzdana i naučno dokazana podrška individualnom i grupnom donošenju odluka u poslovima upravljanja prirodnim resursima, alokaciji resursa, rangiranjima i dr. Prema merodavnim izvorima u naučnim časopisima, tehničkoj literaturi na internetu i na osnovu drugih saznanja, AHP se u svetu koristi znatno više od drugih metodologija iste namene.

Međutim, AHP, kao i drugi srodni metodi u grupnom odlučivanju, nosi rizik od subjektivnosti donosilaca odluka i mogućih nekonzistentnosti koje mogu proizvesti nepouzdana ili nekvalitetne odluke. Kako bi se povećale šanse za primenu donešene odluke i povećao legitimitet administracije ili stručnjaka koji te odluke treba da sprovedu u delo, u svim fazama procesa donošenja odluka treba težiti najširem mogućem konsenzusu. Pošto je kod višekriterijumske analize i procesa odlučivanja, a to znači i kada se koristi AHP, nemoguće postići apsolutni konsenzus oko težina kriterijuma i/ili alternativa, smatrano je da je potrebno predložiti novi način objedinjavanja individualnih odluka u grupnu koji će težiti približavanju konsenzusu, odnosno koji će minimizirati odstupanje grupnog vektora prioriteta od individualnih odluka članova grupe.

Takođe, česti su slučajevi kada se smatra da članovi grupe koja donosi odluke ne treba da imaju jednake težine (zbog različitog stepena stručnosti, nedovoljne skoncentrisanosti prilikom odlučivanja, nedovoljne motivisanosti da se uvaži mišljenje drugih članova grupe, itd.). Tada nastaje problem određivanja težina donosilaca odluka (DO) koji je uvek težak ako ne postoji unapred definisan autoritet koji je prihvaćen od svih DO da arbitrira i dodeljuje težine. Pošto je to redak slučaj u realnim prilikama, jasna je potreba da se pokuša sa definisanjem što konzistentnijeg metoda po kojem će se transparentno određivati težine DO i tako minimizirati rizik od nesavesnog, nekompetentnog ili neodgovornog odlučivanja.

Metodologije odlučivanja zasnovane na AHP intenzivno se istražuju u svetu i praktično u svim oblastima. O tome, pored ostalog, svedoče hiljade naučnih radova u prestižnim časopisima.

Istraživački tim sa Departmana za uređenje voda na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, intenzivno, više od decenije, daje svoj doprinos u oblasti donošenja odluka u poljoprivredi i vodoprivredi, što je rezultovalo objavljivanjem brojnih naučnih radova (npr. Jandrić i Srđević, 2000; Srdjevic i sar., 2002; Srđević i Srđević, 2003; Srdjevic, 2007; Srdjevic i sar., 2007; Srdjevic i Medeiros, 2008; Srdjevic i sar., 2009; Srdjevic i sar., 2011; Srdjevic i sar., 2012).

1.2. Cilj istraživanja

Cilj je utvrditi da li se individualne odluke u grupi koja odlučuje o datom problemu mogu kvalitetno objediniti u grupnu postupkom minimizacije odstupanja grupnog vektora prioriteta od individualnih ocena članova grupe primenom inteligentnih stohastičkih algoritama i posebno algoritma simuliranog kaljenja. Očekivani rezultat je grupna odluka koja će bolje predstavljati individualne odluke u kontekstu približavanja konsenzusu, nego što to čine odluke dobijene geometrijskim objedinjavanjem individualnih ocena (AIJ), aritmetičkim objedinjavanjem individualnih prioriteta (AIP), ili nekim od razvijenih modela konsenzusa.

Takođe, cilj je da se definiše metod za višekriterijumsko određivanje težina članova grupe (donosilaca odluka) zasnovan na individualnoj konzistentnosti, grupnoj konzistentnosti i međusobnom vrednovanju donosilaca odluka. Očekivani rezultat je pouzdanije utvrđivanje težina donosilaca odluka.

Konačno, cilj je da se na primerima u oblasti poljoprivrede i vodoprivrede provere, odnosno potvrde, polazne naučne hipoteze. Novi način objedinjavanja individualnih odluka u grupnu biće primenjen na simulaciji grupnog odlučivanja u Pokrajinskom fondu za razvoj poljoprivrede o procentualnoj raspodeli sredstava (budžeta) Fonda na kreditne linije, dok će na primeru grupnog određivanja težina kriterijuma i podkriterijuma za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje biti primenjen predloženi metod za određivanje težina članova grupe (donosilaca odluka).

Prikazani pristupi mogu biti od koristi raznim institucijama (npr.: ministarstva, sekretarijati, javna preduzeća, lokalne samouprave, pokrajinski i republički fondovi, naučno-obrazovne institucije, itd.), gde se kao sredstvo odlučivanja može koristiti AHP u grupnom kontekstu.

1.3. Posebni ciljevi i zadaci istraživanja

Realizacija ciljeva se ostvarila kroz sledeće korake:

1. Definisane univerzalne pokazatelje merenja konzistentnosti ocena donosilaca odluke sa grupnim vektorom prioriteta zasnovanom na totalnom euklidskom rastojanju.
2. Definisane novog načina objedinjavanja individualnih odluka u grupnu zasnovanog na minimizaciji odstupanja grupnog vektora prioriteta od individualnih ocena članova grupe, pomoću algoritma simuliranog kaljenja iz klase stohastičkih diskretnih inteligentnih algoritama.
3. Simuliranje procesa odlučivanja u Pokrajinskom fondu za razvoj poljoprivrede.
4. Grupne odluke su dobijene na sledeće načine:
 - Objedinjavanjem individualnih ocena (AIJ) u grupnu matricu iz koje su izračunati grupni vektori prioriteta nekim od metoda prioritizacije (metodom sopstvenih vrednosti - EV, metodom aditivne normalizacije - AN i logaritamskim metodom najmanjih kvadrata - LLS)
 - Objedinjavanjem individualnih vektora prioriteta (AIP) dobijenih metodima EV, AN i LLS
 - Konvergentnim modelom konsenzusa + individualni vektori prioriteta dobijeni metodom EV
 - Konvergentnim modelom konsenzusa + individualni vektori prioriteta dobijeni metodom AN
 - Konvergentnim modelom konsenzusa + individualni vektori prioriteta dobijeni metodom LLS
 - Geometrijskim kardinalnim modelom konsenzusa
 - Pomoću algoritma simuliranog kaljenja.
5. Grupna odluka dobijena algoritmom simuliranog kaljenja poređena je sa ostalim grupnim odlukama pomoću pokazatelja definisanog u prvom koraku i još četiri pokazatelja o kojima će naknadno biti reči i izvršila se kritička analiza dobijenih rezultata.
6. Predložen je originalan način određivanja težina članova grupe, a isti je zatim primenjen na problem procesa grupnog određivanja težina podkriterijuma za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje spregnutim korišćenjem AHP i GIS tehnologije.
7. Definisani su uslovi pod kojima se AHP i GIS mogu koristiti za superponiranje otežanih mapa podkriterijuma u konačnu mapu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje. Uslovi se

prvenstveno odnose na definisanje kritičnog skupa kriterijuma i podkriterijuma i potrebne podatke i podloge.

1.4. Osnovne hipoteze

Istraživanje u doktorskoj disertaciji se zasniva na sledećim hipotezama:

- Polazna hipoteza je da će se inteligentnim približavanjem grupnog vektora prioriteta individualnim ocenama članova grupe dobiti takav grupni vektor koji dovoljno dobro predstavlja individualne odluke u kontekstu približavanja konsenzusu. Hipoteza je da će na taj način generisani grupni vektor bolje predstavljati grupu nego što to čine grupni vektori dobijeni geometrijskim objedinjavanjem individualnih ocena (Forman i Peniwati, 1998), aritmetičkim objedinjavanjem individualnih prioriteta (Ramanathan i Ganesh, 1994), ili nekim od modela konsenzusa.
- Težine članova grupe (donosilaca odluka) kod odlučivanja pomoću AHP se mogu odrediti na osnovu demonstrirane individualne konzistentnosti, demonstrirane grupne konzistentnosti i međusobnog vrednovanja donosilaca odluka u parovima, takođe po metodologiji AHP.
- Dobijeni rezultati se mogu primenjivati u svim problemima grupnog odlučivanja gde se koristi metod AHP i gde postoji jedan nivo odlučivanja (hijerarhija sa jednim nivoom).
- Korišćenjem predloženih metoda može se dobiti jedinstvena mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje u višekriterijumskom kontekstu i predlog procentualne raspodele budžeta Fonda za razvoj poljoprivrede Vojvodine na kreditne linije.

1.5. Predmet istraživanja i kratak pregled dobijenih rezultata

Iako standardni AHP podrazumeva formiranje hijerarhije problema odlučivanja i vrednovanje elemenata po nivoima hijerarhije, čest je slučaj da postoji samo jedan nivo odlučivanja. Tada se odluka (vektor prioriteta alternativa i/ili kriterijuma) dobija na osnovu jedne matrice poređenja, što je i bio kontekst primene AHP u ovoj disertaciji; na primeru donošenja grupne odluke u poljoprivredi direktno su poređene alternative u odnosu na cilj, dok su kod donošenja grupne odluke u vodoprivredi postojali dva nivoa odlučivanja: na prvom su se poredili kriterijumi u odnosu na cilj, a na drugom podkriterijumi u odnosu na kriterijume.

Kod grupnih primena AHP, odluka se najčešće dobija objedinjavanjem individualnih ocena (AII-aggregation of individual judgments) ili objedinjavanjem individualnih prioriteta (AIP-aggregation of individual priorities) (Forman i Peniwati, 1998). U novije vreme, AHP se sve više kombinuje sa modelima za postizanje konsenzusa (Lehrer i Wagner, 1981; Regan i sar., 2006; Hartmann i sar., 2009; Dong i sar., 2010b).

Predmet istraživanja bio je mogući novi način objedinjavanja individualnih odluka u grupnu zasnovan na minimizaciji odstupanja grupne od individualnih odluka. Ideja je da se na osnovu individualnih vrednovanja elemenata odlučivanja po metodologiji AHP generiše grupni vektor pomoću algoritma simuliranog kaljenja (SA-Simulated Annealing) iz klase inteligentnih stohastičkih algoritama za pretraživanje beskonačnih diskretnih prostora. Ovaj algoritam je predložen u (Kirkpatrick i sar., 1983) i uz genetičke algoritme, mravlje kolonije, tabu pretraživanje i evolutivne strategije predstavlja jedan od najboljih stohastičkih pretraživača.

Inteligentnim približavanjem grupnog vektora prioriteta individualnim ocenama članova grupe dobijen je takav grupni vektor koji dovoljno dobro predstavlja individualne odluke u kontekstu približavanja konsenzusu i na taj način generisani grupni vektor bolje predstavlja grupu nego što to čine grupni vektori dobijeni geometrijskim objedinjavanjem individualnih ocena, ili aritmetičkim objedinjavanjem individualnih prioriteta. Rezultati dobijeni novim metodom objedinjavanja individualnih odluka u grupnu upoređeni su sa rezultatima dva modela konsenzusa: (a) konvergentni model konsenzusa (Lehrer i Wagner, 1981; Regan i sar., 2006; Hartmann i sar., 2009) i (b) geometrijski kardinalni model konsenzusa (Dong i sar., 2010b).

U AHP se mogu koristiti različiti metodi za određivanje vektora prioriteta, tzv. "prioritizacioni metodi". Da bi se postupak objedinjavanja učinio nezavisnim od metoda prioritizacije, u disertaciji je definisan univerzalni pokazatelj grupne konzistentnosti zasnovan na ideji "globalnog" euklidskog rastojanja. Iz obavljenih istraživanja proizilazi da je ovaj pokazatelj novina, odnosno originalno definisana generalna mera konzistentnosti (saglasnosti) individualnih

odluka sa grupnom, konkurentna sa već postojećim. Provere su rađene pod pretpostavkom da se prioritizacija vrši pomoću tri najčešće korišćena metoda: aditivni normalizacioni metod (AN - additive normalization method), metod sopstvenih vrednosti (EV - eigenvector method) i logaritamski metod najmanjih kvadrata (LLS - logarithmic least squares method).

Postupak grupnog odlučivanja sa novom i već postojećim merama konzistentnosti proveren je na simuliranom procesu donošenja odluka u Pokrajinskom Fondu Vojvodine za razvoj poljoprivrede i još dva svetski poznata primera iz literature. Ranija istraživanja pokazala su da postoje određene teškoće kod grupnog donošenja odluke o tome kome dodeliti kredite za nabavku novih sistema i opreme za navodnjavanje, ali i kako raspodeliti sredstva iz budžeta fonda na kreditne linije. Naime, u Fondu ne postoji institucionalni mehanizam koji određuje način na koji će finansijska sredstva biti raspodeljena po kreditnim linijama i ocena je da bi AHP bio pogodan da podrži proces raspodele sredstava. Uvažavajući kadrovske i organizacione realnosti u Fondu, u disertaciji se pokazalo kako se može graditi institucionalni mehanizam za donošenje merodavnih grupnih odluka primenom razvijenog originalnog modela za postizanje konsenzusa učesnika u odlučivanju o kreditima.

U disertaciji je takođe istražena mogućnost definisanja novog načina određivanja težina donosilaca odluka (DO) kada se koristi standardni AHP. Ovo je neophodno za dobijanje kvalitetnije grupne odluke jer članovi grupe često imaju različit stepen stručnosti, nisu dovoljno skoncentrisani tokom procesa odlučivanja, nemotivisani su da uvažavaju mišljenje drugih članova grupe, itd. Ovde težine DO zavise od demonstrirane individualne konzistentnosti, demonstrirane grupne konzistentnosti i međusobnog vrednovanja DO u parovima, takođe po metodologiji AHP; koncept AHP u AHP nije novina, ali je navedeni postupak novina.

Predloženi metod određivanja težina DO primenjen je na primeru iz oblasti vodoprivrede u funkciji poljoprivrede koncipiranom kao grupno vrednovanje kriterijuma i podkriterijuma za određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje. Naime, opšte je poznato da je situacija u Srbiji što se tiče navodnjavanja nepovoljna i da je Srbija pri dnu evropskih zemalja po procentu navodnjavanja obradivog zemljišta. Strategija razvoja poljoprivrede predviđa povećanje tog procenta i izgradnju novih sistema za navodnjavanje na obradivim poljoprivrednim zemljištima viših klasa pogodnosti za navodnjavanje. Postoji veliki broj faktora (kriterijuma) na osnovu kojih bi trebalo donositi odluke o lokalitetima na kojima je optimalno graditi sisteme za navodnjavanje. U disertaciji se ovaj problem odlučivanja tretirao za teritoriju Autonomne Pokrajine Vojvodine za koju postoje relativno pouzdani digitalizovani prostorni podaci. Poseban problem je bila kritička analiza kriterijuma i podkriterijuma i odabir kritičnog skupa kriterijuma i podkriterijuma na osnovu kojih je vršena ocena pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje. Izbor najvažnijih kriterijuma i podkriterijuma i njihovu ocenu izvršili su stručnjaci sa Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu, Fakulteta Tehničkih nauka u Novom Sadu i iz JVP "Vode Vojvodine". Osnovu

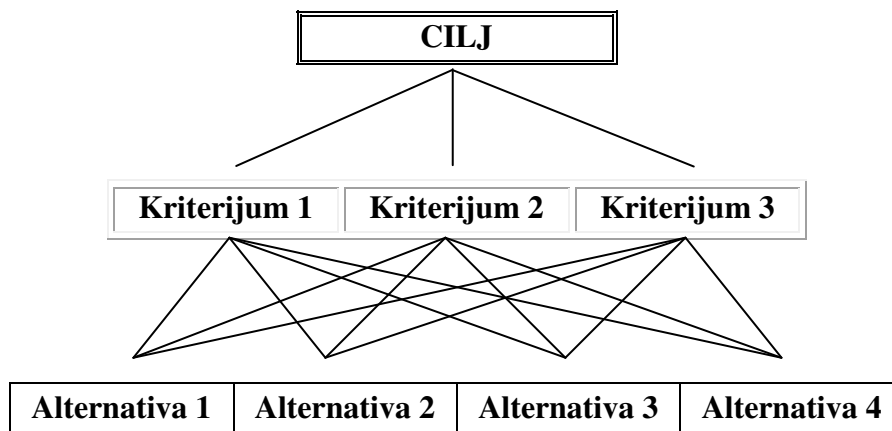
odlučivanja činila je realna pretpostavka da je pri donošenju odluka gde graditi nove sisteme na nekom području potrebno imati prostorne informacije koje se prikazuju korišćenjem tehnologije GIS (geografskog informacionog sistema). Iako je GIS pogodan za rukovanje prostornim podacima i nudi velike mogućnosti za njihovo prikazivanje i analizu, uočeno je da GIS sam po sebi nije dovoljan da obuhvati složenost problema određivanja pogodnosti lokaliteta za neku namenu, niti da neposredno doprinese merodavnom donošenju odluka o tome kako i gde koristiti zemljište. Uz posebnu analizu ovog pitanja, a prateći neka ranija istraživanja u svetu (npr. Boroushaki i Malczewski, 2010), u disertaciji su istražene mogućnosti kombinovanja GIS i višekriterijumskih metoda i predložena su varijantna povezivanja GIS i AHP za izradu karte pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje na teritoriji AP Vojvodine. Višekriterijumsko vrednovanje GIS slojeva vršeno je od strane više donosilaca odluka.

DEO 2.

METODI I TEHNIKE INTELIGENTNOG ODREĐIVANJA GRUPNIH ODLUKA, TEŽINA DONOSILACA ODLUKA I GRUPNIH VREDNOVANJA POGODNOSTI LOKALITETA ZA NAVODNJAVANJE

2.1. Analitički hijerarhijski proces (AHP)

Analitički hijerarhijski proces (AHP) (Saaty, 1980) je metod višekriterijumske analize koji se u svetu daleko najviše primenjuje kao pomoć u individualnom i grupnom donošenju odluka (Eskobar i sar., 2004; Vaidya i Kumar, 2006; Altuzarra i sar., 2007; Ho, 2008; Arnette i sar., 2010; Subramanian i Ramanathan, 2012; Bernasconi i sar., 2014). Metod je "analitički" i "hijerarhijski" jer donosilac odluke razlaže složen problem odlučivanja na više elemenata odlučivanja između kojih uspostavlja hijerarhiju. Reč "proces" u nazivu metoda sugerise da su nakon formiranja početne hijerarhije problema odlučivanja dozvoljene njene iterativne modifikacije (Saaty, 1999). Hijerarhija problema odlučivanja ima nekoliko nivoa, pri čemu se na vrhu hijerarhije nalazi cilj, sledeći nivo sadrži kriterijume dok se na dnu nalaze alternative (Slika 1). Ovakva hijerarhijska postavka se odnosi na standardan problem odlučivanja ali se sreću i slučajevi kada hijerarhija ima četiri i više nivoa. Tada između kriterijuma i alternativa imamo i nivo podkriterijuma. Takođe, postoje problemi odlučivanja kada hijerarhija ima dva nivoa i tada se ispod cilja nalaze jedino alternative. Podeljeno je mišljenje oko toga da li je u ovakvim slučajevima pravilnije reći da se odluka donosi pomoću AHP, ili da se odlučuje u "duhu" AHP.



Slika 1. Standardna hijerarhija problema odlučivanja

Posle formiranja hijerarhije donosilac odluka poredi u parovima elemente na datom nivou hijerarhije u odnosu na sve (nadređene) elemente na višem nivou, kako bi se odredio njihov međusobni značaj. U standardnom AHP elementi se porede davanjem lingvističkih (semantičkih) ocena međusobnog značaja u odnosu na element na višem nivou hijerarhije pomoću osnovne skale iz Tabele 1 (Saaty, 1980).

Tabela 1. Satijeva skala relativnog značaja (Saaty, 1980)

Definicija	Brojčana vrednost
Isti značaj	1
Slaba dominantnost	3
Jaka dominantnost	5
Vrlo jaka dominantnost	7
Apsolutna dominantnost	9
(Međuvrednosti)	(2,4,6,8)

Osim Satijeve mogu se koristiti i druge skale, npr. Lotsmina, Ma-Zengova, balansirana, itd., ali se Satijeva skala najčešće primenjuje. Linearni deo Satijeve skale čine celobrojne vrednosti [1, 9], a nelinearni njihove recipročne vrednosti [1, 1/9].

Kada donosilac odluka na datom nivou hijerarhije vrednuje n elemenata odlučivanja u odnosu na nadređeni element prema skali iz Tabele 1, njegove semantičke ocene prema definicijama iz leve kolone se brojčano prikazuju vrednostima iz desne kolone i unose u kvadratnu matricu A . Matrica je pozitivna i recipročna (simetrična u odnosu na glavnu dijagonalu); drugim rečima, elementi iz gornjeg su recipročni elementima iz donjeg trougla, a elementi na glavnoj dijagonali jednaki su 1 ($a_{ij}=1/a_{ji}$, za svako i i j ; $a_{ii}=1$ za svako i).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Određivanje težina poređenih elemenata na osnovu brojčanih vrednosti iz matrice A se naziva prioritizacija. Ima više matičnih i optimizacionih metoda prioritizacije (Srdjevic, 2005), a u radu će se koristiti metod sopstvenih vrednosti, aditivni metod i logaritamski metod najmanjih kvadrata, o čemu će biti više reči u nastavku disertacije. Pored metoda prioritizacije, jedna od bitnih karakteristika AHP je da na svim nivoima hijerarhije proverava konzistentnost vrednovanja donosilaca odluka.

Na osnovu vrednovanja, odabranim metodom prioritizacije se određuju lokalne težine elemenata odlučivanja, a sintezom, odnosno aditivnom sintezom, se na kraju određuju težine alternativa na najnižem nivou u odnosu na element na najvišem nivou (cilj), čime se završava individualno odlučivanje pomoću AHP. Aditivna sinteza je data relacijom (2):

$$u_i = \sum_j w_j d_{ij}, \quad (2)$$

gde je u_i konačni (globalni) prioritet alternative i , w_j težina kriterijuma j , a d_{ij} lokalna težina alternative i u odnosu na kriterijum j .

Saaty (1986), Harker i Vargas (1987), Alphonse (1997) su definisali četiri osnovna aksioma na kojima se zasniva AHP:

- *Aksiom recipročnosti.* Ako je element X n puta značajniji od elementa Y , tada je element Y , $1/n$ puta značajniji od elementa X ;
- *Aksiom homogenosti.* Poređenje ima smisla jedino ako su elementi uporedivi – npr., ne može se porediti težina komarca i težina slona;
- *Aksiom zavisnosti.* Dozvoljava se poređenje među grupom elemenata jednog nivoa u odnosu na element na višem nivou, odnosno poređenja na nižem nivou zavise od elemenata na višem nivou;
- *Aksiom očekivanja.* Svaka promena u strukturi hijerarhije problema odlučivanja zahteva ponovno vrednovanje elemenata hijerarhije.

Prednosti i nedostaci AHP

Kao značajne prednosti metoda AHP autori (Saaty, 1986, 1999; Harker i Vargas, 1987; Alphonse, 1997; Hot, 2014) izdvajaju sledeće:

- Pored ranga alternativa ili kriterijuma (ordinalna informacija) AHP daje i njihove težinske vrednosti (kardinalna informacija) i zbog toga može da se koristi i za probleme alokacije resursa;
- AHP se može fazifikovati za probleme odlučivanja u uslovima rizika i neizvesnosti;
- Može se koristiti u individualnom i grupnom kontekstu;
- AHP razlaže realni problem odlučivanja u hijerarhiju, čime se donosiocu odluke olakšava proces odlučivanja;
- Poređenje u parovima primorava donosioca odluka da jasno izrazi relativni značaj elemenata odlučivanja (kriterijuma, podkriterijuma i alternativa) na svim nivoima hijerarhije;
- Redundantnost poređenja u parovima dovodi do toga da je AHP manje osetljiv na greške u procenivanju;
- AHP integriše kvalitativne i kvantitativne faktore u odlučivanju. Ovo je bitno naglasiti jer je većina problema odlučivanja kombinacija kvalitativnih i kvantitativnih faktora;
- Mogućnost analize suprotstavljenih ciljeva;
- AHP uspešno identifikuje i ukazuje na nekonzistentnost vrednovanja donosilaca odluka računanjem indeksa konzistentnosti;

- Kada se koristi za grupno donošenje odluka, AHP značajno poboljšava komunikaciju među članovima grupe i povećava znanje o problemu odlučivanja;
- AHP omogućava donosiocu odluka analizu osetljivosti dobijenih rezultata;
- Postojanje sofisticiranih i tzv. "user-friendly" softvera kao što je *Expert Choice* koji donosiocima odluka omogućava jednostavno modeliranje problema odlučivanja, ima dizajn prilagođen prosečnom korisniku računara, omogućava korigovanja ocena od strane donosilaca odluka i dr.

Pored prednosti, AHP ima i određene nedostatke sa kojima se donosioci odluka mogu susresti. O tome su pisali Belton i Gear (1983), Dyer (1990), Hot (2014) i drugi autori, a najčešće spominjani nedostaci su:

- Za određene probleme odlučivanja Satijeva skala relativnog značaja nije dovoljno velika;
- Kod većine problema odlučivanja je potreban veliki broj poređenja u parovima što zahteva dosta vremena;
- Postizanje prihvatljivog nivoa konzistentnosti je često vrlo teško;
- Nije dozvoljeno da postoje kriterijumi i/ili alternative koje se ne mogu porediti;
- Nekompetentan izbor donosilaca odluka može da dovede do nekvalitetne odluke;
- Problem narušavanja rangova. Belton i Gear (1983) su dokazali da dodavanjem nove alternative postojećim može doći do narušavanja ranije uspostavljenih rangova.

Kao što je rečeno, AHP je pogodan za grupno odlučivanje. Osnovne prednosti grupnog donošenja odluka (u odnosu na individualno) su sledeće:

- Znanje grupe je često veće od znanja pojedinca;
- Participacija u odlučivanju povećava prihvatanje odluke od strane članova grupe;
- Odgovornost i rizik se dele na članove grupe;
- Donesena odluka ima veći legitimitet da bude sprovedena u delo.

Negativni aspekti su sledeći:

- Duže trajanje procesa odlučivanja;
- Opasnost od prevelikog uticaja člana grupe sa najvećim autoritetom na grupnu odluku;
- Insistiranje na konsenzusu može ograničavati i sputavati članove grupe;
- Mogućnost konflikata i neslaganja između članova grupe.

Primenom grupnog odlučivanja pomoću AHP, odnosno unošenjem individualnih vrednovanja nezavisno od drugih članova grupe eliminišu se neki od nedostataka grupnog odlučivanja (Hot, 2014):

- Onemogućava se pritisak na članove grupe koji imaju drugačije mišljenje;
- Svaki učesnik individualno unosi svoja vrednovanja;

- Zahvaljujući softverskoj podršci, proces odlučivanja i dobijanje grupne odluke su brzi;
- Konflikti i neslaganje između donosilaca odluka nisu mogući jer svaki pojedinac donosi odluku samostalno, a grupna odluka se dobija objedinjavanjem individualnih.

2.1.1. Metodi prioritizacije i mere konzistentnosti

Neka je data matrica vrednovanja $A=(a_{ij})_{n \times n}$, gde je $a_{ij}>0$ i $a_{ij} \times a_{ji}=1$. Ako koristimo standardnu Satijevu skalu, onda svako a_{ij} može da ima jednu od 17 vrednosti iz diskretnog intervala $[1/9, 9]$. Prioritizacija predstavlja proces određivanja vektora prioriteta $w=(w_1, \dots, w_n)^T$, iz matrice A , gde je svako $w_i>0$ i važi da je $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Postoji više matričnih i optimizacionih metoda prioritizacije (Tabela 2), a najčešće korišćeni su metod sopstvenih vrednosti (EV) (Saaty, 1980), logaritamski metod najmanjih kvadrata (LLS) (Crawford i Williams, 1985) i aditivni metod (AN) (Saaty, 1980).

Tabela 2. Metodi prioritizacije i njihovi autori (Srdjevic, 2005)

Metodi prioritizacije	Autori metoda
Metod sopstvenih vrednosti (eigenvector method – EV)	Saaty (1980)
Aditivni metod (additive normalization method – AN)	Saaty (1980)
Metod otežanih najmanjih kvadrata (weighted least squares method – WLS)	Chu i sar. (1979)
Logaritamski metod najmanjih kvadrata (logarithmic least squares method – LLS)	Crawford i Williams (1985)
Metod logaritamskog ciljnog programiranja (logarithmic goal programming method – LGP)	Bryson (1995)
Metod fazi programiranja prioriteta (fuzzy preference programming method – FPP)	Mikhailov (2000)

Crawford i Williams (1985), Zahedi (1986), Takeda i sar. (1987) i Barzilai (1997) tvrde da je LLS superiorniji od EV. Saaty (1990) i Kumar i Ganesh (1996) brane suprotan stav, a Golany i Kress (1993) smatraju da ishod poređenja metoda prioritizacije zavisi od kriterijuma u odnosu na koje se analiziraju. Poređenjem različitih metoda prioritizacije su se bavili i Mikhailov i Singh (1999), Mikhailov (2000) i Dong i sar. (2008). Mikhailov (2000) je definisao tzv. prirodni indeks konzistentnosti u prioritizaciji u fazi smislu a kasnije je indeks generalizovan i za grupne primene (Mikhailov, 2004); ovi postupci su ocenjeni kao relativno složeni i za sada nemaju širu primenu.

Na osnovu navedene literature ne može se izvući jedinstveno mišljenje o tome koji metod prioritizacije je najbolji. Naučna diskusija o ovom pitanju i dalje je otvorena.

Značajan doprinos analizi ove problematike dao je Srdjevic (2005), pokazujući da je metod AN u nekim slučajevima bolji i od EV i LLS ako se za poređenje koriste univerzalni pokazatelji konzistentnosti euklidsko rastojanje (Euclidean distance - *ED*) i stepen narušavanja rangova (minimum violation - *MV*). Otuda je stav da u disertaciji treba koristiti ova tri metoda prioritizacije i sprovesti što kompletniju analizu predloženog načina objedinjavanja individualnih odluka u grupnu.

Pored metoda prioritizacije, jedna od bitnih karakteristika AHP je da na svim nivoima hijerarhije proverava konzistentnost vrednovanja donosilaca odluka. Ovo se vrši pomoću parametara konzistentnosti, pri čemu treba razlikovati parametre konzistentnosti čija primena je uslovljena metodom prioritizacije i parametre konzistentnosti koji su univerzalni jer se mogu koristiti za sve metode prioritizacije.

U nastavku ovog poglavlja će biti dat kratak opis korišćenih metoda prioritizacije i njima pripadajućih parametara konzistentnosti.

Metod sopstvenih vrednosti (eigenvector method - EV)

Saaty (1977; 1980) je predložio da se za traženi vektor prioriteta za matricu A uzima njen vektor sopstvenih vrednosti w . Vektor se određuje kao rešenje linearnog sistema:

$$Aw = \lambda w, \quad e^T w = 1, \quad (3)$$

gde je λ sopstvena vrednost matrice A , dok je e jedinični vektor (svi elementi vektora su 1) istog reda kao i matrica A .

Za proveru konzistentnosti Saaty (1977) je predložio stepen konzistentnosti (consistency ratio - *CR*) koji se koristi kod metoda EV i AN. Izračunavanje stepena konzistentnosti se sastoji iz dva koraka. U prvom se izračuna indeks konzistentnosti (consistency index - *CI*) pomoću relacije (4):

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (4)$$

gde je n rang matrice, a λ_{\max} maksimalna sopstvena vrednost matrice poređenja.

U drugom koraku se stepen konzistentnosti (CR) izračunava kao odnos indeksa konzistentnosti (CI) i slučajnog indeksa (RI):

$$CR = CI / RI . \tag{5}$$

Slučajni indeks (RI) zavisi od ranga matrice i njegove vrednosti su dobijene slučajnim (nasumičnim) generisanjem 500 matrica (Tabela 3).

Tabela 3. Vrednosti slučajnog indeksa (RI) u zavisnosti od ranga matrice

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Ako je stepen konzistentnosti (CR) manji ili jednak od 0,10 rezultat ukazuje da je donosilac odluka bio konzistentan i da nema potrebe za ponavljanjem vrednovanja (Jandrić i Srđević, 2000). Ukoliko je CR veće od 0,10 donosilac odluka bi trebao da ponovi (ili modifikuje) svoja vrednovanja kako bi popravio sopstvenu konzistentnost. Ovde se mogu javiti dva problema. Prvi je da neki od donosilaca odluke ne žele da promene svoja vrednovanja (iskustvo iz realnih problema odlučivanja je pokazalo da se ovo često događa), a drugi je objektivna okolnost da je izuzetno teško postići traženu konzistentnost, pogotovo ako je broj elemenata koji se porede veći i približava se maksimalnom broju 9. Radi ilustracije ove tvrdnje, na primeru milion slučajno generisanih matrica za svaku veličinu (rang) matrice, dat je broj matrica koje su imale dozvoljenu konzistentnost (Tabela 4).

Tabela 4. Rezultati konzistentnosti za milion slučajno generisanih matrica za svaki od datih rangova

rang	3	4	5	6	7	8	9
Broj matrica sa $CR \leq 0,1$	221.166	32.345	2.534	81	2	0	0

Metod aditivne normalizacije (additive normalization method - AN)

Metod aditivne normalizacije je jednostavan i često korišćen metod. Da bi se dobio vektor prioriteta w dovoljno je podeliti svaki element iz date kolone matrice A zbirom elemenata te kolone (normalizacija), zatim sabrati elemente u svakoj vrsti i na kraju svaki dobijeni zbir podeliti sa rangom matrice n . Ova procedura opisana je relacijama (6) i (7):

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n, \tag{6}$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Za proveru konzistentnosti koristi se identična procedura kao i kod metoda sopstvenih vrednosti.

Logaritamski metod najmanjih kvadrata (logarithmic least squares - LLS)

Metod je optimizacioni jer se rešava problem:

$$\min_w \sum_{i=1}^n \sum_{i < j}^n (\ln a_{ij} - (\ln w_i - \ln w_j))^2 \quad (8)$$

$$\text{uz ograničenja: } w_i > 0, i = 1, 2, \dots, n; \quad i \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1. \quad (10)$$

U relacijama (8)-(10) n je dimenzija matrice A , a w_i ($i = 1, \dots, n$) su nepoznate težine poređenih elemenata. Crawford i Williams (1985) su pokazali da je rešenje problema (8)-(10) jedinstveno i da se određuje računanjem geometrijskih sredina vrsta matrice A :

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \left(\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \right)}. \quad (11)$$

Za merenje konzistentnosti donosioca odluke, odnosno matrice A , isti autori su predložili geometrijski indeks konzistentnosti (geometric consistency index - GCI):

$$GCI(A) = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{i < j} (\ln(a_{ij}) - \ln(w_i) + \ln(w_j))^2. \quad (12)$$

Kada je $GCI(A)=0$, matrica A je potpuno konzistentna. Prema Aguaron i Moreno-Jimenez (2003), matrica ima prihvatljivu nekonzistentnost ako je: $GCI < 0,31$ za $n=3$; $GCI < 0,35$ za $n=4$; i $GCI < 0,37$ za $n > 4$.

2.1.2. Metodi objedinjavanja individualnih ocena i odluka u grupne ekvivalente

Postoje dva osnovna i najčešće korišćena načina dobijanja grupne odluke u AHP-u: objedinjavanje individualnih ocena (aggregation of individual judgments - AIJ) i objedinjavanje individualnih prioriteta (aggregation of individual priorities - AIP) (Ramanathan i Ganesh, 1994; Forman i Peniwati, 1998). Kod metoda AIJ, prvo se odrede elementi grupne matrice na jedan od tri načina: konsenzusom, glasanjem ili matematičkom sintezom individualnih vrednovanja članova grupe. Nakon određivanja grupne matrice, grupni vektor prioriteta se dobija nekim od metoda prioritizacije. Najčešće se grupna matrica generiše geometrijskim osrednjavanjem individualnih ocena članova grupe. Naime, objedinjavanje individualnih vrednovanja aritmetičkim osrednjavanjem nije uvek opravdano, naročito kod izrazito divergentnih vrednovanja, te se zato preporučuje geometrijsko osrednjavanje. Pored toga, kod geometrijskog osrednjavanja dobijena grupna matrica je recipročna kao što su i individualne matrice; napomenimo da standardni AHP podrazumeva ovu recipročnost (Aczel i Saaty, 1983; Aczel i Roberts 1989; Forman i Peniwati, 1998).

Kod drugog načina objedinjavanja - AIP, prvo se izračunaju individualni vektori prioriteta koji se zatim objedinjuju u grupni vektor prioriteta koristeći metod aritmetičke ili geometrijske sredine. Forman i Peniwati (1998) su predložili geometrijsku sredinu, dok su Ramanathan i Ganesh (1994) pre njih za istu svrhu predložili aritmetičku sredinu. Preporuka da se u AHP za objedinjavanje individualnih u grupne prioritete koristi aritmetička sredina data je u radovima Labib i sar. (1996), Labib i Shah (2001), Condon i sar. (2003) i Ishizaka i Labib (2011).

Treći način dobijanja grupne odluke je primenom konvergentnog modela konsenzusa (Consensus Convergence Model - CCM) (Regan i sar., 2006) u kome se, pored grupne odluke, indirektno određuju i težine donosilaca odluke (Srdjevic i sar., 2013). Nastao je na osnovu originalnog modela koji su predložili Lehrer i Wagner (1981), a koji se zasniva na dodeljivanju težina donosiocima odluka na osnovu međusobnog uvažavanja, odnosno mišljenja koje donosioci odluka imaju o kompetentnosti ostalih učesnika u procesu donošenja odluka. U modifikovanom modelu (Regan i sar., 2006) korišćenom u ovoj disertaciji, težine donosilaca odluka se određuju na osnovu vrednosti koje je svaki donosilac odluka dodelio odgovarajućim elementima problema odlučivanja (kriterijumima, podkriterijumima i/ili alternativama). CCM se koristi u kombinaciji sa AHP tako što individualni vektori prioriteta (dobijeni nekim od metoda prioritizacije) predstavljaju ulazne podatke za ovaj model (Srdjevic i sar., 2013).

Četvrti način dobijanja grupne odluke je putem konsenzusa. Konsenzus se definiše kao potpuno i jednoglasno slaganje svih donosilaca odluka u grupi oko težina i rangova alternativa. Postoje razni modeli konsenzusa (npr., Margerum, 2002; Moreno-Jimenez i sar., 2005; Ben-Arieh i

Easton, 2007; Chiclana i sar., 2008; Ben-Arieh i sar., 2009; Chen i Cheng, 2009; Xu, 2009; Dong i sar., 2010a). Međutim, neki istraživači smatraju da potpuno slaganje nije neophodno (i nije ostvarivo) u realnim poslovima odlučivanja i da radije treba težiti tzv. "mekom" konsenzusu koji se zasniva na merenju odstupanja individualne odluke svakog člana grupe od grupne odluke (Herrera i sar., 1996; Herrera-Viedma i sar., 2002; Herrera-Viedma i sar., 2007; Dong i sar., 2010b). Ovo odstupanje ujedno predstavlja grupnu konzistentnost, odnosno pokazatelj saglasnosti individualnih odluka sa grupnom. Osnova ovih modela je da u svakoj iteraciji menjaju individualne ocene donosioca odluke sa najvećim odstupanjem od grupne odluke u pravcu poboljšanja (povećanja) grupne konzistentnosti.

Na primer, Herrera-Viedma i sar. (2002) su predložili model konsenzusa koji se zasniva na merenju rastojanja između rangova alternativa dobijenih individualnim vrednovanjem DO i rangova alternativa u grupnoj odluci. Iako se ovaj model može koristiti u kombinaciji sa AHP, on ovde nije od interesa jer tretira samo rangove alternativa (ordinalnu informaciju) a ne uzima u obzir težine alternativa u vektorima prioriteta (kardinalne informacije).

Mnogi autori (Chiclana i sar., 2008; Dong i sar., 2010b; Xu i Cai, 2011; Wu i Xu, 2012; Xia i sar., 2013; Xu i Wu, 2013; Xu i Wang, 2013) su predložili modele konsenzusa zasnovane na kardinalnim informacijama, a ovde je korišćen geometrijski kardinalni model konsenzusa (geometric cardinal consensus model - GCCM), predložen u Dong i sar. (2010b). Model je izabran jer je eksplicitno vezan za AHP; takođe rad u kome je predložen je jedan od najcitiranijih iz oblasti kombinovanja AHP i konsenzus modela. GCCM se koristi kada se u AHP koristi prioritizacioni metod LLS; grupna konzistentnost se meri pomoću geometrijskog kardinalnog indeksa konsenzusa (geometric cardinal consensus index - *GCCI*) koji je zasnovan na već pomenutom geometrijskom indeksu konzistentnosti (*GCI* - vidi relaciju (12)). Model se zasniva na postepenom usaglašavanju individualnih ocena članova grupe u pojedinačnim matricama odlučivanja sa grupnim vektorom prioriteta, odnosno u smanjivanju odstupanja individualnih ocena DO od grupnog vektora prioriteta. Ovo se postiže tako što se u svakoj iteraciji menjaju individualne ocene donosioca odluke sa najvećim geometrijskim kardinalnim indeksom konsenzusa - *GCCI*. Model je matematički logično postavljen ali implicira menjanje odluka članova grupe aposteriori i bez provere da li su oni sa time saglasni ili ne, što je njegov osnovni nedostatak.

Pri objedinjavanju individualnih odluka u grupnu treba napomenuti da kod metoda objedinjavanja AIJ, AIP i CCM grupna odluka može da se razlikuje u zavisnosti od izabranog metoda prioritizacije. Kod metoda AIJ različiti metodi prioritizacije primenjeni na grupnu matricu mogu da daju različite grupne vektore prioriteta. Na drugoj strani, individualni vektori prioriteta predstavljaju ulazne podatke za AIP i CCM a oni takođe zavise od izabranog metoda prioritizacije. Još jednu stvar je bitno naglasiti: Barzilai i Golany (1994) su dokazali da će se

grupni vektori prioriteta dobijeni pomoću metoda AIJ i AIP razlikovati za metode prioritizacije EV i AN, dok će za metod LLS uvek biti identični.

Objedinjavanje individualnih ocena (aggregation of individual judgments - AIJ)

Kod metoda AIJ, za dobijanje grupne matrice $A^{(g)} = (a_{ij}^{(g)})_{n \times n}$, koristi se metod ponderisane geometrijske sredine (weighted geometric mean) dat relacijom (13):

$$a_{ij}^g = \prod_{k=1}^m (a_{ij}^{(k)})^{\alpha_k}, \quad (13)$$

gde je m broj DO, α_k je težina k -tog DO pri čemu važi da je $\sum_{k=1}^m \alpha_k = 1$.

Nakon dobijanja grupne matrice $A^{(g)}$ izračunava se grupni vektor prioriteta koristeći metod prioritizacije EV, AN ili LLS.

Objedinjavanje individualnih prioriteta (aggregation of individual priorities - AIP)

Neka je $w^{(k)} = (w_1^{(k)}, \dots, w_n^{(k)})^T$ individualni vektor prioriteta za k -tog donosioca odluka, dobijen iz njegove individualne matrice vrednovanja $A^{(k)}$ koristeći metod prioritizacije EV, AN ili LLS. Grupni vektor prioriteta $w_i^{(g)}$ se dobija pomoću metoda ponderisane aritmetičke sredine:

$$w_i^{(g)} = \sum_{k=1}^m w_i^{(k)} \alpha_k. \quad (14)$$

Konvergentni model konsenzusa (consensus convergence model – CCM)

Nastao je na osnovu modela koji su predložili Lehrer i Wagner (1981), a koji se zasniva na dodeljivanju težina donosiocima odluka na bazi međusobnog uvažavanja, odnosno respekta kompetentnosti ostalih učesnika u procesu donošenja odluka (Hartmann i sar., 2009). Donosilac odluke i dodeljuje težine respektovanja t_{ij} svakom članu grupe j (uključujući i sebe). Težine respektovanja t_{ij} imaju sledeće karakteristike (Yaniv, 2004):

1. Svaki donosilac odluka će najveću težinu dodeliti sebi.
2. Donosioci odluka će najveće težine dodeliti onim članovima grupe čije odluke najmanje odstupaju od njihovih.
3. Donosioci odluka će najmanje težine dodeliti onim članovima grupe čije odluke najviše odstupaju od njihovih.

4. $\sum_{j=1}^m t_{ij} = 1$, za grupu od m donosilaca odluke.

Ovde je predložena prilagođena verzija konvergentnog modela konsenzusa prezentovana u (Regan i sar., 2006). Procedura se zasniva na originalnom modelu (Lehrer i Wagner, 1981) koji koristi težine respektovanja svakog DO i modifikovanom modelu (Regan i sar., 2006). Modifikovani model predlaže korišćenje težina respektovanja koje se dobijaju na osnovu razlike u težinama koje su DO dodeli određenim elementima odlučivanja (kriterijumima, podkriterijumima ili alternativama). Ako su početne težine elementa (neka ovde bude kriterijum) za m donosilaca odluke $w_1^0, w_2^0, \dots, w_m^0$, težine respektovanja t_{ij} su tada

$$t_{ij} = \frac{1 - |w_i^0 - w_j^0|}{\sum_{j=1}^m 1 - |w_i^0 - w_j^0|}, \quad (15)$$

gde i označava DO koji ocenjuje, j DO koji se ocenjuje i m predstavlja broj DO.

Pomoću težina respektovanja se kreira matrica T koja ima rang m :

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \dots & t_{1m} \\ t_{21} & t_{22} & \dots & t_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{m1} & t_{m2} & \dots & t_{mm} \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Ako je W_0 vektor početnih težina kriterijuma, konsenzus vektor kriterijuma W_c se dobija kroz iterativni proces pomoću relacije (17):

$$W_c = T \times W_{c-1}. \quad (17)$$

Procedura se završava kada su težine kriterijuma u vektoru W_c i W_{c-1} približno jednake (sa tolerantnom greškom odstupanja); procedura se zatim ponavlja za sve kriterijume. Konvergentnost je zagarantovana ako su težine respektovanja konstantne za sve DO tokom iterativnog procesa (Lehrer i Wagner, 1981).

Geometrijski kardinalni model konsenzusa (geometric cardinal consensus model - GCCM)

Model predložen od Dong i sar. (2010b) se koristi u kombinaciji sa metodom prioritizacije LLS i zasniva se na iterativnom usaglašavanju individualnih ocena članova grupe u pojedinačnim matricama odlučivanja $A_z^{(c)}$ sa grupnom matricom $A_z^{(g)}$, odnosno u smanjivanju odstupanja individualnih odluka od grupne odluke. Ako ima n elemenata odlučivanja i m donosilaca odluka, algoritam modela se može predstaviti u 5 koraka:

1. Neka je $z=0$ i $A_z^{(c)} = (a_{ij,z}^{(c)})_{n \times n}$, $c=1, \dots, m$.
2. Neka je $w_z^{(g)} = (w_{1,z}^{(g)}, w_{2,z}^{(g)}, \dots, w_{n,z}^{(g)})$ grupni vektor težina izračunat metodom LLS iz grupne matrice $A_z^{(g)} = (a_{ij,z}^{(g)})_{n \times n}$. Elementi matrice su:

$$a_{ij,z}^{(g)} = \prod_{c=1}^m (a_{ij,z}^{(c)})^{\alpha_c}, \quad (18)$$

gde je z redni broj iteracije.

3. Izračunati kardinalni indeks konsenzusa za svaku matricu $A_z^{(c)}$:

$$GCCCI(A_z^{(c)}) = \frac{2}{(n-1)(n-2)} \sum_{\substack{i < j \\ i, j=1}}^n (\ln(a_{ij,z}^{(c)}) - \ln(w_{i,z}^{(g)}) + \ln(w_{j,z}^{(g)}))^2. \quad (19)$$

Ako za svako c važi da je $GCCCI(A_z^{(c)}) \leq GCCCI_{\max}$, preći na korak 5; u protivnom, nastaviti sa korakom 4.

4. Uzeti matricu sa najvećim $GCCCI$ (to je matrica koja najviše odstupa od grupne matrice) i na njoj izvršiti korekcije ocena donosioca odluka na sledeći način:

$$a_{ij,z+1}^{(c)} = (a_{ij,z}^{(c)})^{\theta} \left(\frac{w_{i,z}^{(g)}}{w_{j,z}^{(g)}} \right)^{1-\theta}, \quad \text{gde je } 0 < \theta < 1. \quad (20)$$

Preostale matrice u iteraciji $z+1$ ostaju iste kao u iteraciji z ($A_{z+1}^{(c)} = A_z^{(c)}$).
Zatim se vratiti na Korak 2.

* Napomena: što je θ veće, potreban je veći broj iteracija da bi se postigao konsenzus (za veće vrednosti θ , početne ocene DO će se manje menjati u svakoj iteraciji pa će biti potreban veći broj iteracija da bi se postigao konsenzus). Ovde je usvojeno da je $\theta = 0,8$, isto kao u Dong i sar. (2010b).

5. Kraj. Izlaz algoritma su iterativno korigovane početne matrice $A_z^{(c)}$ za svakog DO čiji je kardinalni indeks konsenzusa ($GCCI(A_z^{(c)})$) manji od zadanog ($GCCI_{\max}$), ukupan broj iteracija (z) koji je bio potreban da se postigne konsenzus, grupna matrica ($A_z^{(g)}$) i njoj pripadajući vektor težina ($w_z^{(g)}$) koji predstavlja konačno konsenzus rešenje.

Napomena:

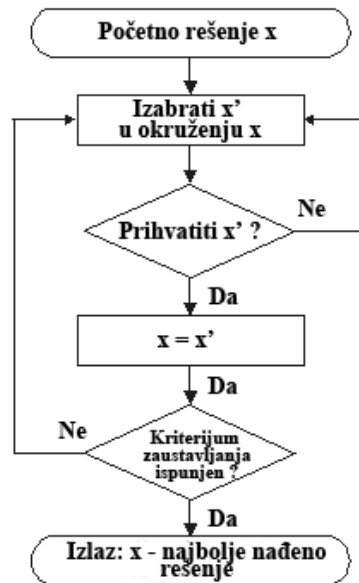
- Ako je $GCCI(A^{(c)})=0$, onda je c -ti DO u apsolutnom (potpunom) konsenzusu sa grupnim vektorom prioriteta.
- U ovom radu su uzete dve vrednosti za $GCCI_{\max}$:
 - a) $GCCI_{\max}^*=0,37$ za $n=9$ i $GCCI_{\max}^*=0,35$ za $n=5$. Ove vrednosti zavise od ranga matrice i predstavljaju prihvatljiv nivo konsenzusa; Aguarón i Moreno-Jiménez (2003) su originalno odredili ove granične vrednosti kada su određivali prihvatljiv nivo konzistentnosti kod metoda LLS.
 - b) $GCCI_{\max}^{**}=0,001$, što predstavlja približno apsolutni konsenzus.

Pre sledećeg poglavlja, treba napomenuti da su AHP metod (sa različitim metodima prioritizacije i merama konzistentnosti), metodi objedinjavanja individualnih AHP odluka u grupnu i konsenzus modeli isprogramirani u FORTRANU 77 od strane Prof. dr Bojana Srđevića, Prof. dr Zorice Srđević i autora disertacije.

2.2. Predloženi metod za objedinjavanje individualnih AHP ocena u grupnu odluku

Najnoviji pristup rešavanju NP-teških problema kombinatorne optimizacije je metaheuristički i u praksi predstavlja skup algoritama koji se često zasnivaju na procesima koji su preuzeti iz prirode. Metaheuristički algoritmi predstavljaju optimizacione metode koji u svakoj iteraciji pokušavaju da nađu bolje rešenje. Zajedničko za sve metaheurističke metode je da nijedna od njih ne garantuje da će pronaći optimalno rešenje zbog toga što je prostor za pretraživanje praktično beskonačan. Danas se metaheuristički algoritmi primenjuju u različitim oblastima, a Savic i Walters (1997), Kapelan i sar. (2005), Savic i sar. (1997; 2011) su dali značajne rezultate koristeći ih za rešavanje problema u oblasti vodoprivrede.

Lokalno pretraživanje (local search - LS) je jedan od najjednostavnijih metaheurističkih algoritama koji se često koristi kao komponenta složenijih metaheurističkih algoritama (Slika 2). LS pokušava naći optimalno rešenje smanjujući prostor pretraživanja. Odredi se početna tačka (početno rešenje) a zatim se pretražuje njena okolina. Ako je pronađeno bolje rešenje od početnog, postupak se ponavlja u okolini novog rešenja, u suprotnom se algoritam zaustavlja. Na taj način se pronalazi lokalni optimum.



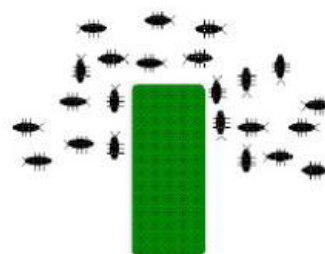
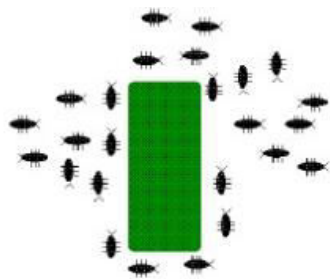
Slika 2. Osnovni algoritam lokalnog pretraživanja

Tabu pretraživanje (tabu search - TS) se sastoji od algoritma lokalnog pretraživanja i tabu liste koja služi kao kratkotrajna memorija. Tabu lista sadrži određen broj prethodno posećenih tačaka (rešenja) koje se ne mogu pojaviti u sledećoj iteraciji. Nemogućnost povratka u tačke iz prethodnih nekoliko iteracija pomaže pri izbegavanju lokalnih optimuma (Glover, 1986).

Genetički algoritmi (genetic algorithm - GA) su zasnovani na ideji Darwinove teorije o postanku vrsta i prirodnoj evoluciji. Iako su prvi radovi iz ove oblasti nastali 60-tih godina prošlog veka, kao idejni tvorac se zvanično uzima Holland (1975). Prirodna selekcija omogućuju da se uspešne jedinke reprodukuju više od drugih. Prilikom reprodukcije postoje dva mehanizma koja proces prirodne selekcije čine vrlo složenim i nepredvidivim. Jedan je mutacija na osnovu koje potomak može biti mnogo drugačiji od svojih bioloških roditelja, a drugi je proces ukrštanja po kome se različitost potomka u odnosu na roditelje obezbeđuje kombinovanjem genetskog materijala oba roditelja. Slično kao u prirodi, genetički algoritmi pokušavaju da nađu najbolju jedinku (rešenje) koristeći osnovne operacije GA: selekciju, ukrštanje i mutaciju. Svaka jedinka (odnosno moguće rešenje u prostoru pretrage) je predstavljena genetskim kodom (najčešće se koristi binarno kodiranje). Početna populacija jedinki se često generiše na slučajnan način, što doprinosi raznovrsnosti genetskog materijala. Operator selekcije favorizuje najbolje jedinke koje dobijaju veću šansu za reprodukciju pri formiranju nove generacije. Operator ukrštanja vrši rekombinaciju gena jedinki i time doprinosi raznovrsnosti genetskog materijala. Višestrukom primenom selekcije i ukrštanja moguće je gubljenje genetskog materijala, odnosno neki delovi prostora pretraživanja postaju nedostupni. Mutacija vrši slučajnu promenu određenog gena sa malom verovatnoćom, čime je moguće vraćanje izgubljenog genetskog materijala u populaciju. To je osnovni mehanizam za sprečavanje preuranjene konvergencije GA u lokalnom ekstremu.

Evolucione strategije (evolution strategies - ES) (Rechenberg, 1965; Schwefel, 1965) takođe pripadaju metodama za rešavanje problema optimizacije čije su ideje preuzete iz prirodne evolucije. One koriste mutaciju kao mehanizam pretrage i selekciju za usmeravanje prema perspektivnim regionima pretraživačkog prostora. Za razliku od GA, one ne sadrže operator ukrštanja, već je mutacija jedini mehanizam pretrage.

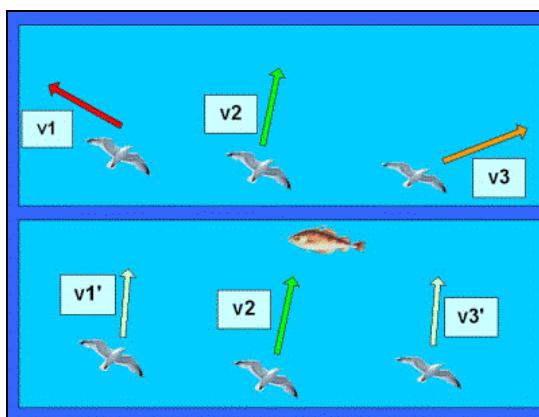
Algoritmi mravljih kolonija (ant colony algorithms - ACA). Dok se kreću, mravi polažu na tle određenu količinu hemijske supstance poznate kao feromon. Istraživanja biologa i inženjera su pokazala da svaki mrav sa određenom verovatnoćom preferira praćenje putanje (traga) na kojoj postoji deblji (bogatiji) sloj feromona. Ova jednostavna činjenica objašnjava zašto su mravi sposobni da se prilagode promenama u svom okruženju, kao što je npr. pojava neke prepreke na njihovom putu (Slika 3). Mravi koji krenu kraćim putem, brže će formirati jači trag feromona nego oni koji idu dužim putem. To će dalje izazvati da sve više i više mrava kreće za jačim feromonskim tragom dok konačno svi mravi ne nađu taj kraći put (Slika 4).



Slika 3. Prepreka na putanju kolone mrava Slika 4. Kolona mrava koja je našla najkraći put

Opisana ideja o kretanju kolonija mrava dovela je do razvoja "algoritama mravljih kolonija". Tvorcima mravlje metodologije optimizacije smatraju se belgijski naučnik Dorigo i njegov saradnik Djambardela (Dorigo i sar., 1996; Dorigo i Gambardella, 1997). Glavna ideja ovog pristupa diskretnoj optimizaciji je da se simulira ponašanje veštačkih mrava (pokretljivi agenti inspirisani ponašanjem stvarnih mrava) i generišu nova rešenja za dati problem. Veštački mravi koriste informaciju sakupljenu tokom prethodnih simulacija i usmeravaju tok daljeg traženja rešenja problema, s tim da je ta informacija raspoloživa i promenljiva u datom okruženju.

Optimizacija rojem čestica (particle swarm optimization - PSO) spada u algoritme inteligencije roja koji su razvili Kennedy i Eberhart (1995) inspirisani ponašanjem jata ptica i roja insekata. U jatu svaka ptica traži hranu na određenom prostoru. Ako jedna ptica pronade dobar izvor hrane, vrlo je verovatno da će je ostale ptice u jatu slediti. Pored ovog kolektivnog ponašanja, svaka ptica u jatu poseduje instinkt za traženjem još boljeg hranilišta. Zbog toga se ptice kratko odvajaju od jata u potrazi za boljim hranilištem; ako ga pronadu, jato će ih slediti (Slika 5).



Slika 5. Ponašanje jata galebova prilikom traženja hrane

U PSO se nasumično generiše populacija rešenja, odnosno čestica koje "lete" po multidimenzionalnom prostoru za pretraživanje. Za vreme leta, svaka čestica podešava svoju poziciju na osnovu sopstvenog i iskustva svojih najbližih suseda. Tačnije, svaka čestica pamti koordinate koje predstavljaju njeno najbolje rešenje. Takođe, čestica pamti i najbolje rešenje do

kojeg je došla bilo koja susedna čestica. S obzirom da su sve čestice topološki susedi, najbolje rešenje roja (jata) je globalni optimum.

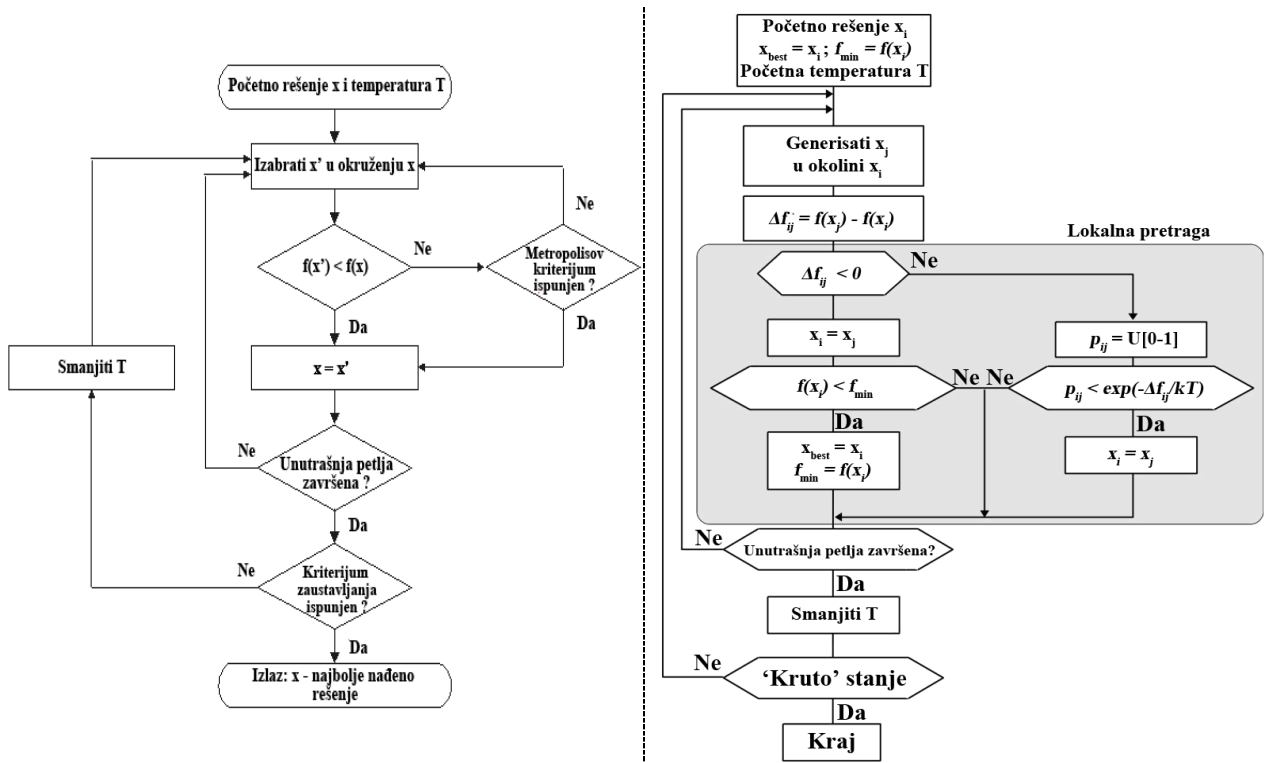
Simulirano kaljenje (simulated annealing - SA) je stohastička relaksacijska tehnika koja daje analogiju između procesa kaljenja metala i rešavanja optimizacionih problema (Dowsland, 1995). Interesovanje za SA je počelo sa radovima Kirkpatrick i sar. (1983) i Cerny (1985) koji su pokazali kako se model za simuliranje kaljenja metala predstavljen od Metropolis i sar. (1953) može koristiti za rešavanje optimizacionih problema (Eglese, 1990). Algoritam SA je deo mnogih matematičkih softvera (npr. *Mathematica*, *Matlab* i *HeuristicLab*) i korišćen je za rešavanje različitih optimizacionih problema (Zhang i sar., 2010; Lin i Yu, 2012; Ahonen i sar., 2014; Borges i sar., 2014).

Pri procesu kaljenja metal se zagreva na visoku temperaturu, a zatim postepeno hladi i kristalizuje. Budući da proces zagrevanja dopušta slučajno pomeranje atoma, naglo hlađenje sprečava proces dostizanja potpune termalne ravnoteže atoma. Ako se metal hladi polagano, atomima se daje dovoljno vremena da postignu minimalno energetska stanje formirajući pravilnu kristalnu rešetku.

Algoritam simuliranog kaljenja (Slika 6) koristi stohastički pristup vođenja pretrage. Na početku algoritma daje se početna temperatura (T) i početno rešenje x . U svakoj iteraciji, novo rešenje x' se slučajno generiše u okolini x . Rešenje koje daje bolju vrednost ciljne funkcije se prihvata bezuslovno. Takođe, algoritam dopušta da se pretraga nastavi u smeru susednog rešenja, iako je vrednost ciljne funkcije u tom smeru lošija. Prihvatanje rešenja sa lošijom vrednosti ciljne funkcije će zavistiti od verovatnoće P definisane trenutnom temperaturom T i razlikom vrednosti ciljnih funkcija trenutnog i početnog rešenja, $f(x')-f(x)$. Ovo pravilo, odnosno kriterijum, po kome se prihvataju i rešenja sa lošijom vrednosti ciljne funkcije se zove Metropolisov kriterijum (relacija 21).

$$P_{x \rightarrow x'} = \min\left(1, e^{\frac{-(f(x')-f(x))}{T}}\right) \quad (21)$$

Zbog više temperature u početnim iteracijama, veća je verovatnoća da će se prihvatiti rešenje sa lošijom vrednosti ciljne funkcije. Pomeranjem pretrage u pravcu rešenja sa lošijom vrednosti ciljne funkcije algoritam SA pokušava da izbegne lokalne optimume i da pronađe globalni optimum. Zbog ovog svojstva se primenjuje u problemima gde je velika oblast pretraživanja (npr. kod NP-teških problema kombinatorne optimizacije) i vrlo je efikasan u pronalaženju rešenja bliskih optimalnom rešenju. Potencijalna rešenja se generišu na osnovu trenutnog rešenja i proces pretrage prostora se uobičajeno završava kada se dostigne konačna temperatura, kada se izvrši unapred zadati broj iteracija ili kada tokom određenog broja uzastopnih iteracija ne dolazi do promene vrednosti ciljne funkcije.



Slika 6. Dve ilustracije algoritma simuliranog kaljenja

Pored spomenutih postoje i metaheuristike kao što su optimizacija kolonijom pčela (honey bees optimization; Pham i sar., 2005), "marriage in honey bees optimization" (Abbass, 2001) i druge.

U disertaciji je korišćen algoritam simuliranog kaljenja (SA) jer "lakše" izbegava lokalne optimume od drugih metaheuristika (Koulamas i sar., 1994); takođe algoritam je jednostavan i lako se primenjuje jer se nalazi u većini komercijalnih matematičkih softvera (ne zahteva od korisnika dodatno znanje iz programiranja).

Postavka problema optimizacije

U radu se algoritam SA koristi za minimizaciju grupnog euklidskog rastojanja (group euclidean distance - GED) koje predstavlja sumu rastojanja između svih ocena donosilaca odluka $a_{ij}^{(k)}$ (za dati nivo AHP hijerarhije) i pripadajućih količnika težina poređenih elemenata iz grupnog vektora prioriteta w^g . Ideja se zasniva na tome da nije potrebno izračunati individualne vektore prioriteta kao ni grupnu matricu da bi se dobio grupni vektor prioriteta, već da treba težiti iterativnom približavanju grupnog vektora prioriteta individualnim ocenama donosilaca odluka koristeći algoritam SA. Ovaj pristup je novina, jer su se svi raniji pokušaji smanjivanja rastojanja između grupnog vektora prioriteta i individualnih ocena donosilaca odluka zasnivali na

iterativnom menjanju ocena donosioca odluke koji je najviše odstupao od grupnog vektora prioriteta, što je veoma diskutabilno (jer donosioci odluka često nisu voljni da koriguju svoje ocene).

GED je izabran za ciljnu funkciju jer predstavlja meru koja ne zavisi od metoda prioritizacije a ujedno predstavlja i indeks konsenzusa. Što je manje *GED*, to je veći stepen konsenzusa između donosilaca odluka oko grupnog vektora prioriteta (npr., ako je $GED=0$ to znači da je postignut apsolutni konsenzus i da su svi donosioci odluka identično vrednovali problem odlučivanja). Kao što je rečeno, postoji nekoliko indeksa konsenzusa. Neki od njih su zasnovani na rangovima poređenih elemenata (ordinalna informacija) (vidi npr. Herrera-Viedma i sar., 2002), dok su drugi (npr. kardinalni indeks konsenzusa - *GCCI* (Dong i sar., 2010b)) isključivo vezani za određeni prioritizacioni metod i nisu pogodni za univerzalnu primenu. *GED*-u, za čije računanje se koriste grupne težine (kardinalna informacija), je data prednost u odnosu na indekse konzistentnosti zasnovane na rangovima (ordinalna informacija) jer je svrha AHP da izračuna težine alternativa ili kriterijuma/podkriterijuma. Takođe, kada je cilj grupnog odlučivanja da se odrede samo rangovi, mnogo je svrsishodnije, brže i matematički jednostavnije koristiti neki od metoda društvenog izbora (npr. metod Borda).

Predloženi metod za dobijanje grupnog AHP vektora prioriteta je nazvan objedinjavanje algoritmom simuliranog kaljenja ili skraćeno metod SAAP (simulated annealing aggregation procedure - SAAP). Metod SAAP koristi algoritam SA da reši minimizacioni problem dat relacijama (22) i (23):

$$\min f(x) = GED = \left[\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(a_{ij}^{(k)} - \frac{w_i^{(g)}}{w_j^{(g)}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (22)$$

uz uslov

$$\sum_{i=1}^n w_i^{(g)} = 1, \quad w_i^{(g)} > 0, \quad (23)$$

gde je m broj donosilaca odluka, n je broj poređenih elemenata, $a_{ij}^{(k)}$ je ocena k -tog donosioca odluke o međusobnom značaju i -tog i j -tog elementa. $w^{(g)}$ je grupni vektor prioriteta.

Za rešavanje relacija (22) i (23) pomoću algoritma SA može se preporučiti softver *Mathematica* 6. Ulazni podaci i parametri za algoritam SA u softveru dati su u Tabeli 5. Pseudo-kod algoritma predstavljen je na Slici 7. Parametri podešavanja algoritma (Tabela 5) predstavljaju jednu od nekoliko postavki sa kojima je softver vršio izračunavanje grupnih vektora prioriteta. Dobijeni rezultati se nisu razlikovali.

Tabela 5. Ulazni podaci i parametri za algoritam SA u softveru *Mathematica 6*

Ulaz:

Matrice poređenja: $A_{n \times n}^{(k)} = a_{ij}^{(k)}$, $k=1, \dots, m$; gde je m broj DO i n je broj poređenih elemenata

Podešavanje parametara:

Parametar	Vrednost	Objašnjenje
Boltzmann exponent	Automatska*	EkspONENT funkcije verovatnoće
Initial points (x)	Automatska	Set početnih tačaka (set grupnih vektora prioriteta)
Level iterations (i_{max})	500	Maksimalan broj iteracija iz svake početne tačke
Penalty function	Automatska	Funkcija koja kažnjava tačke koje ne ispunjavaju zadata ograničenja
Perturbation scale	1,0	Skala za slučajaj, nasumičan (random) skok
Post process	Automatska	Da li da postproces koristi lokalni metod pretrage
Random seed	0	Startna vrednost generatora slučajnih brojeva
Search points	300	Broj početnih tačaka
Tolerance	0,001	Vrednost za koju će se tolerisati narušavanje zadatih ograničenja

Automatska vrednost* - predstavlja vrednost koju softver automatski uzima na osnovu ugrađenih funkcija

```

begin
   $i=0$ 
   $x_{best} = x$ 
  while  $i < i_{max}$  do
     $i=i+1$ 
    Generate state  $x_{new}$  a neighbor of  $x$ 
     $\Delta f = f(x_{new}) - f(x_{best})$ 
     $b = \frac{-\Delta f \log_2(i)}{10}$ 
    if ( $\Delta f < 0$ ) then
       $x_{best} = x_{new}$ 
       $x = x_{new}$ 
    else if (RANDOM(0,1)  $< e^b$ ) then
       $x_{best} = x_{new}$ 
       $x = x_{new}$ 
    end while
end

```

Slika 7. Pseudo-kod algoritma SA

U pseudo-kodu (Slika 7) x , x_{new} i x_{best} predstavljaju potencijalni grupni vektor prioriteta a $f(x, x_{new}, x_{best})$ pripadajuće grupno euklidsko rastojanje (*GED*). U svakoj iteraciji, novo rešenje x_{new} , se slučajno generiše u okolini trenutnog (početnog) rešenja x . Prostor (radijus okoline) iz koga se generišu nova rešenja se smanjuje u svakoj iteraciji. Trenutno najbolje rešenje se pamti kao x_{best} .

Ako je $f(x_{new}) \leq f(x_{best})$, x_{new} zamenjuje x_{best} i x . U suprotnom, x_{new} zamenjuje x i x_{best} sa verovatnoćom e^{-b} , pri čemu je:

$$b = \frac{-\Delta f}{temp}, \quad (24)$$

$$\Delta f = f(x_{new}) - f(x_{best}). \quad (25)$$

Autori softvera *Mathematica 6* su rešili problem snižavanja temperature u svakoj iteraciji na sledeći način:

$$b = \frac{-\Delta f \log_2(i+1)}{10}. \quad (26)$$

Iz relacije (26) sledi da se u svakoj iteraciji i snižava temperatura. Snižavanjem temperature i povećanjem Δf se smanjuje verovatnoća zamene boljeg rešenja lošijim. SA kreće pretraživanje iz više slučajno izabranih početnih tačaka (opcija *Search Points* u Tabeli 5) i za svaku od njih, gore opisana procedura se ponavlja dok se ne ostvari maksimalno definisan broj iteracija dat opcijom *Level Iterations* (Tabela 5).

Dve pretpostavke je bitno naglasiti u vezi prethodno opisane procedure:

1. Pretpostavka je da DO koriste Satijevu skalu i da imaju iste težine prilikom odlučivanja.
2. Grupni vektor prioriteta $w^{(g)}$ dobijen pomoću metoda SAAP je lokalni i odgovara jednom čvoru hijerarhije problema odlučivanja.

Primena metoda SAAP prikazana je u Rezultatima (Deo 4).

Kriterijumi za poređenje rezultata

Ideja za heuristički pristup određivanju težina grupnog vektora prioriteta razvijena je na tragu rezultata dobijenih u Srdjevic i Srdjevic (2011), gde je pokazano da individualni vektor prioriteta dobijen pomoću algoritma evolutivne strategije ima bolju performansu od pet najčešće korišćenih metoda prioritizacije u kontekstu dva univerzalna pokazatelja konzistentnosti: totalnog euklidskog rastojanja i stepena narušavanja rangova (minimum violation - *MV*). U ovoj disertaciji su isti kriterijumi modifikovani za grupni kontekst i korišćeni su za testiranje ispravnosti rezultata dobijenih metodom SAAP. *GED*, koji je opisan u prethodnom poglavlju, je korišćen kao primarni kriterijum jer predstavlja ciljnu funkciju u SAAP, dok je grupno narušavanje rangova (group minimum violation - *GMV*) korišćeno kao kontrolni kriterijum. Radi potpunije ocene predloženog pristupa kao dodatni kriterijum za poređenje rezultata uzet je ordinalni indeks konsenzusa (concensus measure - *CM*) predložen od strane Herrera-Viedma i sar. (2002). Iako je cilj predloženog pristupa da se minimizira *GED* (primarni i najbitniji kriterijum jer predstavlja kardinalno odstupanja grupnog vektora prioriteta od individualnih ocena *DO*), postojao je rizik da će rangovi dobijeni iz ovog grupnog vektora prioriteta znatno odstupati od individualnih rangova i u tom pogledu biti lošiji od do sada korišćenih metoda za dobijanje grupne odluke. Uvođenjem dva dodatna kriterijuma koja tretiraju ordinalne informacije - rangove (*GMV* i *CM*) testirani su rezultati dobijeni metodom SAAP. *GED* je opisan u prethodnom poglavlju, a u nastavku sledi više detalja o *GMV* i *CM*.

Grupno narušavanje rangova (group minimum violation - *GMV*)

Stepen narušavanja rangova su predložili Golany i Kress (1993) a ovde je njihov pokazatelj konzistentnosti modifikovan za grupni kontekst pomoću relacija (27) i (28):

$$GMV = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{ij}^{(k)}, \quad (27)$$

$$I_{ij}^{(k)} = \begin{cases} 1 & \text{ako je } w_i^{(g)} > w_j^{(g)} \text{ i } a_{ji}^{(k)} > 1, \\ 0,5 & \text{ako je } w_i^{(g)} = w_j^{(g)} \text{ i } a_{ji}^{(k)} \neq 1, \\ 0,5 & \text{ako je } w_i^{(g)} \neq w_j^{(g)} \text{ i } a_{ji}^{(k)} = 1, \\ 0 & \text{u ostalim slucajevima.} \end{cases} \quad (28)$$

gde je n broj poređenih elemenata (kriterijuma ili alternativa), m broj *DO* a $w^{(g)}$ označava grupni vektor prioriteta.

Da bi ovaj pokazatelj bio uporediv za različite veličine matrica i različit broj DO njegova vrednost se deli sa $m \times n^2$.

Indeks konsenzusa (consensus measure - CM)

Herrera-Viedma i sar. (2002) su predložili merenje konsenzusa koje se zasniva na poređenju rangova dobijenih individualnim vrednovanjem i rangova iz grupne odluke. Indeks konsenzusa ima vrednost iz intervala $[0, 1]$, gde 0 znači da nema konsenzusa dok 1 označava potpuno slaganje DO (potpuni konsenzus). Ovaj indeks se dobija kroz tri koraka:

Korak 1. Računanje $D_i^{(k)}$ (odstupanja individualnih rangova alternativa od grupnih rangova):

$$D_i^{(k)} = \frac{|R_i^{(g)} - R_i^{(k)}|}{n-1}, \quad (29)$$

gde $D_i^{(k)} \in [0, 1]$; $D_i^{(k)}$ je odstupanje (rastojanje) ranga i -te alternative (dobijenog vrednovanjem k -tog DO) od $R_i^{(g)}$ (grupnog ranga i -te alternative); n je broj alternativa.

$D_i^{(k)}=0$ ako je i -ta alternativa u grupnoj odluci prvorangirana ($R_i^{(g)} = 1$) a u individualnoj odluci k -tog DO poslednje rangirana ($R_i^{(k)} = n$); i $D_i^{(k)}=1$ ako su rangovi identični ($R_i^{(g)} = R_i^{(k)}$).

Korak 2. Računanje stepena konsenzusa CD_i za svaku alternativu i za sve DO:

$$CD_i = 1 - \frac{\sum_{k=1}^m D_i^k}{m}, \quad (30)$$

gde je m broj DO; i oznaka alternative.

Korak 3. Računanje indeksa konsenzusa za celu grupu koja je odlučivala (CM):

Ovde se stepeni konsenzusa CD_i dobijeni u Koraku 2 objedinjuju u konačni indeks konsenzusa za celu grupu (CM):

$$CM = (1 - \beta) \frac{\sum_{i=1}^n CD_i}{n} + \beta CD_{prva}, \quad (31)$$

gde je CD_{prva} stepen konsenzusa izračunat u Koraku 2 za prvorangiranu alternativu; n je broj alternativa; β je koeficijent koji se kreće u intervalu $\beta \in [0, 1]$.

Vrednost β određuje koliki će uticaj CD_{prva} (stepen konsenzusa sa grupnom prvorangiranom alternativom) imati na CM . Ako je $\beta=0$ onda će CD_{prva} imati isti uticaj na CM kao i stepeni konsenzusa ostalih alternativa. Sa druge strane ako je $\beta=1$, onda će samo CD_{prva} uticati na CM i biće $CM=CD_{prva}$. Herrera-Viedma i sar. (2002) su predložili da se za β uzima 0,7, 0,8 ili 0,9. U disertaciji indeks konsenzusa CM je računat za tri vrednosti β (0; 0,8 i 1).

Prema gore opisanoj proceduri vidi se da će indeks konsenzusa dati dve bitne informacije:

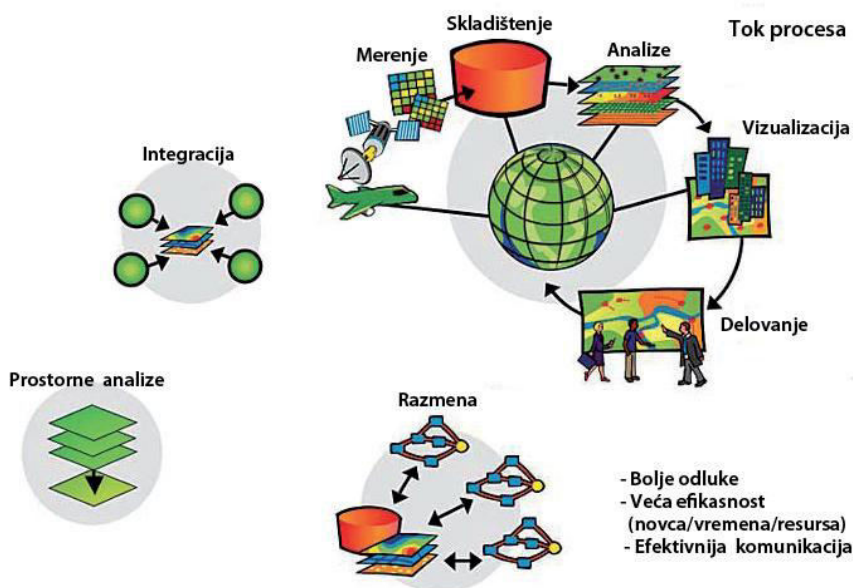
1. Koliko je odstupanje grupne prvorangirane alternative od individualnih rangova te alternative ($\beta=1$).
2. Koliko je odstupanje svih grupnih rangova alternativa od individualnih rangova tih alternativa ($\beta=0$).

Napomena: Prethodno opisani metodi će se koristiti za poređenje predloženog metoda SAAP sa najčešće korišćenim metodima za dobijanje grupne odluke, kao i za grupno odlučivanje u Pokrajinskom Fondu za razvoj poljoprivrede. U nastavku ovog poglavlja sledi opis alata i metoda koji će se koristiti u metodologiji za grupno višekriterijumsko određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje.

2.3. Kombinovanje geografskog informacionog sistema (GIS) i AHP u oceni pogodnosti zemljišnih resursa

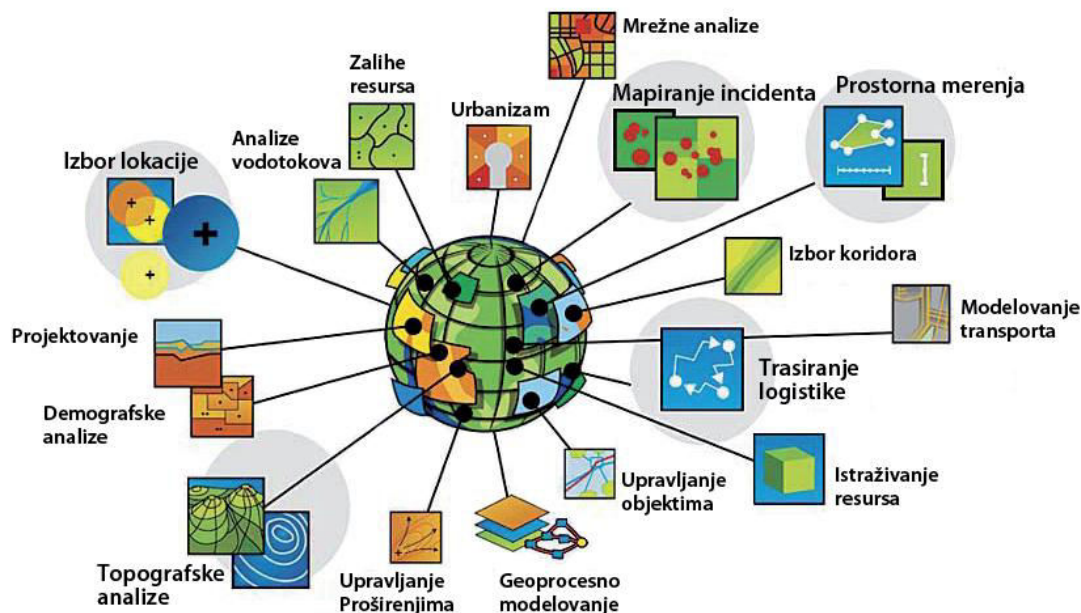
Geografski informacioni sistem (GIS)

Pre devedesetih godina XX veka, prostorni podaci prikazivani su analognim mapama (katastarske, topografske itd.), dok su istovremeno sve vrste atributnih podataka vođene ručno u formi spiskova ili popisa, što je onemogućavalo brzo pretraživanje arhiva ili mapa. Digitalizacijom prostornih podataka stvorena je mogućnost da se za određeni prostorni atribut na mapi vežu i objekti sa svojim atributima, i da se te informacije zajedno čuvaju u bazama podataka, što predstavlja osnovu geografskog informacionog sistema (GIS). Prema tome, GIS je prostorno orijentisani informacioni sistem, koji omogućuje obradu podataka kroz operacije prikupljanja, čuvanja, rukovanja, analize i njihovog prikaza, a time i dobijanje informacija za donošenje odgovarajućih odluka. GIS, takođe, može da obradi veliku količinu prostornih podataka za veoma kratko vreme čime se štede novac, vreme i resursi, i omogućava efikasnija komunikacija putem prostorne vizualizacije (Slika 8).



Slika 8. GIS - funkcije, tokovi i prednosti (Rikalović, 2014)

Burrough (1986) je jedan od prvih autora koji je pisao o GIS, a danas u svetu postoje hiljade studija, naučnih i stručnih radova na ovu temu. Ogroman broj aplikacija sugerise da GIS postaje glavni instrument za projektovanje, upravljanje i podršku prilikom odlučivanja (Slika 9).



Slika 9. Upotreba GIS (Rikalović, 2014)

Kratak opis osnovnih komponenti GIS (softver, podaci, vektorski i rasterski podaci i slojevi) je zasnovan na radovima domaćih autora (Lojo i Ponjavić, 2004; Zelenović Vasiljević, 2011; Benka, 2012; Bezdan, 2014; Rikalović, 2014).

Softver (korisnički program jednog GIS), omogućuje komunikaciju između korisnika i baze podataka, unos podataka, obradu i analizu podataka i izradu izlaznih dokumenata (karata, tabela, grafikona, itd). Postoje razni programi koji mogu da odgovore na veći ili manji deo potrebnih postupaka u GIS. Usled kompatibilnosti formata podataka, moguće je kombinovati softvere za pojedine faze obrade, u zavisnosti od mogućnosti softvera, lakoće i brzine izvršavanja pojedinih faza obrade, ili obučenosti korisnika. Od komercijalnih paketa, najrasprostranjeniji je ArcGIS firme ESRI, Mapinfo, WinGIS, Idrisi i drugi. Pomenuti ArcGIS je verovatno najkompletniji softverski paket za rad u GIS okruženju i primenjuje ga široki krug korisnika.

Podaci su najvažnija komponenta GIS, jer bi bez njih on bio beskoristan. Ujedno, prikupljanje podataka predstavlja najobimniji i najzahtevniji proces pri izgradnji jednog GIS. Značajna osobina podataka koji se nalaze u GIS bazi jeste da su oni prostorno definisani, iz čega sledi da je osnovna karakteristika GIS da rukuje prostornim podacima. Podaci koji čine jedan GIS mogu se podeliti na dve osnovne grupe: prostorni ili geometrijski podaci, i dodatni ili atributni podaci. Prostorni podaci su podaci koji imaju definisanu odrednicu u prostoru, odnosno čine geometrijski prikaz podataka. Poznati su različiti načini prostorne definicije, ali za potrebe GIS najpogodnija prostorna definicija je putem koordinata u okviru nekog definisanog koordinatnog sistema. Na taj način dobija se jednoznačna prostorna definicija nekog podatka. Na prostorne podatke

nadovezuju se dodatni ili atributni podaci. Prostorni element je povezan sa bazom podataka u kojoj su pohranjeni atributni podaci. Atributni podaci mogu biti različitog oblika: tekstualni, brojevi, logički itd. Sa njima se može rukovati isto kao i sa podacima nekog opšteg informacionog sistema (IS), ali se do njih može pristupiti i preko prostornih podataka koji su sa njima povezani, i obrnuto - do prostornih podataka može se pristupiti preko atributnih podataka sadržanih u bazi podataka.

Vektorski podaci opisuju prostorne objekte pomoću tačaka zadatih koordinatama u koordinatnom sistemu. Vektorska struktura podataka koristi tačke, linije ili poligone za opisivanje geografskih fenomena. Primarna metoda za prikupljanje podataka u vektorskom formatu je direktno merenje objekata koje se može vršiti GPS merenjem ili standardnim geodetskim metodama. Sekundarne metode obuhvataju vektorizaciju topografskih mapa pomoću table sa digitajzerom, softverima za digitalizaciju, stereo fotogrametrijom i drugim metodama. Ovi podaci zahtevaju mali prostor za arhiviranje, uz istovremeno omogućavanje izrade preciznih grafičkih prikaza, i jednostavno ažuriranje. Prednosti vektorske strukture podataka ogledaju se u dobrom predstavljanju modela entitetskih podataka, kompaktnoj strukturi podataka, tačnom grafičkom predstavljanju u svim razmerama i mogućnosti selekcije, ažuriranja i generalizacije grafike i atributa i dr. Nedostaci se ogledaju u složenosti strukture podataka, prikazivanja i plotovanja koji mogu biti dugotrajni i skupi, kao i nemogućnosti prostorne analize u okviru prostornih jedinica kao što su poligoni itd.

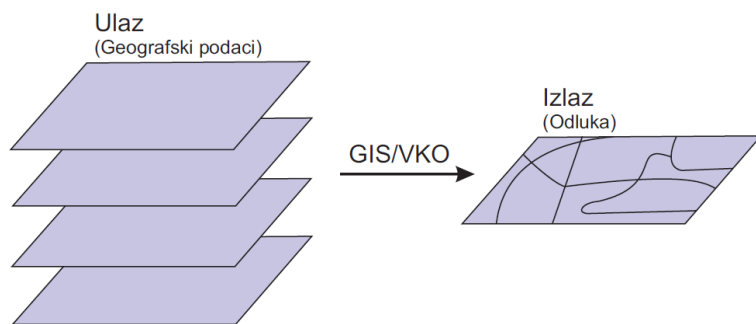
Rasterski podaci - U rasterskom prikazu, prostor je podeljen u kvadratne ćelije formirajući matricu ćelija (piksela), organizovanih u redove i kolone, gde svaka ćelija sadrži atributsku vrednost koja predstavlja informaciju. U rasterskom formatu mogu se predstaviti realne pojave kao što su: tematski podaci, kontinualni podaci i slike. Tematski (diskretni) podaci najčešće prikazuju pojave kao što su klase zemljišta, tipovi ili slično. U kontinualne podatke spadaju fenomeni kao što su temperatura, visinski podaci ili spektralni podaci (satelitski snimci ili aerofotografije). U slike spadaju i skenirane mape i crteži. Visinska predstava terena u obliku digitalnog modela terena (DTM) takođe predstavlja rasterski prikaz. I karte koje se dobijaju na osnovu 3D analiza, koristeći DTM, u rasterskom su zapisu. U zavisnosti od veličine piksela zavisi koliko će fino ili grubo neki objekat iz prirode biti prikazan u rasterskom zapisu. Takođe rasterski zapis se pokazao kao dobar format za višekriterijumske prostorne analize.

Slojevi - Pri izradi GIS za određeno područje, prostorni podaci vezani za to područje mogu biti raznovrsni, odnosno za različite analize potrebni su različiti podaci. Radi lakšeg rukovanja prostornim podacima u okviru GIS, prostorni podaci se organizuju po slojevima. Podaci se grupišu prema njihovom karakteru ili značenju. U zavisnosti od vrste prostornih podataka, obično su na jednom sloju podaci koji su iste vrste prostornih elemenata, odnosno na jednom sloju su samo tačke, linije ili površine. Između slojeva je moguće vršiti odgovarajuće operacije, od

jednostavnih kao što su spajanje slojeva, ili razdvajanje na osnovu nekih kriterijuma, pa do komplikovanih kroz različite dostupne alate u okviru aplikacije GIS. Kao rezultat tih operacija dobijaju se novi slojevi sa atributnim tabelama koje sadrže potrebne podatke o elementima sadržanim na novim slojevima.

Pregled literature kombinovanja GIS i AHP u oceni pogodnosti zemljišnih resursa

Problem složenosti i obuhvatanja različitih kriterijuma (u novije vreme i socijalnih, ekoloških i ekonomskih) u oceni pogodnosti zemljišnih resursa u poslednje dve decenije se rešava kombinovanjem GIS i nekih od višekriterijumskih alata za individualnu i grupnu primenu (Srđević i sar., 2010). Prostorna analiza višekriterijumskih odluka (VKO) može da se posmatra kao proces koji kombinuje i transformiše geografske (prostorne) podatke u odluku (Slika 10).



Slika 10. Transformacija geografskih podataka u odluku (Rikalović, 2014)

U prostornim analizama GIS je kombinovan sa mnogim višekriterijumskim metodima, kao npr.: metodi idealne tačke (TOPSIS i CP) i metodi preference (ELECTRE i PROMETHEE). Takođe, u velikom broju slučajeva korišćen je AHP, kao jedan od poznatih i široko prihvaćenih alata za podršku odlučivanju.

Na primer, GIS i AHP su kombinovani u problemima vezanim za: upravljanje mikro slivovima u Indiji (Chowdary i sar., 2013), snabdevanje vodom na Lesvosu u Grčkoj (Panagopoulos i sar., 2012), određivanje potencijala podzemnih voda u semi aridnom regionu u Indiji (Machiwal i sar., 2011), određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje u AP Vojvodini (Srđević i sar., 2010; Srdjevic i sar., 2010, 2013). Takođe, Anane i sar. (2012) su rangirali pogodne lokacije za navodnjavanje otpadnom vodom, dok su Chen i sar. (2010) identifikovali površine na kojima treba proširiti sisteme za navodnjavanje u Australiji (Macintyre Brook catchment of Queensland). Pored problema vezanih za vodoprivredu, GIS i AHP su korišćeni i za mnoge druge prostorne probleme odlučivanja (npr. Carver, 1991; Malczewski 1999, 2004, 2006; Marinoni, 2004;

Marinoni i sar., 2009; Nekhaya i sar., 2009; Zelenovic-Vasiljevic i sar., 2012; Akinci i sar., 2013).

Kod većine problema određivanja pogodnosti zemljišta za različite namene javljaju se dva osnovna problema:

- Ne postoji unapred definisan skup kriterijuma koje je potrebno koristiti za ocenu pogodnosti zemljišta, i
- Ne postoje unapred definisane težine kriterijuma.

Nije moguće predložiti jedinstvenu metodologiju (sa univerzalnim skupom kriterijuma i njihovim težinama) jer je problem odlučivanja složen i strogo geografski određen. Npr., prilikom određivanja pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje, kriterijum dostupnost (količina) vode neće imati isti značaj u Vojvodini gde ona nije limitirajući faktor i na jugu Izraela ili nekom drugom regionu koji je deficitaran sa vodom. AHP kao metod koji je zasnovan na subjektivnom mišljenju donosilaca odluka uspešno tretira ove slučajeve jer omogućava da se lokalna znanja i iskustva o problemu odlučivanja predstave težinama kriterijuma. U ovome leži masovnost primene AHP (u odnosu na druge višekriterijumske metode odlučivanja) u određivanju pogodnosti zemljišta za različite namene.

Postupak kombinovanja AHP i GIS u cilju definisanja pogodnosti zemljišta za jednu ili više namena sastoji se iz sledećih koraka (Marinoni, 2004; Srđević i sar., 2010):

1. Definisanje problema.
2. Identifikacija donosilaca odluka u procesu odlučivanja i definisanje kriterijuma za ocenu pogodnosti zemljišta.
3. Prikupljanje i priprema podataka (digitalizacija, statistička analiza, definisanje koncepcije baze podataka itd.).
4. Formiranje rastera podataka za svaki kriterijum.
5. Klasifikacija skupova podataka i formiranje mapa pogodnosti (ili tematskih slojeva) za svaki kriterijum.
6. Formiranje matrice odlučivanja i ocena kriterijuma.
7. Izračunavanje težinskih koeficijenata kriterijuma.
8. Otežavanje mapa pogodnosti i sumiranje otežanih mapa u konačnu mapu pogodnosti.

Kao što je rečeno, pojedini kriterijumi (ulazni slojevi) mogu imati veći ili manji uticaj na krajnji rezultat. Kao što se vidi iz koraka 6 i 7, svrha korišćenja AHP u prostornoj višekriterijumskoj analizi je da se izračunaju težinski koeficijenti kriterijuma (slojeva). Takođe, ulazni slojevi najčešće sadrže podatke različitog tipa i različitog opsega i zbog toga je potrebno ulazne slojeve standardizovati, odnosno klasifikovati ih. Klasifikacijom slojeva se, po određenom kriterijumu, svim slojevima dodeljuje isti tip podataka i u istom opsegu. Na primer ako se analizira pogodnost

lokaliteta za navodnjavanje, svi ulazni slojevi koji utiču na pogodnost lokaliteta se mogu reklasifikovati tako da podaci u okviru sloja budu celobrojne vrednosti u opsegu od 1 do 5, gde 1 označava najmanju, a 5 najveću pogodnost.

Prilikom rasterskog preklapanja slojeva potrebno je da slojevi budu na isti način prostorno referencirani i da njihova rezolucija, odnosno veličina piksela, bude identična. To omogućava kombinovanje tematskih slojeva tako što se matematičkim operacijama između vrednosti piksela ulaznih slojeva dobijaju nove vrednosti piksela u rezultujućem sloju.

2.4. Predloženi metod za višekriterijumsko određivanje težina donosilaca odluka

S obzirom da je AHP zasnovan na individualnom (subjektivnom) mišljenju donosioca odluke o problemu odlučivanja uvek je bolje odluku donositi u grupnom kontekstu, jer se na taj način smanjuje opasnost od pogrešne procene, problemu se pristupa iz različitih perspektiva koje su zasnovane na različitim znanjima i iskustvima donosilaca odluka, i na kraju, donesena odluka ima veći legitimitet da bude sprovedena u delo. Sinteza pojedinačnih rezultata primene AHP (grupna odluka) zahteva prethodno definisanje individualnih težina donosilaca odluke unutar grupe. To je problem za sebe koji je posebno težak ako ne postoje unapred definisane težine DO ili ukoliko ne postoji autoritet koji je prihvaćen od svih DO i koji ima legitimitet da arbitrarno dodeli težine. Pošto se u praksi ovo retko dešava, potrebno je odrediti metod za objektivno određivanje težina DO.

Postoji više načina za određivanje težina DO i oni se mogu svrstati u tri kategorije. U prvoj kategoriji se nalaze metodi koji određuju težine DO na osnovu međusobnog vrednovanja u grupi. Ramanathan i Ganesh (1994) su predložili da svaki DO pomoću metodologije AHP poredi u parovima druge DO, uključujući i sebe. Bodily (1979) primećuje da u takvim situacijama postoji tendencija da DO precenjuje svoj značaj u grupi, pogotovo ako njegov lični interes zavisi od odluke koja se donosi. Zbog toga je Van Den Honert (2001) predložio dva načina za određivanje težina DO. Prvi se odnosi na multiplikativni AHP, gde donosioci odluka u parovima poredi ostale DO; sebe ne poredi sa drugim DO. Drugi predstavlja korišćenje SMART metoda (Von Winterfeldt i Edwards, 1986; Lootsma, 1993; Barzilai i Lootsma 1997), gde svaki DO ocenjuje druge DO uzimajući vrednosti između donje (koja predstavlja najmanji uticaj u grupi) i gornje granice (najveći uticaj u grupi). U Van Den Honert (2001) se uzimaju brojevi sa skale 2-10.

U drugoj kategoriji se nalaze metodi koji određuju težine na osnovu odstupanja individualnih odluka DO od grupne odluke (Yue, 2011; Wang i sar., 2012; Xu i Cai, 2012; Yue, 2012a, 2012b).

Yue (2012a, 2012b) težine DO određuje na osnovu euklidskog rastojanja individualnih odluka od pozitivno idealnog rešenja (grupne odluke). Sličan pristup primenjuju Xu i Cai (2012) koristeći genetički algoritam za određivanje težina DO, pri čemu ciljna funkcija genetičkog algoritma minimizira odstupanje individualnih odluka od grupne koja je dobijena osrednjavanjem individualnih. Ovoj kategoriji pripada i istraživanje objavljeno u Blagojević i Matić-Kekić (2012) gde su autori koristili algoritam simuliranog kaljenja da bi minimizirali apsolutno odstupanje individualnih odluka od grupne. Određivanje težina DO prikazano je i u (Chen i Fan 2006; 2007; Xu 2008).

Trećoj kategoriji pripadaju metodi zasnovani isključivo na metodu AHP i individualnoj konzistentnosti svakog DO (Blagojević i sar., 2010; Srdjevic i sar., 2011; Blagojevic i sar., 2012). Težina DO po ovom metodu direktno i samo zavisi od konzistentnosti DO, odnosno obrnuto je proporcionalna stepenu konzistentnosti (CR) i totalnom euklidskom rastojanju (ED). Sa jedne strane ovaj metod ostavlja slobodu DO da iskazuje sopstvene preference (koje se mogu bitno razlikovati od preferenci ostalih DO), a da njegova težina ne bude umanjena; sa druge strane, nekonzistentnost DO se "kažnjava", jer sa rastom nekonzistentnosti se smanjuje težina DO. Princip "kažnjavanja nekonzistentnosti" ima za cilj da smanji mogućnost zloupotreba pri donošenju odluka (Blagojević i sar., 2010).

Ne može se apriori tvrditi koji je pristup definisanju težina članova grupe metodološki ispravniji jer svaki polazi od različite pretpostavke i ima različit cilj (npr. prvi preferira mišljenje ostatka grupe, drugi nagrađuje konzistentnost individualne odluke sa grupnom, a treći konzistentnost i doslednost u fazi vrednovanja). Ocena je da su sva tri pristupa dobra i da bi vredelo pokušati da se isti objedine. Ovde je predložen metod koja uzima preference članova grupe o opisanim pristupima.

Predloženi metod za određivanje težina DO u grupi uvažava tri prethodno spomenuta pristupa ovoj problematici i oni ujedno predstavljaju kriterijume za određivanje težina DO. Dakle, performanse kriterijuma se određuju na osnovu međusobnog vrednovanja DO u parovima, grupne konzistentnosti (odstupanja individualne od grupne odluke) i individualne konzistentnosti. Tačnije, u osnovi je ideja da se težine članova grupe optimiziraju u višekriterijumskom smislu, gde se težine kriterijuma takođe određuju u grupnom AHP kontekstu. Na ovaj način težine članova grupe se određuju transparentno i po konzistentnoj metodologiji koja minimizira rizik od nesavesnog, nekompetentnog ili neodgovornog odlučivanja.

Napomena:

- Predloženi metod za određivanje težina DO je eksplicitno vezan za AHP,
- Može se koristiti za sve metode prioritizacije bez dodatnih modifikacija i

- Može se koristiti za sve veličine hijerarhije problema odlučivanja (bez obzira na to koliko hijerarhija ima nivoa).

Predloženi metod se sastoji iz 5 koraka:

Korak 1. Određivanje težina donosilaca odluke na osnovu međusobnog vrednovanja donosilaca odluka u parovima (MVDO - γ)

Svaki DO u parovima vrednuje druge DO (sebe ne poredi sa drugim članovima grupe) koristeći metodologiju AHP i za svakog DO se izračunaju težine (izabranim metodom prioritizacije) koje je dodelio drugim članovima grupe. Dobijene težine se upisuju u matricu W (32) u kojoj se u prvi red upisuju težine koje je prvi donosilac odluka (DO1) dodelio ostalim članovima grupe, u drugi red težine koje je drugi donosilac odluka (DO2) dodelio ostatku grupe, itd., sve do poslednjeg donosioca odluke (DO m). Na pozicijama $1 \times 1, 2 \times 2, 3 \times 3, \dots, m \times m$ matrice W upisuju se nule ($w_{ii}=0$).

Neka je W matrica težina dobijena međusobnim vrednovanjem članova grupe:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1m} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & w_{mm} \end{bmatrix} \quad (32)$$

pri čemu: w_{ij} predstavlja težinu koju je i -ti DO dodelio j -tom DO; $w_{ii}=0$ za $i=1, m$; m je broj DO i važi

$$\sum_{j=1}^m w_{ij} = 1, \quad j=1, \dots, m. \quad (33)$$

Težina DO (γ_i) na osnovu međusobnog vrednovanja se dobija po relaciji (34):

$$\gamma_i = \left(\sum_{j=1}^m w_{ji} \right) / m, \quad i=1, \dots, m. \quad (34)$$

Na ovaj način se dobijaju težine DO po prvom kriterijumu (MVDO - γ).

Korak 2. Određivanje težina donosilaca odluke na osnovu odstupanja individualnih odluka od grupne (*GRED* - β)

Kao mera odstupanja predloženo je euklidsko rastojanje individualnih vektora prioriteta DO od grupnog vektora prioriteta dobijenog aritmetičkim osrednjavanjem. Korak 2 se sastoji od sledećih operacija:

1. Izračunavanje individualnih vektora prioriteta (konačni vektori dobijeni za celu hijerarhiju problema odlučivanja) za sve DO.
2. Izračunavanje grupnog vektora prioriteta kao srednje vrednosti individualnih vektora prioriteta.
3. Izračunavanje grupnog euklidskog rastojanja (*GRED*) individualnih vektora prioriteta od grupnog.
4. Izračunavanje recipročnih vrednosti grupnih euklidskih rastojanja za svakog DO.
5. Aditivna normalizacija (recipročna vrednost *GRED* za jednog DO se подели sa zbirom recipročnih vrednosti *GRED* svih DO) i normalizovana vrednost se usvaja kao težina DO po kriterijumu odstupanja od grupne odluke.

Matematička formulacija postupka glasi:

Neka je $w^{(k)} = (w_1^{(k)}, \dots, w_n^{(k)})^T$ individualni vektor prioriteta za k -tog donosioca odluke, dobijen iz hijerarhije problema odlučivanja koristeći neki od metoda prioritizacije. Grupna težina i -te alternative $w_i^{(g)}$ se dobija pomoću relacije (35):

$$w_i^{(g)} = \frac{\sum_{k=1}^m w_i^{(k)}}{m}, \quad i = 1, \dots, n, \quad (35)$$

gde je m broj DO i n broj alternativa (ili kriterijuma, podkriterijuma, odnosno elemenata na poslednjem nivou hijerarhije).

Grupno euklidsko rastojanje za k -tog donosioca odluka se dobija relacijom (36):

$$GRED^{(k)} = \left[\sum_{i=1}^n (w_i^{(k)} - w_i^{(g)})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (36)$$

a težina k -tog DO po kriterijumu odstupanja od grupne odluke pomoću relacije (37):

$$\beta^{(k)} = \frac{1/GRED^{(k)}}{\sum_{k=1}^m (1/GRED^{(k)})}. \quad (37)$$

Težina DO dobijena na ovaj način direktno zavisi od njegove konzistentnosti sa grupnom odlukom, odnosno obrnuto je proporcionalna odstupanju od grupne odluke. Ovakav metod "nagrađuje" (u smislu dobijanja veće težine u grupi) DO bliske grupnoj odluci, a "kažnjava" one čije se preference razlikuju od grupnih.

Korak 3. Određivanje težina donosilaca odluke na osnovu demonstrirane individualne konzistentnosti ($ED - \alpha$)

Za razliku od Blagojević i sar. (2010) i Srdjevic i sar. (2011) gde su kao kriterijumi za određivanje težina DO korišćeni Satijev stepen konzistentnosti (CR) i euklidsko rastojanje (ED), ovde je korišćeno samo ED jer je u pitanju univerzalan pokazatelj konzistentnosti koji se može koristiti za sve metode prioritizacije. Korak 3 se sastoji od sledećih operacija:

1. Izračunavanje individualnih vektora prioriteta $w^{(k)}$ izabranim metodom prioritizacije za svaku matricu u hijerarhiji i za svakog DO. Pomoću relacije (38) za k -tog DO i za l -tu matricu poređenja u hijerarhiji se izračuna euklidsko rastojanje $ED_l^{(k)}$

$$ED_l^{(k)} = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(a_{ij}^{(k)} - \frac{w_i^{(k)}}{w_j^{(k)}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (38)$$

gde je $l=1, \dots, p$; p označava broj matrica u hijerarhiji problema odlučivanja, n broj poređenih elemenata u matricama odlučivanja (podrazumeva se da se n može razlikovati za različite matrice u hijerarhiji) i $w^{(k)}$ vektor prioriteta za k -tog DO i p -tu matricu poređenja.

2. Određivanje suma svih euklidskih rastojanja za svakog DO:

$$ED_{sum}^{(k)} = \sum_{l=1}^p ED_l^{(k)}. \quad (39)$$

3. Izračunavanje recipročne vrednosti $ED_{sum}^{(k)}$ za svakog DO.

4. Aritivna normalizacija (recipročna vrednost $ED_{sum}^{(k)}$ za k -tog DO se подели sa zbirom recipročnih vrednosti $ED_{sum}^{(k)}$ svih DO). Normalizovana vrednost se usvaja kao težina k -tog DO po kriterijumu individualne konzistentnosti $\alpha^{(k)}$:

$$\alpha^{(k)} = \frac{1/ED_{sum}^{(k)}}{\sum_{k=1}^m (1/ED_{sum}^{(k)})}, \quad m \text{ je broj DO.} \quad (40)$$

Dobijena težina $\alpha^{(k)}$ za k -tog DO direktno i jedino zavisi od njegove konzistentnosti. Sa jedne strane, ovakav metod računanja težina ostavlja slobodu DO da iskaže sopstvene preference (koje se mogu bitno razlikovati od preferenci ostalih DO), a da njegova težina ne bude umanjena. Sa druge strane, nekonzistentnost DO se "kažnjava", jer se sa rastom nekonzistentnosti smanjuje njegova težina.

Napomena:

Problem predstavlja ako je $ED_{sum}^{(k)}=0$ jer onda njegova recipročna vrednost ($1/ED_{sum}^{(k)}$) teži beskonačnosti. Iako je teško zamisliti ovakav scenario (to bi značilo da je DO bio apsolutno konzistentan po svim nivoima hijerarhije), preporuka je da se u takvim slučajevima usvoji $ED_{sum}^{(k)} = 0,001$.

Korak 4. Određivanje težina kriterijuma (pristupa) za određivanje težina DO

Svaki DO, koristeći AHP, poredi u parovima gore tri opisana pristupa (kriterijuma) za određivanje težina DO (Slika 11) i na taj način iskazuje da li preferira da mu težina bude određena na osnovu mišljenja drugih DO o njegovoj kompetentnosti ($MVDO-\gamma$), demonstrirane individualne konzistentnosti ($ED-\alpha$) ili na osnovu odstupanja od grupne odluke ($GREDD-\beta$). Zatim se grupna odluka (grupne težine kriterijuma) određuje algoritmom simuliranog kaljenja (simulated annealing aggregation procedure - SAAP). Pretpostavka je da metod SAAP daje grupni vektor prioriteta koji ima najviši stepen konsenzusa sa individualnim matricama poređenja, i zato je on korišćen u ovom koraku.



Slika 11. Hijerarhija odlučivanja za Korak 4

Korak 5. Određivanje konačnih težina donosilaca odluka

Koristeći vrednosti iz koraka 1 (težine DO dobijene na osnovu *MVDO*), koraka 2 (težine DO dobijene na osnovu *GRED*), koraka 3 (težine DO dobijene na osnovu *ED*) i koraka 4 (težine pristupa - kriterijuma za određivanje težina DO) dobija se matrica za određivanje konačnih težina donosilaca odluka R . Svaki red matrice odgovara jednom DO, svaka kolona jednom kriterijumu (pristupu za određivanje težina DO), dok element r_{ij} predstavlja težinu i -tog DO u odnosu na kriterijum K_j . Za tri kriterijuma (K_1 -*MVDO*, K_2 -*GRED* i K_3 -*ED*) i m donosilaca odluka (DO_1, DO_2, \dots, DO_m), matrica R ima oblik (41), a vrednosti (w_1, w_2 i w_3), upisane iznad matrice, predstavljaju težinske vrednosti kriterijuma, definisane u koraku 4.

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} K_1 & K_2 & K_3 \\ w_1 & w_2 & w_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} DO_1 \\ DO_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ DO_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & r_{m3} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (41)$$

Konačna težina i -tog DO (α_{i-fin}) u odnosu na sve kriterijume se izračunava pomoću relacije (42):

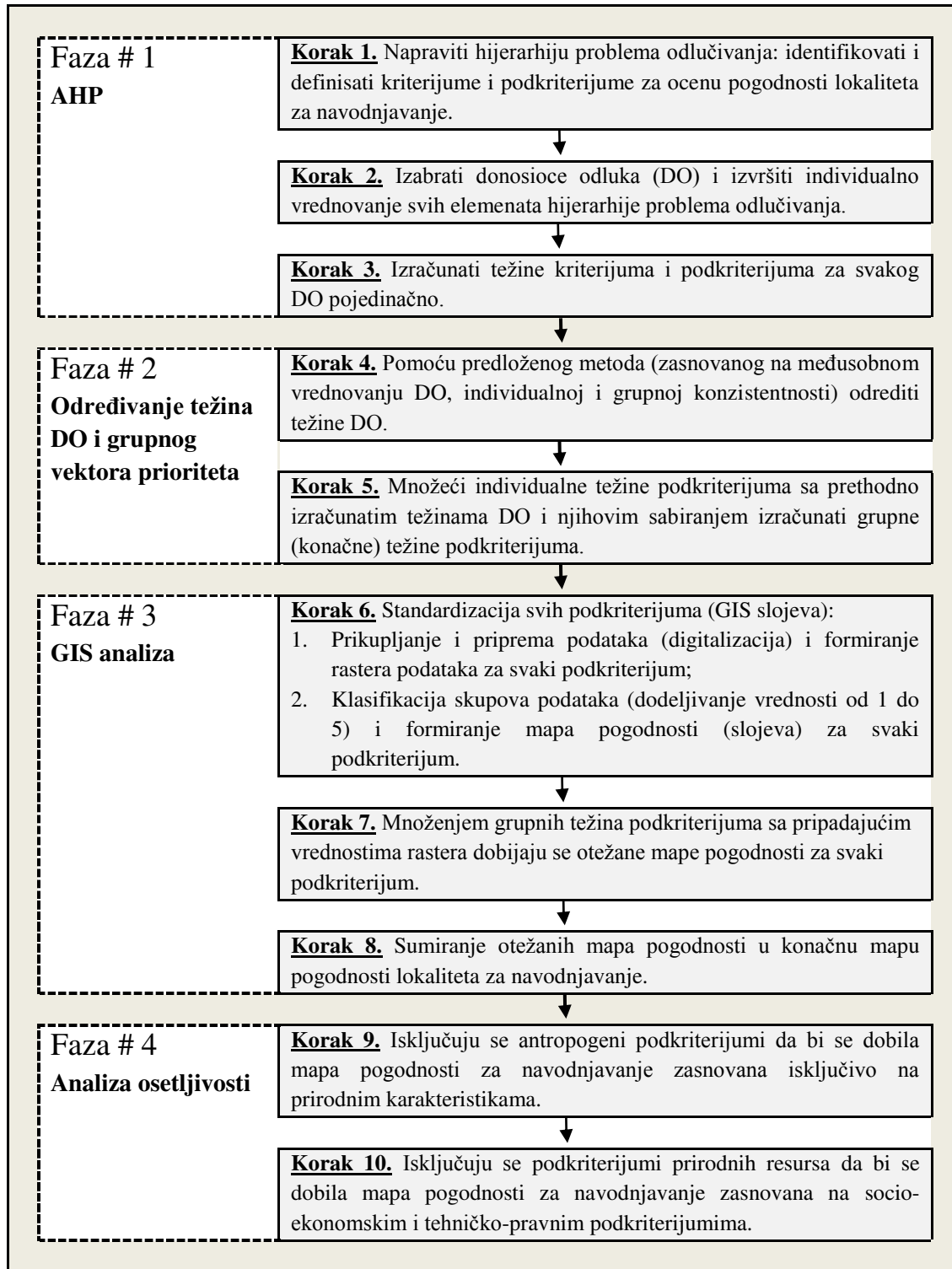
$$\alpha_{i-fin} = \sum_{j=1}^3 w_j r_{ij}, \quad i=1, \dots, m. \quad (42)$$

2.5. Predložena metodologija za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje

Višekriterijumski pristup problemu određivanja pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje je izabran zbog složenosti problema i preporuke da se analiziraju svi faktori (kriterijumi) koji utiču na uspešnost uvođenja navodnjavanja (FAO, 1979; 1985). Predložena metodologija za višekriterijumsko određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje je zasnovana na kombinaciji AHP i GIS u grupnom kontekstu. Albaji i sar. (2008), Reshmidevi i sar. (2009), Chen i sar. (2010), Srđević i sar. (2010), Rabia i sar. (2013) i Srdjevic i sar. (2010, 2013) su takođe koristili GIS i AHP u određivanju pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje ali u individualnom kontekstu. Sastavni deo metodologije je i predloženi način za višekriterijumsko određivanje težina donosilaca odluka kada se kao metod koristi AHP. Kao rezultat predložene metodologije treba da se dobiju karte pogodnosti koje će identifikovati lokalitete gde je najcelishodnije ulagati u izgradnju novih sistema za navodnjavanje i koje potencijalno mogu biti od koristi nadležnim institucijama.

Šematski prikaz predložene metodologije za višekriterijumsko grupno određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje je predstavljen Slikom 12. U prvoj (AHP) fazi se identifikuju kriterijumi i podkriterijumi za određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje od interesa za dato područje. Poštujući svetska i domaća iskustva i preporuke, mišljenja relevantnih stručnjaka, i vodeći računa o dostupnosti podataka i mogućnosti njihove digitalizacije, ovde se predlaže da se ocena pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje vrši na osnovu 16 faktora (podkriterijuma) grupisanih u 5 kriterijuma. Grupisanje je neophodno, jer se kao metod za određivanje težinskih vrednosti podkriterijuma (GIS slojeva) koristi AHP. Kao što je ranije rečeno, autor metoda Saaty (1980) tvrdi da čovek nije u stanju da istovremeno poredi više od devet elemenata i da pri tome bude u prihvatljivoj meri konzistentan. Na osnovu odabranih kriterijuma i podkriterijuma formira se hijerarhija problema odlučivanja. Nakon toga, izabrana četiri donosioca odluke iz oblasti poljoprivrede, vodoprivrede i hidrotehnike (troje akademskih radnika na Univerzitetu u Novom Sadu i jedan stručnjak iz JVP "Vode Vojvodine") vrednuju elemente hijerarhije po metodi AHP, a zatim se određuju individualne težine podkriterijuma.

Sastavni deo druge faze metodologije je prethodno opisan višekriterijumski metod za određivanje težina donosilaca odluka zasnovan na individualnoj konzistentnosti, grupnoj konzistentnosti i međusobnom vrednovanju donosilaca odluka. Na ovaj način težine članova grupe se određuju transparentno i po konzistentnoj metodologiji koja minimizira rizik od nesavesnog, nekompetentnog ili neodgovornog odlučivanja. Koristeći individualne težine podkriterijuma izračunate u prvoj, i težine donosilaca odluka izračunate u ovoj fazi, "otežanim" aritmetičkim osrednjavanjem izračunaju su grupne (konačne) težine podkriterijuma. Ove težine su ujedno i težine GIS slojeva i one predstavljaju osnovni ulaz za treću fazu metodologije (GIS analizu).



Slika 12. Metodologija za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje

Da bi rastersko preklapanje slojeva bilo moguće, u trećoj fazi se svi slojevi na isti način prostorno referenciraju i uniformišu se njihova rezolucija (veličina piksela mora biti identična). Takođe, s obzirom da ulazni slojevi najčešće sadrže podatke različitog tipa i različitog opsega, potrebno je ulazne slojeve standardizovati, odnosno klasifikovati (ili reklasifikovati) čime se svim slojevima dodeljuje isti tip podataka i u istom opsegu. Pri analizi pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje, svi ulazni slojevi koji utiču na pogodnost lokaliteta se klasifikuju tako da podaci u okviru sloja budu celobrojne vrednosti u opsegu od 1 do 5, gde 1 označava najmanju pogodnost a 5 označava najveću. To omogućuje kombinovanje tematskih (GIS) slojeva tako što se vrednosti piksela u svakom sloju pomnože sa pripadajućim grupnim težinama slojeva i njihovim sabiranjem se dobijaju nove vrednosti piksela u rezultujućem sloju. Ovaj sloj predstavlja konačnu mapu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje i ona treba da posluži potencijalnim donosiocima odluka (nadležnim institucijama) kao osnova za definisanje prostornih prioriteta izgradnje novih sistema za navodnjavanje.

U četvrtoj fazi (analiza osetljivosti) se prvo isključuju slojevi koji predstavljaju antropogene podkriterijume, a zatim i slojevi zasnovani na prirodnim karakteristikama. Na ovaj način se dobijaju dve nove mape pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje koje pružaju dodatne informacije donosiocima odluka (npr. gde je potrebno uložiti najmanje sredstava - jer već postoji izgrađena vodna infrastruktura, razvijeno stočarstvo, itd).

Alternativni postupak mogao je da obuhvata kombinovanje GIS i nekog drugog metoda višekriterijumske analize, npr. ciljnog programiranja (Goal Programming – GP), TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution), ELECTRE (ELimination Et Choix Traduisant la REalité), PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment of Evaluations) i drugih. Međutim, AHP se pokazao kao najpogodniji da podrži grupne procese. Takođe, AHP jedini daje kardinalnu informaciju, dok prethodno nabrojani metodi višekriterijumske analize daju rangove. Rangiranje potencijalnih lokacija bilo bi poželjno da je analizom moguće obuhvatiti sve kriterijume koji utiču na uspešnost navodnjavanja. To često nije moguće iz dva objektivna razloga:

- Kada se ocena pogodnosti vrši za veće područje (kao što je npr. teritorija AP Vojvodine), nemoguće je anticipirati koji sve kriterijumi mogu biti značajni na lokalnom (opštinskom) nivou.
- Za prostornu analizu pomoću GIS neophodno je kriterijume predstaviti u digitalnom obliku. Međutim, dostupnost podataka neophodnih za digitalizaciju nekog kriterijuma često je ograničavajući faktor za njegovo uključanje u analizu.

Zbog toga će mape pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje dobijene predloženom metodologijom predstavljati preliminarnu ocenu i pre uvođenja navodnjavanja treba uzeti u obzir lokalne uslove i kriterijume koji neće biti obuhvaćeni ovom analizom zbog objektivnih okolnosti. Takođe, ovde je predloženo da ocenu kriterijuma vrše četiri donosioca odluka iz oblasti poljoprivrede, vodoprivrede i hidrotehnike. Broj donosilaca odluke može biti veći (i drugačije strukturiran), a ovde je smatrano da su četiri izabrana dovoljno kompetentna za preliminarnu ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje.

Preporuka je da nadležne institucije pre donošenja konačne odluke o investiranju u izgradnju zalivnih sistema na određenim lokalitetima u proces odlučivanja uključe i lokalne samouprave, potencijalne investitore, poljoprivrednike, organizacije i institucije iz oblasti zaštite životne sredine, lokalno stanovništvo i druge zainteresovane. Njihova participacija u odlučivanju ne mora biti zasnovana na metodu AHP, već se mogu koristiti jednostavniji i brži metodi (npr. metodi teorije društvenog izbora).

Napomena: Smatrano je da je pravilnije upotrebiti termin *pogodnost lokaliteta za navodnjavanje* nego *pogodnost zemljišta za navodnjavanje*, jer se u prvom slučaju podrazumeva višekriterijumska pogodnost, a u drugom pogodnost zasnovana samo na fizičkim i hemijskim karakteristikama zemljišta.

DEO 3. OPIS PROBLEMA ODLUČIVANJA

3.1. Pokrajinski Fond za razvoj poljoprivrede Vojvodine

Pokrajinski Fond za razvoj poljoprivrede (u daljem tekstu Fond) osnovan je 2001. godine od strane Izvršnog veća AP Vojvodine da bi podsticao ravnomerni razvoj poljoprivrede i zapošljavanje u ovoj grani privrede u Pokrajini, kao i da bi unapredio konkurentnost domaće poljoprivrede u okruženju. Organ upravljanja Fondom je Savet Fonda koga čine predsednik i 6 članova. Fond predstavlja i zastupa direktor. Podsticaji poljoprivrede vrše se, pored ostalog, obezbeđenjem sredstava za kreditiranje individualnih poljoprivrednih gazdinstava putem kreditnih linija pod povoljnim uslovima. Međutim, u Fondu ne postoji institucionalni mehanizam koji određuje način na koji će finansijska sredstva biti raspodeljena po kreditnim linijama. Osnovni razlog za to je što se dozvoljava mogućnost prebacivanja sredstava sa jedne kreditne linije na drugu, u zavisnosti od interesovanja tražilaca kredita. U nedostatku navedenog mehanizma raspodele i preraspodele, ovde je razvijen pristup koji tretira situaciju kada postoji zainteresovanost za sve kreditne linije, a treba raspodeliti sredstva na linije na način koji bi bio prihvatljiv članovima Saveta Fonda i/ili stručnjacima koje Savet angažuje za tu svrhu.

Uvažavajući kadrovske i organizacione realnosti u Fondu, u disertaciji je pokazano kako se može graditi nov institucionalni mehanizam donošenja grupne odluke sa postizanjem objektiviziranog konsenzusa. Simuliran je proces odlučivanja pomoću AHP u kome su učestvovala tri vodeća člana Fonda i akademski stručnjak iz oblasti ekonomike poljoprivrede. Donosioci odluka po pretpostavci individualno i nezavisno vrednuju kreditne linije na osnovu sopstvenog iskustva, znanja o problemima i potrebama poljoprivrede, demonstrirajući i lične afinitete ili implicitno prisutne političke i druge interese prema tome iz koje su sfere delegirani u Fond. Konačna odluka se donosi objedinjavanjem individualnih vrednovanja o raspodeli sredstava po kreditnim linijama metodom SAAP i najčešće korišćenim metodima objedinjavanja.

Postavka problema odlučivanja

Cilj:

Izvršiti raspodelu novčanih sredstava Fonda na 9 kreditnih linija. Raspodela se vrši na osnovu dobijenog grupnog vektora prioriteta, u kome težina svake od alternativa (kreditnih linija) predstavlja procentualnu zastupljenost kreditne linije u budžetu Fonda predviđenom za kreditiranje individualnih poljoprivrednih gazdinstava.

Alternative:

Alternative su kreditne linije:

1. **A1** - nabavka poljoprivredne mehanizacije (pogonske, priključne)
2. **A2** - nabavka novih sistema i opreme za navodnjavanje
3. **A3** - nabavka pčelinjih košnica i opreme za pčelarstvo
4. **A4** - nabavka zaštićenih bašta (staklenici, plastenici)
5. **A5** - podizanje višegodišnjih zasada vinove loze i opreme u vinogradarstvu
6. **A6** - podizanje višegodišnjih zasada voća
7. **A7** - nabavka protivgradnih mreža u višegodišnjim zasadima voća i vinograda
8. **A8** - izgradnja novih objekata namenjenih skladištenju žitarica (silosa, podnih skladišta) i
9. **A9** - nabavka kvalitetne teladi za tov.

Donosioci odluka:

Grupu čine četiri donosioca odluka (DO); dva najodgovornija zaposlena lica u Fondu, predsednik saveta Fonda i nezavisni ekonomski stručnjak: DO1 – direktor Fonda, DO2 – viši savetnik Fonda, DO3 – predsednik saveta Fonda i DO4 – Profesor ekonomije na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu. Članovi grupe vrednuju alternative po metodu AHP, a grupna odluka će se dobiti predloženim metodom SAAP.

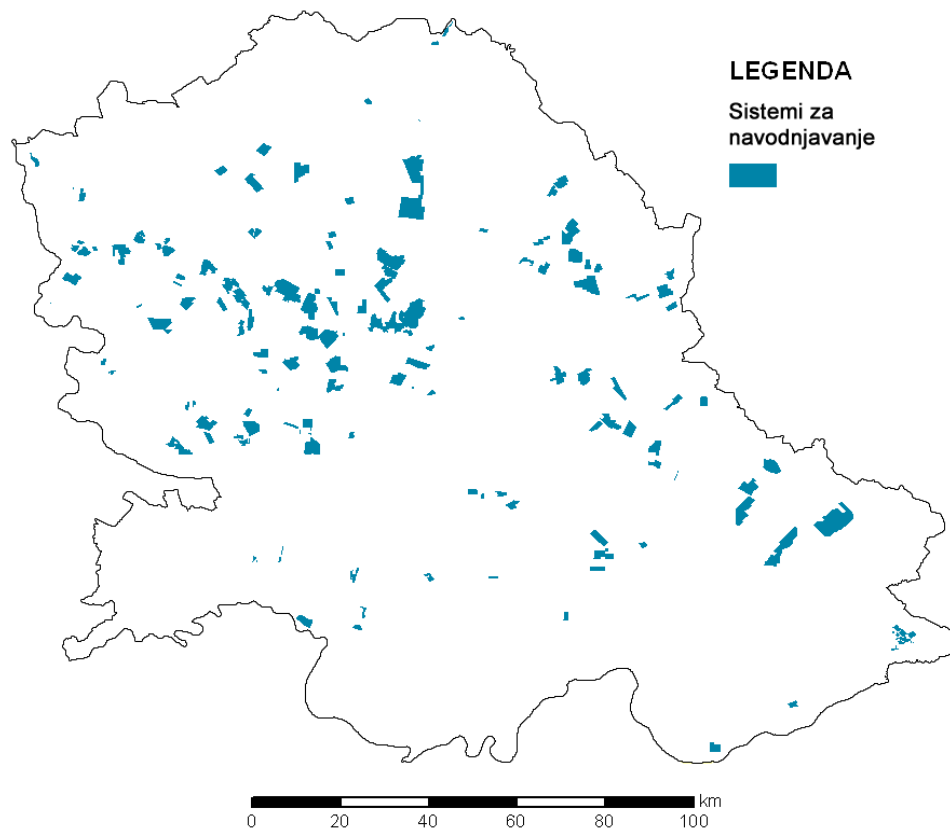
Napomena: Simulacija procesa odlučivanja sa zaposlenima u Fondu (direktor i viši savetnik), predsednikom saveta Fonda i Profesorom ekonomije na Poljoprivrednom fakultetu je urađena u 2012. godini. Rezultati simulacije procesa odlučivanja su objavljeni u Blagojević i sar. (2012) i Blagojevic i sar. (2012). U disertaciji su ova vrednovanja tretirana u kontekstu poređenja predloženog metoda SAAP i ostalih opisanih metoda objedinjavanja.

3.2. Određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje u Vojvodini

Navodnjavanje se može definisati kao jedna od hidromelioracionih mera, kojom se veštački dovodi potrebna voda u zemljište u sušnim periodima godine u cilju ostvarenja optimalne biljne proizvodnje i višeg oblika savremene intenzivne poljoprivredne proizvodnje. Cilj navodnjavanja je da obezbedi i reguliše neophodan vodni, vazdušni, toplotni, mikrobiološki i mineralni režim zemljišta, stvarajući optimalne uslove za rast i razvitak poljoprivrednih biljaka za dobijanje visokih i stabilnih prinosa (Gocić, 2013). Pored ovoga, može da se koristi i u svrhu fertirigacije, ispiranja slatina, zaštite od mraza, fitosanitetske zaštite, purifikacije i kolmacije (Škorić i sar., 1995). Vučić (1984) navodi da cilj navodnjavanja nije samo da poveća i stabilizuje prinose i da eliminiše deficit vode kao elementa u minimumu, već da doprinese intenzivnijem korišćenju agrotehničkih i ekoloških uslova, izmeni strukturu setve uvođenjem povrća i krmnog bilja, da impuls razvoju stočarstva, prvenstveno govedarstva, da maksimalno iskoristi uslove za realizaciju druge žetve, „vodi brigu“ o industrijskim biljkama radi obezbeđenja sirovina za prateće industrijske kapacitete, razvija agroindustriju, da povećanim angažovanjem radne snage i stručnjaka ublaži problem nezaposlenosti itd.

Vojvodina, sa prosečnom godišnjom visinom padavina od oko 610 mm i njihovom neravnomernom vremenskom raspodelom, nema svake godine povoljne uslove za razvoj svih biljnih kultura jer se javlja nedostatak vode u pojedinim fazama razvoja i zbog toga je neophodno primeniti navodnjavanje. Takođe, Vojvodina ima povoljne uslove za intenzivan razvoj navodnjavanja, prvenstveno zbog visokog boniteta zemljišta, geografskog položaja i prisustva relativno bogatog izvora vode u Dunavu, Tisi i Savi. Razgranata izgrađena osnovna kanalska mreža hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav omogućava srazmerno lako zahvatanje vode. Prema podacima JVP "Vode Vojvodine" vodotoci u Vojvodini potencijalno omogućavaju navodnjavanje oko 936.000 ha obradivih površina (350.000 ha u Bačkoj, 402.000 ha u Banatu i 184.000 ha u Sremu).

Pored visokog potencijala koji Vojvodina poseduje u pogledu navodnjavanja, ukupne površine pod sistemima za navodnjavanje iznose svega 90.278 ha. Od toga je u funkcionalnom ili delimično funkcionalnom stanju 47.226 ha, pri čemu se koristi svega 30.657 ha (podaci JVP "Vode Vojvodine"). Na Slici 13 prikazane su površine pod izgrađenim sistemima za navodnjavanje u Vojvodini.



Slika 13. Sistemi za navodnjavanje u Vojvodini (JVP "Vode Vojvodine")

U novije vreme nadležne institucije najavljuju početak finansiranja izgradnje novih sistema za navodnjavanje u Srbiji. Međutim, ove najave treba uzeti sa rezervom, jer su sve srpske vlade u prethodne dve decenije preko medija i planskih dokumenata najavljivale i planirale velike investicije u izgradnju novih sistema za navodnjavanje a koje se nisu realizovale. Škorić (2007), pozivajući se na predloženu dinamiku izgradnje novih zalivnih sistema datu u Vodoprivrednoj osnovi Srbije, konstatuje da se planovi nisu ostvarili i da uopšte nije bilo izgradnje većih sistema osim kupovine opreme za manje površine za koje i ne postoji evidencija.

Izgradnju novih sistema za navodnjavanje na teritoriji Vojvodine finansiraju Pokrajinski sekretarijat za poljoprivredu vodoprivredu i šumarstvo i Pokrajinski fond za razvoj poljoprivrede. Prema podacima sa sajta Vlade Vojvodine (www.vojvodina.gov.rs) Pokrajinski sekretarijat za poljoprivredu vodoprivredu i šumarstvo daje bespovratna sredstva za kupovinu novih zalivnih sistema, kao i za čišćenje i uređenje kanala i izgradnju vodoprivredne infrastrukture u mesnim zajednicama u saradnji sa JVP "Vode Vojvodine" i lokalnim samoupravama. Takođe, Pokrajinski fond za razvoj poljoprivrede, zahvaljujući donaciji Norveške vlade u iznosu od oko 1 milion evra, kreditira kupovinu novih zalivnih sistema, po povoljnim uslovima (kamatom do 2 % na

godišnjem nivou). U oba slučaja, problem je što ne postoje jasno definisani kriterijumi za određivanje gde i kome će sredstva biti dodeljena.

Pod pretpostavkom da će se planirane investicije realizovati, poželjno je da postoji jedinstvena karta pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje, koja bi donosiocima odluka (vladi, ministarstvima, itd.) bila osnova za određivanje prostornih prioriteta za investiranje u izgradnju novih sistema za navodnjavanje. Karta pogodnosti zemljišta za navodnjavanje za Vojvodinu postoji (Miljković, 2005), ali je ona zasnovana prvenstveno na fizičkim i hemijskim karakteristikama zemljišta i ne uzima u obzir druge kriterijume. Ovaj pristup nije adekvatan, imajući u vidu da se u svetu ovoj problematici pristupa sa mnogo složenijom analizom. Purnell (1979) je u FAO dokumentu naglasio da treba vršiti ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje, a ne isključivo zemljišta, i da treba uzeti u obzir sve faktore (kriterijume) koji mogu da utiču na uspešnost uvođenja navodnjavanja.

Poštujući ovu preporuku, u disertaciji će se koristiti predložena metodologija za višekriterijumsko određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje koja je zasnovana na kombinaciji AHP i GIS u grupnom kontekstu. Sastavni deo metodologije je i predloženi način za određivanje težina donosilaca odluka kada se kao metod koristi AHP. Kao rezultat predložene metodologije dobiće se karte pogodnosti koje će identifikovati lokalitete gde je najcelishodnije ulagati u izgradnju novih sistema za navodnjavanje i koje potencijalno mogu biti od koristi Vladi Republike Srbije i AP Vojvodine.

DEO 4. REZULTATI

4.1. Rezultati predloženog metoda za objedinjavanje individualnih AHP ocena u grupnu odluku

Za testiranje ispravnosti novog načina za dobijanje grupnog vektora prioriteta (metoda SAAP) predloženo je da se on poredi sa najčešće korišćenim kombinacijama metoda grupnog objedinjavanja (AIJ i AIP), konsenzus modela (CCM i GCCM) i metoda prioritizacije (EV, LLS i AN). Zbog jednostavnije identifikacije, sve korišćene kombinacije metoda objedinjavanja, konsenzus modela i metoda prioritizacije će se zvati šeme objedinjavanja i njihov opis je dat u Tabeli 6.

Tabela 6. Šeme objedinjavanja i njihov opis

Šeme objedinjavanja	Opis šema objedinjavanja
AIJ-EV AIJ-AN AIJ-LLS	Individualne matrice DO su objedinjene u grupnu koristeći metod geometrijske sredine (AIJ). Zatim su grupni vektori prioriteta izračunati iz grupne matrice pomoću metoda prioritizacije EV, AN i LLS.
AIP-EV AIP-AN	Individualni vektori prioriteta izračunati pomoću metoda prioritizacije EV i AN su objedinjeni u grupne vektore prioriteta metodom aritmetičke sredine (AIP).
CCM-EV CCM-AN CCM-LLS	Individualni vektori prioriteta izračunati pomoću metoda prioritizacije EV, AN i LLS su objedinjeni u grupne vektore prioriteta pomoću konvergentnog modela konsenzusa (CCM).
GCCM* GCCM**	Grupni vektor prioriteta je određen pomoću geometrijskog kardinalnog modela konsenzusa (GCCM). U prvoj varijanti (GCCM*) model se zaustavlja kada je dostignut $GCCI^*_{max}$ a u drugoj varijanti (GCCM**) kada je dostignut $GCCI^{**}_{max}$; z je broj izvršenih iteracija pre zaustavljanja modela.

U Tabeli 6 je izostavljena šema objedinjavanja AIP-LLS jer su Barzilai i Golany (1994) dokazali da šeme objedinjavanja AIP-LLS i AIJ-LLS daju identične grupne vektore prioriteta. Takođe, u svim šemama objedinjavanja se podrazumeva da DO imaju jednake težine.

Poređenje šema objedinjavanja vršeno je korišćenjem pet prethodno opisanih kriterijuma: *GED*, *GMV*, *CM* ($\beta=0$), *CM* ($\beta=0,8$) i *CM* ($\beta=1$). Za potrebe poređenja korišćena su tri karakteristična primera iz literature, od čega se poslednji odnosi na grupno donošenje odluke u Pokrajinskom Fondu za razvoj poljoprivrede.

Primer A

Matrice odlučivanja pet donosilaca odluka (DO1-DO5) preuzete su iz rada Dong i sar. (2010b). U Tabeli 7 su date matrice odlučivanja DO1-DO5 i vektori prioriteta izračunati metodima prioritizacije EV, AN i LLS sa pripadajućim rangovima. Ovaj primer je izabran zbog tri razloga:

1. Svi DO su imali prihvatljiv nivo konzistentnosti (Tabela 8).
2. Identičan primer je korišćen u radu Dong i sar. (2010b) gde je predstavljen geometrijski kardinalni model konsenzusa.
3. Četiri od pet DO (DO1-DO4) su identično rangirali alternative (Tabela 7).

Tabela 7. Matrice odlučivanja (DO1-DO5) i vektori prioriteta sa pripadajućim rangovima izračunati metodima prioritizacije EV, AN i LLS (Primer A)

DO1							
	A1	A2	A3	A4	EV	AN	LLS
A1		4	6	7	0,617 (1)	0,607 (1)	0,614 (1)
A2			3	4	0,224 (2)	0,228 (2)	0,225 (2)
A3				2	0,097 (3)	0,101 (3)	0,099 (3)
A4					0,062 (4)	0,064 (4)	0,062 (4)
DO2							
	A1	A2	A3	A4	EV	AN	LLS
A1		5	7	9	0,653 (1)	0,632 (1)	0,646 (1)
A2			4	6	0,225 (2)	0,237 (2)	0,227 (2)
A3				2	0,076 (3)	0,082 (3)	0,079 (3)
A4					0,047 (4)	0,049 (4)	0,048 (4)
DO3							
	A1	A2	A3	A4	EV	AN	LLS
A1		3	5	8	0,570 (1)	0,563 (1)	0,569 (1)
A2			4	5	0,277 (2)	0,280 (2)	0,276 (2)
A3				2	0,096 (3)	0,099 (3)	0,097 (3)
A4					0,057 (4)	0,058 (4)	0,058 (4)
DO4							
	A1	A2	A3	A4	EV	AN	LLS
A1		4	5	6	0,597 (1)	0,588 (1)	0,597 (1)
A2			3	3	0,222 (2)	0,224 (2)	0,221 (2)
A3				2	0,108 (3)	0,114 (3)	0,109 (3)
A4					0,073 (4)	0,074 (4)	0,074 (4)

DO5							
	A1	A2	A3	A4	EV	AN	LLS
A1		1/2	1	2	0,228 (3)	0,229 (3)	0,225 (3)
A2			1/2	3	0,295 (2)	0,297 (2)	0,296 (2)
A3				4	0,380 (1)	0,377 (1)	0,378 (1)
A4					0,097 (4)	0,097 (4)	0,102 (4)

Tabela 8. Individualne konzistentnosti svih DO (Primer A)

		DO1	DO2	DO3	DO4	DO5
EV	CR	0,038	0,067	0,034	0,047	0,063
AN	CR	0,038	0,068	0,034	0,047	0,063
LLS	GCI	0,135	0,236	0,119	0,166	0,221

Rezultati (grupni vektori prioriteta i pripadajući rangovi) izračunati pomoću 11 šema objedinjavanja, uključujući i predloženi metod SAAP su dati u Tabeli 9.

Tabela 9. Grupni vektori prioriteta (sa pripadajućim rangovima) izračunati pomoću 11 šema objedinjavanja (Primer A)

Šema objedinjavanja	Alternative			
	A1	A2	A3	A4
AIJ-EV	0,532 (1)	0,263 (2)	0,133 (3)	0,071 (4)
AIJ-AN	0,529 (1)	0,264 (2)	0,135 (3)	0,072 (4)
AIJ-LLS	0,531 (1)	0,264 (2)	0,134 (3)	0,071 (4)
AIP-EV	0,533 (1)	0,249 (2)	0,151 (3)	0,067 (4)
AIP-AN	0,524 (1)	0,253 (2)	0,155 (3)	0,068 (4)
CCM-EV	0,504 (1)	0,257 (2)	0,176 (3)	0,073 (4)
CCM-AN	0,495 (1)	0,261 (2)	0,179 (3)	0,074 (4)
CCM-LLS	0,502 (1)	0,258 (2)	0,177 (3)	0,076 (4)
GCCM*	0,579 (1)	0,248 (2)	0,109 (3)	0,064 (4)
GCCM**	0,583 (1)	0,246 (2)	0,107 (3)	0,064 (4)
SAAP	0,526 (1)	0,285 (2)	0,113(3)	0,076(4)

$$GCCI_{\max}^* = 0,35; z = 7$$

$$GCCI_{\max}^{**} = 0,001; z = 70$$

Vrednosti kriterijuma poredjenja (Tabela 10) su dobijene na osnovu grupnih vektora prioriteta (Tabela 9) i individualnih matrica odlučivanja (Tabela 7). Treba napomenuti da se u ovoj tabeli nalaze tri različite identifikacije metoda SAAP (SAAP-EV, SAAP-AN i SAAP-LLS), iako je u pitanju identičan grupni vektor prioriteta koji je u Tabeli 9 imao naziv SAAP. Ovo je urađeno

zbog toga što vrednosti kriterijuma CM ($\beta=0$), CM ($\beta=0,8$) i CM ($\beta=1$) zavise od individualnih rangova alternativa i grupnog ranga alternativa. S obzirom na to da različiti metodi prioritizacije mogu dati različite vektore prioriteta (samim tim i različite rangove) za iste matrice odlučivanja, moguće je da će se vrednosti ova tri kriterijuma razlikovati za različite metode prioritizacije. Zbog toga su oni različito označeni iako je u pitanju jedinstven grupni vektor prioriteta. Takođe treba napomenuti da se šema objedinjavanja sa najmanjom vrednosti kriterijuma GED i GMV smatra najboljom, dok je kod kriterijuma CM (za sve vrednosti β) obrnuto - šema objedinjavanja sa najvećom vrednosti je najbolja. Ove napomene važe i za sledeća dva primera.

Tabela 10. Vrednosti kriterijuma poređenja izračunati za sve šeme objedinjavanja (Primer A)

Šeme objedinjavanja	GED	GMV	CM $\beta=0$	CM $\beta=0,8$	CM $\beta=1$
AIJ-EV	10,486	0,04	0,933	0,880	0,867
AIJ-AN	10,486	0,04	0,933	0,880	0,867
AIJ-LLS	10,505	0,04	0,933	0,880	0,867
AIP-EV	11,024	0,04	0,933	0,880	0,867
AIP-AN	10,972	0,04	0,933	0,880	0,867
CCM-EV	11,280	0,04	0,933	0,880	0,867
CCM-AN	11,367	0,04	0,933	0,880	0,867
CCM-LLS	11,310	0,04	0,933	0,880	0,867
GCCM*	11,490	0,04	0,933	0,880	0,867
GCCM**	11,592	0,04	0,933	0,880	0,867
SAAP-EV	10,202*	0,04	0,933	0,880	0,867
SAAP-AN	10,202*	0,04	0,933	0,880	0,867
SAAP-LLS	10,202*	0,04	0,933	0,880	0,867

Rezultati u Tabeli 10 pokazuju da je grupni vektor prioriteta dobijen pomoću metoda SAAP bio bolji od svih ostalih šema objedinjavanja. Imao je minimalnu vrednost grupnog euklidskog rastojanja ($GED=10,202$), dok je po svim drugim kriterijumima bio identičan sa drugim šemama objedinjavanja. Ovo je važan rezultat koji ide u prilog upotrebi ovog metoda. Pored toga što je dao najbolji rezultat u pogledu kardinalnog pokazatelja GED (što se i očekivalo), otklonjen je rizik da bi SAAP mogao da izazove znatno narušavanje grupnih rangova u odnosu na standardne metode grupnog objedinjavanja.

Primer B

Tretiraju se matrice odlučivanja dobijene od donosilaca odluka DO1, DO2 i DO3; ove matrice su date u radu Moreno-Jimenez i Polasek (2003) (Tabela 11). Sve tri matrice odlučivanja su i ovde u granicama dozvoljene konzistentnosti (Tabela 12). Ovaj primer je karakterističan po tome što su za razliku od prethodnog slučaja (gde je većina DO identično rangirala alternative), ovde svi DO kao prvorangiranu identifikovali različitu alternativu (videti Tabelu 11).

Tabela 11. Matrice odlučivanja DO1-DO3 i vektori prioriteta sa pripadajućim rangovima izračunati metodima prioritizacije EV, AN i LLS (Primer B)

DO1							
	A1	A2	A3	A4	EV	AN	LLS
A1		3	2	5	0,487 (1)	0,486 (1)	0,487 (1)
A2			1/2	1	0,134 (3)	0,134 (3)	0,133 (3)
A3				3	0,273 (2)	0,273 (2)	0,274 (2)
A4					0,106 (4)	0,107 (4)	0,106 (4)
DO2							
	A1	A2	A3	A4	EV	AN	LLS
A1		1/3	1/2	2	0,164 (3)	0,165 (3)	0,164 (3)
A2			1	4	0,402 (1)	0,400 (1)	0,401 (1)
A3				3	0,337 (2)	0,337 (2)	0,337 (2)
A4					0,097 (4)	0,098 (4)	0,097 (4)
DO3							
	A1	A2	A3	A4	EV	AN	LLS
A1		1	1	3	0,306 (2)	0,308 (2)	0,308 (2)
A2			1/2	2	0,235 (3)	0,235 (3)	0,234 (3)
A3				2	0,333 (1)	0,332 (1)	0,331 (1)
A4					0,125 (4)	0,126 (4)	0,126 (4)

Tabela 12. Individualne konzistentnosti svih DO (Primer B)

		DO1	DO2	DO3
EV	CR	0,013	0,011	0,030
AN	CR	0,013	0,011	0,030
LLS	GCI	0,045	0,041	0,107

Rezultati (grupni vektori prioriteta i pripadajući rangovi) izračunati pomoću 11 šema objedinjavanja, uključujući i SAAP, su dati u Tabeli 13.

Tabela 13. Grupni vektori prioriteta (sa pripadajućim rangovima) izračunati pomoću 11 šema objedinjavanja (Primer B)

Šeme objedinjavanja	Alternative			
	A1	A2	A3	A4
AIJ-EV	0,308 (2)	0,246 (3)	0,330 (1)	0,115 (4)
AIJ-AN	0,308 (2)	0,246 (3)	0,330(1)	0,115 (4)
AIJ-LLS	0,308 (2)	0,246 (3)	0,331 (1)	0,115 (4)
AIP-EV	0,319 (1)	0,257 (3)	0,314 (2)	0,109 (4)
AIP-AN	0,320 (1)	0,256 (3)	0,314 (2)	0,110 (4)
CCM-EV	0,295 (2)	0,269 (3)	0,324 (1)	0,112 (4)
CCM-AN	0,296 (2)	0,269 (3)	0,324 (1)	0,113 (4)
CCM- LLS	0,296 (2)	0,268 (3)	0,323 (1)	0,113 (4)
GCCM*	0,316 (2)	0,237 (3)	0,329 (1)	0,117 (4)
GCCM**	0,312 (2)	0,239 (3)	0,330 (1)	0,118 (4)
SAAP	0,338 (1)	0,242 (3)	0,312 (2)	0,108 (4)

$$GCCI_{\max}^* = 0,35; z = 5$$

$$GCCI_{\max}^{**} = 0,001; z = 43$$

Vrednosti kriterijuma poređenja (Tabela 14) su dobijene na osnovu grupnih vektora prioriteta (Tabela 13) i individualnih matrica odlučivanja (Tabela 11).

Tabela 14. Vrednosti kriterijuma poređenja izračunati za sve šeme objedinjavanja (Primer B)

Šeme objedinjavanja	GED	GMV	CM		
			$\beta=0$	$\beta=0,8$	$\beta=1$
AIJ-EV	4,967	0,13	0,833	0,789*	0,778*
AIJ-AN	4,968	0,13	0,833	0,789*	0,778*
AIJ-LLS	4,973	0,13	0,833	0,789*	0,778*
AIP-EV	4,912	0,13	0,833	0,700	0,667
AIP-AN	4,914	0,13	0,833	0,700	0,667
CCM-EV	5,010	0,13	0,833	0,789*	0,778*
CCM-AN	5,012	0,13	0,833	0,789*	0,778*
CCM-LLS	5,010	0,13	0,833	0,789*	0,778*
GCCM*	4,970	0,13	0,833	0,789*	0,778*
GCCM**	4,989	0,13	0,833	0,789*	0,778*
SAAP-EV	4,883*	0,13	0,833	0,700	0,667
SAAP-AN	4,883*	0,13	0,833	0,700	0,667
SAAP-LLS	4,883*	0,13	0,833	0,700	0,667

Rezultati u Tabeli 14 pokazuju da je i u ovom primeru metod SAAP dao grupni vektor prioriteta sa minimalnim grupnim euklidskim rastojanjem ($GED=4,883$). U pogledu grupnog narušavanja rangova (GMV) i indeksa konsenzusa CM za $\beta=0$, SAAP je imao identičan rezultat sa ostalim šemama objedinjavanja. Sa druge strane, analizirajući indeks konsenzusa CM za $\beta=1$, SAAP nije bio najbolji ali je imao iste rezultate kao AIP-EV i AIP-AN.

Primer C: Grupno odlučivanje u Pokrajinskom Fondu za razvoj poljoprivrede

Matrice odlučivanja DO1-DO4 (Blagojevic i sar., 2012) i pripadajući vektori prioriteta (sa rangovima) izračunati metodima prioritizacije EV, AN i LLS su dati u Tabeli 15. U ovom problemu odlučivanja donosioci odluka su poredili devet elemenata. Sva četiri DO (iako su dvojica od njih višegodišnji članovi saveta Fonda) su imala stepen konzistentnosti veći od dozvoljenog (Tabela 16). S obzirom da je ovo čest slučaj u realnim problemima odlučivanja pomoću AHP i da donosioci odluka nisu uvek voljni da promene svoja vrednovanja kako bi popravili konzistentnost, smatrano je da bi bilo dobro testirati kako će se predloženi metod SAAP pokazati na ovom primeru realnog problema odlučivanja sa maksimalnim brojem elemenata za poređenje i nekonzistentnošću većom od dozvoljene.

Tabela 15. Matrice odlučivanja DO1-DO4 i vektori prioriteta sa pripadajućim rangovima izračunati metodima prioritizacije EV, AN i LLS (Primer C)

		DO1											
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	EV	AN	LLS
A1			9	3	1	3	3	3	3	5	0,251 (2)	0,229 (2)	0,231 (2)
A2				9	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	0,049 (8)	0,049 (8)	0,034 (8)
A3					5	1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	0,043 (9)	0,045 (9)	0,033 (9)
A4						1/3	1/5	1/3	1/3	1/5	0,055 (6)	0,060 (6)	0,040 (7)
A5							1/5	1/3	1/3	1/7	0,054 (7)	0,055 (7)	0,055 (6)
A6								5	3	1/7	0,143 (3)	0,150 (3)	0,162 (3)
A7									1	1/7	0,070 (5)	0,074 (5)	0,080 (5)
A8										1/7	0,071 (4)	0,075 (4)	0,085 (4)
A9											0,266 (1)	0,263 (1)	0,280 (1)
		DO2											
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	EV	AN	LLS
A1			1	9	5	7	7	9	9	7	0,295 (1)	0,284 (1)	0,307 (1)
A2				9	5	7	7	9	9	7	0,295 (1)	0,284 (1)	0,307 (1)
A3					1/5	1/5	1/5	3	3	1	0,029 (7)	0,033 (7)	0,030 (7)
A4						5	5	9	7	5	0,150 (3)	0,143 (3)	0,146 (3)
A5							1/5	7	7	1/3	0,054 (6)	0,064 (5)	0,048 (6)
A6								7	7	1	0,082 (4)	0,087 (4)	0,077 (4)
A7									1/7	1/2	0,014 (9)	0,016 (9)	0,013 (9)
A8										1/9	0,022 (8)	0,029 (8)	0,018 (8)
A9											0,060 (5)	0,061 (6)	0,055 (5)

DO3												
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	EV	AN	LLS
A1		3	7	4	7	6	5	3	3	0,273 (1)	0,267 (1)	0,281 (1)
A2			7	3	6	5	7	4	3	0,224 (2)	0,206 (2)	0,220 (2)
A3				1/4	1/5	1/5	1/5	1/7	1/7	0,016 (9)	0,017 (9)	0,016 (9)
A4					2	3	2	1/5	1/7	0,054 (5)	0,060 (6)	0,058 (5)
A5						1/2	1/3	1/5	1/5	0,029 (8)	0,034 (8)	0,031 (8)
A6							1/5	1/7	1/7	0,032 (7)	0,038 (7)	0,032 (7)
A7								1/5	1/4	0,053 (6)	0,061 (5)	0,054 (6)
A8									1/5	0,125 (4)	0,133 (4)	0,124 (4)
A9										0,194 (3)	0,184 (3)	0,185 (3)

DO4												
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	EV	AN	LLS
A1		1/5	7	1	1/3	1/3	1/7	1/3	1/9	0,042 (8)	0,043 (8)	0,035 (8)
A2			9	3	3	3	1	3	1/5	0,156 (2)	0,156 (2)	0,161 (2)
A3				1/5	1	1/3	1/3	1/5	1/9	0,025 (9)	0,025 (9)	0,021 (9)
A4					1	1	1/3	1/3	1/9	0,051 (7)	0,051 (7)	0,050 (7)
A5						3	3	1	1/7	0,092 (4)	0,093 (4)	0,080 (5)
A6							1	1	1/5	0,063 (6)	0,064 (6)	0,065 (6)
A7								1	1/5	0,098 (3)	0,096 (3)	0,091 (3)
A8									1/5	0,083 (5)	0,084 (5)	0,088 (4)
A9										0,391 (1)	0,386 (1)	0,409 (1)

Tabela 16. Individualne konzistentnosti svih DO (Primer C)

		DO1	DO2	DO3	DO4
EV	CR	0,329	0,187	0,138	0,127
AN	CR	0,333	0,209	0,143	0,128
LLS	GCI	0,917	0,623	0,480	0,409

Rezultati (grupni vektori prioriteta i pripadajući rangovi) izračunati pomoću 11 šema objedinjavanja, uključujući i SAAP su dati u Tabeli 17.

Tabela 17. Grupni vektori prioriteta (sa pripadajućim rangovima) izračunati pomoću 11 šema objedinjavanja (Primer C)

Šema objedinj.	Alternative								
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
AIJ-EV	0,204 (2)	0,166 (3)	0,029 (9)	0,077 (6)	0,061 (7)	0,086 (4)	0,058 (8)	0,079 (5)	0,239 (1)
AIJ-AN	0,201 (2)	0,166 (3)	0,029 (9)	0,079 (6)	0,062 (8)	0,087 (4)	0,060 (7)	0,082 (5)	0,234 (1)
AIJ-LLS	0,202 (2)	0,171 (3)	0,030 (9)	0,080 (5)	0,063 (7)	0,088 (4)	0,059 (8)	0,079 (6)	0,229 (1)
AIP-EV	0,215 (2)	0,181 (3)	0,028 (9)	0,078 (5)	0,057 (8)	0,080 (4)	0,059 (7)	0,075 (6)	0,228 (1)
AIP-AN	0,206 (2)	0,174 (3)	0,030 (9)	0,079 (6)	0,062 (8)	0,085 (4)	0,062 (7)	0,080 (5)	0,224 (1)
CCM-EV	0,250 (1)	0,201 (2)	0,026 (9)	0,082 (4)	0,048 (8)	0,072 (6)	0,050 (7)	0,079 (5)	0,194 (3)
CCM-AN	0,240 (1)	0,191 (2)	0,028 (9)	0,083 (5)	0,053 (8)	0,078 (6)	0,054 (7)	0,085 (4)	0,189 (3)
CCM-LLS	0,252 (1)	0,200 (2)	0,024 (9)	0,079 (5)	0,046 (8)	0,075 (6)	0,051 (7)	0,081 (4)	0,195 (3)
GCCM*	0,195 (2)	0,169 (3)	0,028 (9)	0,075 (6)	0,061 (8)	0,082 (5)	0,063 (7)	0,086 (4)	0,241 (1)
GCCM**	0,192 (2)	0,172 (3)	0,028 (9)	0,075 (6)	0,061 (8)	0,081 (5)	0,063 (7)	0,087 (4)	0,242 (1)
SAAP	0,211 (3)	0,226 (2)	0,030 (9)	0,074 (4)	0,050 (7)	0,069 (5)	0,048 (8)	0,051 (6)	0,240 (1)

$GCCI_{\max}^* = 0,37; z = 16$

$GCCI_{\max}^{**} = 0,001; z = 70$

Vrednosti kriterijuma poređenja (Tabela 18) su dobijene na osnovu grupnih vektora prioriteta (Tabela 17) i individualnih matrica odlučivanja (Tabela 15).

Rezultati u Tabeli 18 pokazuju da je i u ovom primeru grupni vektor prioriteta dobijen pomoću metoda SAAP imao minimalnu vrednost grupnog euklidskog rastojanja ($GED=41,023$). U pogledu grupnog narušavanja rangova (GMV), SAAP je imao identičan rezultat kao AIP-EV i AIP-AN ($GMV=0,15$), dok su najbolji rezultat ostvarili CCM-AN i CCM-LLS sa vrednošću $GMV=0,13$; dakle odstupanje SAAP od prvorangiranih šema objedinjavanja po ovom kriterijumu nije bilo značajno.

Po pitanju indeksa konsenzusa CM za $\beta=1$, metodi SAAP-EV i SAAP-LLS (zajedno sa AIJ-EV, AIJ-LLS, AIP-EV, GCCM^{*}, GCCM^{**}) su bili prvorangirani, dok je SAAP-AN bio na drugom mestu (zajedno sa AIJ-AN i AIP-AN). Kada se analiziraju rezultati indeksa konsenzusa CM za $\beta=0$, SAAP-EV, SAAP-AN i SAAP-LLS su bile poslednje rangirane šeme objedinjavanja sa vrednostima 0,788, 0,774 i 0,781 ali neznatno lošije od prvorangirane CCM-LLS (0,809).

Tabela 18. Vrednosti kriterijuma poređenja izračunati za sve šeme objedinjavanja (Primer C)

Šeme objedinjavanja	GED	GMV	CM $\beta=0$	CM $\beta=0,8$	CM $\beta=1$
AIJ-EV	42,287	0,14	0,802	0,810*	0,813*
AIJ-AN	42,458	0,14	0,795	0,784	0,781
AIJ-LLS	42,341	0,15	0,788	0,808	0,813*
AIP-EV	41,920	0,15	0,795	0,809	0,813*
AIP-AN	42,363	0,15	0,795	0,784	0,781
CCM-EV	41,971	0,14	0,802	0,760	0,750
CCM-AN	42,107	0,13*	0,795	0,759	0,750
CCM-LLS	42,331	0,13*	0,809*	0,762	0,750
GCCM [*]	42,455	0,14	0,802	0,810*	0,813*
GCCM ^{**}	42,437	0,14	0,802	0,810*	0,813*
SAAP-EV	41,023*	0,15	0,788	0,808	0,813*
SAAP-AN	41,023*	0,15	0,774	0,780	0,781
SAAP-LLS	41,023*	0,15	0,781	0,806	0,813*

S obzirom da se metod SAAP pokazao konkurentnim sa ostalim šemama objedinjavanja, a i često boljim, preporuka je da se njegov rezultat usvoji kao grupna odluka. Prema njoj, kreditnoj liniji nabavka kvalitetne teladi za tov treba dodeliti 24% sredstava Fonda, nabavki novih sistema i opreme za navodnjavanje 22,6%, nabavki poljoprivredne mehanizacije 21,1%, nabavki zaštićenih bašta (staklenici, plastenici) 7,4%, podizanju višegodišnjih zasada voća 6,9%, izgradnji novih objekata namenjenih skladištenju žitarica (silosa, podnih skladišta) 5,1%, podizanju višegodišnjih

zasada vinove loze i nabavci opreme u vinogradarstvu 5%, nabavki protivgradnih mreža u višegodišnjim zasadima voća i vinograda 4,8% i nabavki pčelinjih košnica i opreme za pčelarstvo 3% od ukupnih sredstava Fonda namenjenih kreditiranju. U radu se nije preciziralo o kolikim iznosima je reč jer se budžet Fonda namenjen kreditiranju menja iz godine u godinu (u zavisnosti od toga koliko sredstava Vlada AP Vojvodine transferiše Fondu i od dinamike priliva sredstava od anuiteta). Cilj ovog dela doktorske disertacije nije bio da se nametne predloženi pristup raspodeli sredstava na kreditne linije u Pokrajinskom Fondu za razvoj poljoprivrede kao jedini ispravan, već da ukaže na jednu od mogućnosti zasnovanu na savremenim iskustvima u svetu koja povećava transparentnost procesa odlučivanja i odgovornost donosilaca odluka.

Uporedni prikaz rezultata za sva tri primera

Uporedni prikaz rezultata primene svih 11 šema objedinjavanja za sva tri primera je dat u Tabeli 19. Radi boljeg pregleda i uporedne analize, rezultati su predstavljeni kao rangovi šema objedinjavanja za svaki kriterijum i za svaki primer. Šeme objedinjavanja SAAP-EV, SAAP-AN i SAAP-LLS daju identičan (jedinstven) grupni vektor prioriteta i imaju iste vrednosti za kriterijume *GED* i *GMV* (jer se za njihovo izračunavanje koriste vrednovanja iz individualnih matrica poređenja i grupni vektor prioriteta). Zbog toga su za ova dva kriterijuma SAAP-EV, SAAP-AN i SAAP-LLS tretirane kao jedna šema objedinjavanja i zato je 11 najniži rang za ova dva kriterijuma. Kod kriterijuma *CM* ($\beta=0$, $\beta=0,8$ i $\beta=1$), one su tretirane odvojeno (jer nisu uvek davale identične rezultate) tako da je kod ova tri kriterijuma 13 najniži rang.

Tabela 19. Uporedni prikaz rezultata za sva tri primera (A, B i C)

Primer	Rang šema objedinjavanja													
	AIJ-EV	AIJ-AN	AIJ-LLS	AIP-EV	AIP-AN	CCM-EV	CCM-AN	CCM-LLS	GCCM*	GCCM**	SA.-EV	SA.-AN	SA.-LLS	
<i>GED</i>	A	2-3	2-3	4	6	5	7	9	8	10	11	1*	1*	1*
	B	4	5	7	2	3	9-10	11	9-10	6	8	1*	1*	1*
	C	5	10-11	7	2	8	3	4	6	10-11	9	1*	1*	1*
<i>GMV</i>	A	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11
	B	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11	1-11
	C	3-7	3-7	8-11	8-11	8-11	3-7	1-2	1-2	3-7	3-7	8-11	8-11	8-11
<i>CM</i> $\beta=0$	A	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13
	B	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13
	C	2-5	6-9	10-11	6-9	6-9	2-5	6-9	1	2-5	2-5	10-11	13	12
<i>CM</i> $\beta=0,8$	A	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13
	B	1-8	1-8	1-8	9-13	9-13	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	9-13	9-13	9-13
	C	1-3	8-9	5-6	4	8-9	12	13	11	1-3	1-3	5-6	10	7
<i>CM</i> $\beta=1$	A	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13	1-13
	B	1-8	1-8	1-8	9-13	9-13	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	9-13	9-13	9-13
	C	1-7	8-10	1-7	1-7	8-10	11-13	11-13	11-13	1-7	1-7	1-7	8-10	1-7
Suma prvo-rangiranih	10	8	9	7	6	8	9	10	10	10	10	9	10	

U Tabeli 19 su analizirana dva aspekta rezultata. Prvo, određeno je koliko puta je svaka šema objedinjavanja bila prvorangirana (maksimum je 15, jer imamo 5 kriterijuma i 3 primera). U poslednjem redu Tabele 19 vidi se da su šeme objedinjavanja SAAP-EV, SAAP-LLS, AIJ-EV, CCM-LLS, GCCM* i GCCM** bile najviše (10) puta prvorangirane, a najlošija je bila AIP-AN jer je ukupno 6 puta bila prvorangirana. Dobijeni rezultati idu u prilog tome da je predloženi metod SAAP ostvario bolje rezultate od standardnih najčešće korišćenih metoda za dobijanje grupnog AHP vektora prioriteta. Metod SAAP je bio bolje rangiran od metoda objedinjavanja individualnih prioriteta (AIP) u kombinaciji sa sva tri metoda prioritizacije (EV, AN i LLS); takođe bio je bolji od metoda objedinjavanja individualnih ocena (AIJ) u kombinaciji sa metodima prioritizacije AN i LLS, dok je sa šemom objedinjavanja AIJ-EV bio jednak.

Drugo, cilj je bio da se utvrdi da li je neka od šema objedinjavanja bila dominantna u odnosu na druge po pitanju svakog kriterijuma posebno. Za ovu analizu, markirani su svi slučajevi kada je jedna od šema objedinjavanja bila prvorangirana za sva tri primera za neki od kriterijuma. Za kriterijum *GED*, SAAP je bila prvorangirana za sva tri primera i prvo mesto ni u jednom primeru nije delila sa drugim šemama objedinjavanja. Za kriterijum *GMV* šeme objedinjavanja CCM-AN i CCM-LLS su bile prvorangirane. CCM-LLS je bila prvorangirana za kriterijum *CM* ($\beta=0$); za kriterijum *CM* ($\beta=0.8$) to su bile AIJ-EV, GCCM* i GCCM**; dok su za kriterijum *CM* ($\beta=1$), AIJ-EV, AIJ-LLS, GCCM* i GCCM** bile prvorangirane šeme objedinjavanja. Međutim, bitno je naglasiti da je jedino metod SAAP bio sam na prvom mestu za kriterijum *GED*, dok su sve druge šeme objedinjavanja u svim prethodno spomenutim slučajevima (kada su bile prvorangirane za neki od kriterijuma za sva tri primera) bar u dva od tri primera delile prvo mesto sa drugim šemama objedinjavanja.

U nastavku rada, metod SAAP će se koristiti u predloženom metodu za višekriterijumsko određivanje težina donosilaca odluka.

4.2. Rezultati određivanja pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje

4.2.1. Faza # 1: AHP

Korak 1. Identifikacija kriterijuma i podkriterijuma za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje i formiranje hijerarhije problema odlučivanja

Pregled literature domaćih autora

Pioniri u određivanju pogodnosti zemljišta za navodnjavanje bili su Miljković i sar. (1994), predloživši da se ona određuje na osnovu sledećih faktora (kriterijuma): dubine soluma, slojevitosti zemljišta i matičnog supstrata i prisustva kompaktnog - slabopropusnog sloja u zemljišnom pokrivaču. Isti autori u cilju detaljne podele zemljišta prema irigabilnosti navode svojstva od direktnog i indirektnog uticaja. Svojstva direktnog uticaja su: brzina infiltracije vode, permeabilitet (propustljivost) zemljišta, poljski vodni kapacitet, pristupačna i nepristupačna voda. Svojstva indirektnog uticaja su: mehanički sastav, struktura i stabilnost strukturnih agregata, gustina čvrste faze i zapreminska gustina i poroznost. Pored fizičkih i neka hemijska svojstva su od indirektnog uticaja, kao što su: sadržaj humusa, udeo i raspored kreča (CaCO_3) u preseku, pH vrednost, prisustvo vodorastvornih soli i adsorbovanog Na^+ jona u zemljištu i matičnom supstratu.

Na osnovu prethodno nabrojanih kriterijuma, zemljišta se dele na irigabilna – zemljišta pogodna za navodnjavanje (sa 3 klase pogodnosti) i neirigabilna. Slično kao i njegov prethodnik, Stojićević (1996) predlaže klasifikaciju zemljišta za navodnjavanje na osnovu:

- Fizičkih osobina (efektivna dubina, količina humusa, struktura i poroznost, zapreminska težina, raspodela poroznosti, oranični sloj i tekstura),
- Hemijskih osobina (reakcija zemljišta, karakteristike razmene katjona, kapacitet razmene katjona, priroda adsorpcijskih katjona, procenat adsorbovanog natrijuma, salinitet, toksične supstance, arsen, bor, nikal i hrom),
- Mineralnih osobina (mineralogija peskovitih i praškastih frakcija, mineralogija frakcija gline, sadržaj karbonata, količina gipsa), i
- Odnosa između zemljišta i vode (kapacitet infiltracije, hidraulička provodljivost, količina vode pristupačne biljkama).

Prvi složeniji pristup oceni pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje dao je Milivojević (1996) u Metodologiji za izradu Osnova zaštite, korišćenja i uređenja poljoprivrednog zemljišta, a zasniva se na sledećim kriterijumima:

- Zemljište (efektivna dubina, dubina zemljišta do drenažne prepreke, salinitet zemljišta, zagađenost zemljišta, tekstura, stabilnost strukturnih agregata, pH vrednost, retencioni kapacitet, kapacitet pristupačne vode, infiltracioni kapacitet),
- Topografija i morfologija (nagnutost površine, obraslost površine vegetacijom, kamenitost, stenovitost, potencijalna erozivnost, erodiranost, veličina parcele, komasiranost područja),
- Dreniranost terena (dubina nesalinizirane podzemne vode u vegetacionom periodu, dubina salinizirane podzemne vode u vegetacionom periodu, interna dreniranost),
- Voda za navodnjavanje (obezbeđenost vodom, visina dizanja vode, udaljenost vode od navodnjavanih površina, kvalitet vode za navodnjavanje) i
- Ekonomičnost navodnjavanja.

Miladinović (1996) je predložio da se u ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje uključi i ocena uređenosti zemljišta. Po istom autoru ova ocena bi trebala da obuhvata karakteristike opštine, geomorfološka svojstva područja, analizu stanovništva, usitnjenost parcela, strukturu poljoprivredne proizvodnje, stanje stočnog fonda i poljoprivredne mehanizacije, stanje uređenosti poljoprivrednog zemljišta, voda, seoskih naselja i saobraćaja.

Uzimajući u obzir iskustva u Srbiji i svetu, Belić i sar. (2011) su predložili da se ocena pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje vrši na osnovu:

- Klimatske pogodnosti lokaliteta (hidrotermički i bioklimatski indeks, heliotermički koeficijent, koeficijent vlažnosti Ivanova, kišni faktor Langa, indeks suvoće De Martona, Palmerov indeks suše, indeks aridnosti Palfaia, itd.),
- Pogodnosti zemljišta za navodnjavanje,
- Hidrološke pogodnosti (kvalitet vode za navodnjavanje, raspoloživa količina vode i uslovi njenog zahvatanja),
- Ekološke pogodnosti (zaštićenost prirodnih resursa tokom navodnjavanja, uticaj na prirodno okruženje, uticaj navodnjavanja na divlje životinje),
- Izboru navodnjavanih biljaka (tradicija gajenja na datom području, osetljivost biljaka na količinu i sastav soli u vodi, gustina biljnog sklopa, osetljivost na bolesti, itd.) i
- Ekonomske pogodnosti (ekonomska opravdanost uvođenja navodnjavanja).

U odnosu na svoje prethodnike, isti autori idu korak dalje i predlažu dodelu težinskih koeficijenata gore nabrojanim kriterijumima na sledeći način: klimatskoj pogodnosti lokaliteta dodeljuju težinu 0,1, pogodnosti zemljišta za navodnjavanje 0,3, hidrološkoj pogodnosti 0,2, izboru navodnjavanih biljaka 0,1, ekološkoj pogodnosti 0,1 i ekonomskoj pogodnosti 0,2. Međutim autori nisu precizirali na koji način su dobili ove vrednosti.

Za teritoriju opštine Mali Idoš u Srbiji za istu namenu Srđević i sar. (2010) koristili su: udaljenost lokaliteta od magistralnih pravaca snabdevanja vodom, proizvodne osobine zemljišta, tip pedološkog pokrivača, irigabilne klase i nagibe terena. Isti autori (2013) su za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje na teritoriji AP Vojvodine predložili:

- Nagib terena,
- Količinu akumulirane vode u zemljištu,
- Irigabilne klase,
- Vodni bilans u zemljištu, i
- Indeks suše - SPI.

Srđević i sar. (2010) i Srdjevic i sar. (2010, 2013) su prvi na području Srbije za određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje koristili GIS i AHP i kao rezultat dobili mapu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje za teritoriju opštine Mali Idoš i AP Vojvodine. Osim Miljkovića (2005), Srđević i sar. (2010) i Srdjevic i sar. (2010, 2013), ostali domaći autori su dali predloge kriterijuma za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje, ali ne i njihovu sintezu u jedinstvenu mapu pogodnosti.

Pregled literature stranih autora

U stranoj literaturi postoji veliki broj stručnih i naučnih članaka koji se bave tematikom ocene pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje. Mnogi od njih su lokalnog karaktera, a ovde je dat kratak pregled onih koji imaju univerzalnu primenu. FAO (1985) je objavio uputstvo za ocenu pogodnosti u kome su 32 potencijalna kriterijuma grupisana u 5 kategorija (Tabela 20). U uputstvu se ukazuje da nije obavezno koristiti sve navedene kriterijume već da ih treba koristiti selektivno u zavisnosti od lokacije i njenih karakteristika.

Sys i sar. (1991) su predložili da se za pogodnost lokaliteta za navodnjavanje koriste:

- Fizičke karakteristike zemljišta (efektivna dubina, tekstura, stabilnost strukturnih agregata, kapacitet pristupačne vode, raspored kreča (CaCO_3) u preseku),
- Hemijske karakteristike zemljišta (salinitet i procenat adsorbovanog natrijuma),
- Drenažne karakteristike zemljišta, i
- Nagib terena.

Tabela 20. Kriterijumi za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje (FAO, 1985)

Usev (agronomski kriterijum)	1. Vegetacioni period, 2. Solarna radijacija, 3. Temperatura, 4. Potencijal zemljišta za razvoj korenovog sistema, 5. Aerisanost zemljišta, 6. Zahtev useva za vodom, 7. Zahtev useva za hranivima (NPK), 8. Kvalitet vode za navodnjavanje, 9. Salinitet zemljišta, 10. Alkalitet zemljišta, 11. pH, mikronutrienti i toksične materije, 12. Štetočine, korovi i bolesti useva, 13. Poplave, oluje, vetar, grad i mraz;
Ograničenja u organizovanju poljoprivredne proizvodnje	14. Lokacija, 15. Tehnike navodnjavanja, oblik parcele, veličina parcele, 16. Predžetveni radovi, 17. Radovi za vreme žetvu i nakon žetve, 18. Zahtevi za mehanizacijom;
Upravljanje zemljištem i poboljšanje zemljišta	19. Radovi neophodni za čišćenje zemljišta, 20. Zaštićenost od poplava, 21. Drenažne karakteristike, 22. Bonitetne klase zemljišta, 23. Fizičke, hemijske i organske popravke zemljišta, 24. Gubici vode na proceđivanje i ispiranje soli u dublje slojeve, 25. Vreme potrebno za melioracije zemljišta (popravku zemljišta), 26. Uslovi za navodnjavanje (nagib terena, mikroreljef, mogućnost gradnje kanala, itd.);
Zaštita životne sredine	27. Opasnost od salinizacije i alkalizacije zemljišta višegodišnjim navodnjavanjem, 28. Opasnost od zagađenja površinske i podzemne vode, 29. Opasnost od erozije, 30. Opasnost od zagađenja životne sredine;
Socio-ekonomski kriterijum	31. Kompetentnost i stanovište farmera o navodnjavanju, 32. Drugi zahtevi (vodna prava, raspoloživost radne snage, itd.)

U knjizi "Osnove navodnjavanja i upravljanja vodom na farmi", Ali (2010) kriterijume za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje deli na sledeći način:

- Zemljište - gde autor razlikuje stalne faktore (tekstura, efektivna dubina zemljišta, kapacitet pristupačne vode) i promenljive faktore (plodnost zemljišta, salinitet, pH, erozivnost),
- Dostupnost vode,
- Topografija (veličina i oblik parcele, mikroreljef, kamenitost, stenovitost, šumovitost i žbunovitost),
- Klima, i
- Očekivani uticaj navodnjavanja (na prirodu, ljude, životinje, ekonomiju).

Za područje Slavonije u Hrvatskoj, Tadić (2012) predlaže upotrebu šest kriterijuma:

- Uređenost zemljišne teritorije (putevi, železnica, kanali, način korišćenja zemljišta),
- Zemljište (fizičke i hemijske karakteristike),
- Potencijal za intenzivnu poljoprivredu (zainteresovanost poljoprivrednika da navodnjavaju i da uvode nove kulture, znanje i finansijska mogućnost poljoprivrednika, izgrađenost nasipa i sistema za odvodnjavanje),
- Neophodnost navodnjavanja (vodni deficit u vegetacionoj sezoni),

- Analiza suše (kišni faktor Langa, indeks suše De Martona, SPI, itd.),
- Dostupnost vode (količina vode, njena udaljenost od lokacije gde se planira uvođenje navodnjavanja, kvalitet vode), i
- Zaštita životne sredine (uticaj navodnjavanja na kvalitet i kvantitet površinske i podzemne vode, uticaj na biosferu).

Iako su kriterijumi dati u (Tadić, 2012) lokalnog karaktera, dato im je na važnosti zbog sličnosti regiona Slavonije i AP Vojvodine. Svoj doprinos ovoj problematici dali su i Soil Classification Working Group (1998), Gregorio i Jansen (2000), Hecker (2000), Procedures (2004), Gong i sar. (2009), Weber (2010), itd.

Danas je uobičajeno da se ocena pogodnosti vrši u GIS okruženju, najčešće u kombinaciji sa nekim od metoda višekriterijumske analize. Većina prethodno navedenih kriterijuma može da se predstavi u digitalnom obliku, ali je dostupnost podataka neophodnih za digitalizaciju nekog kriterijuma često ograničavajući faktor za njegovo uključanje u analizu. U daljem tekstu prikazani su radovi stranih autora koji se odnose na kompjuterski podržanu ocenu pogodnosti u GIS okruženju sa ciljem da se prikažu iskustva sa različitih kontinenata i lokaliteta koji su po zemljišnim i klimatskim karakteristikama veoma različiti.

Albaji i sar. (2008) za područje Irana za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje predlažu nagib terena, dreniranost zemljišta, količinu i raspored kreča (CaCO_3), teksturu i efektivnu dubinu zemljišta. Rabia i sar. (2013) su u Etiopiji identifikovali identične kriterijume kao značajne sa dodatkom kamenitosti i stenovitosti terena. U Australiji, Chen i sar. (2010) su odredili pogodnost zemljišta za navodnjavanje na osnovu hidrauličke provodljivosti zemljišta, nagiba terena, teksture zemljišta, dubine prve izdani i električne provodljivosti podzemne vode. Reshmidevi i sar. (2009) za područje Indije kriterijume za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje dele u dve grupe: zemljišni i hidrološki potencijal. U potencijal zemljišta spadaju način korišćenja zemljišta, tekstura, nagib terena, dreniranost, pH, sadržaj organske materije, kapacitet razmene katjona, salinitet i blizina do puta; dok u hidrološki potencijal spadaju prosečne godišnje padavine, broj dana kada se javlja suša u zemljištu i blizina vodnog tela.

Definisanje skupa kriterijuma i podkriterijuma za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje za područje AP Vojvodine

Prilikom definisanja skupa kriterijuma i podkriterijuma za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje za područje AP Vojvodine anketirana su tri akademska i jedan stručnjak iz vodoprivrede:

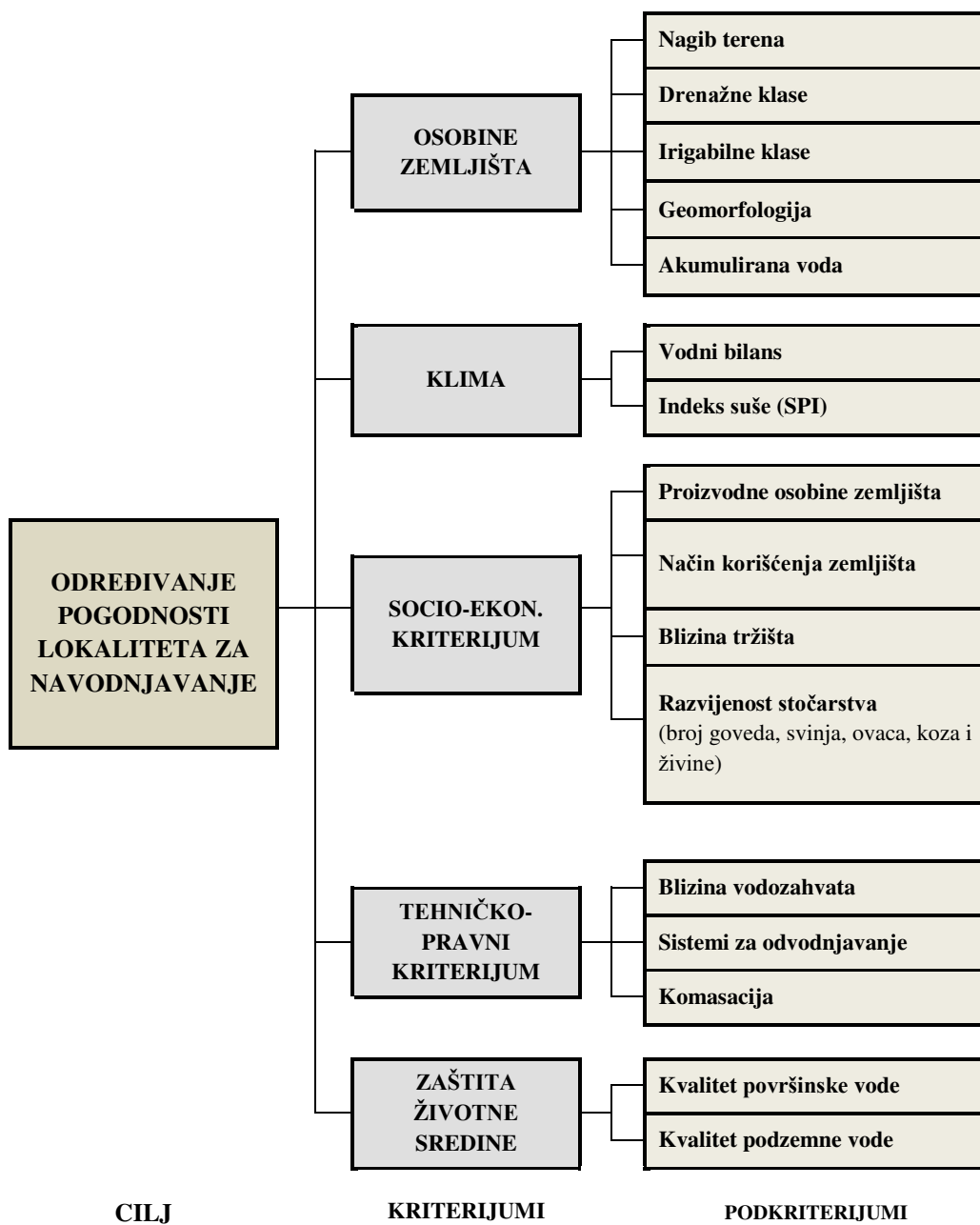
- Profesor Melioracija na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu,
- Asistent sa doktoratom na predmetima iz naučne oblasti Uređenje, zaštita i korišćenje voda na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu,
- Magistar iz naučne oblasti Uređenje, zaštita i korišćenje voda zaposlen u JVP "Vode Vojvodine".
- Asistent na predmetima iz naučne oblasti Informatika i sistemska analiza na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu (autor disertacije).

Poštujući navedena iskustva i preporuke, mišljenja relevantnih stručnjaka, i vodeći računa o dostupnosti podataka i mogućnosti njihove digitalizacije, ovde je predloženo da se ocena pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje vrši na osnovu 16 faktora (podkriterijuma) grupisanih u 5 kriterijuma (Tabela 21).

Tabela 21. Kriterijumi i podkriterijumi za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje za područje AP Vojvodine

Kriterijumi	Podkriterijumi
Osobine zemljišta	Nagib terena, Drenažne klase, Irigabilne klase, Geomorfologija, Akumulirana voda.
Klima	Vodni bilans - manjak vode, Indeks suše - SPI.
Socio-ekonomski kriterijum	Proizvodne osobine zemljišta, Način korišćenja zemljišta, Blizina tržišta, Razvijenost stočarstva.
Tehničko-pravni kriterijum	Blizina vodozahvata, Sistemi za odvodnjavanje, Komasaacija.
Zaštita životne sredine	Kvalitet površinske vode za navodnjavanje, Kvalitet podzemne vode za navodnjavanje.

Na osnovu odabranih kriterijuma i podkriterijuma formirana je hijerarhija problema odlučivanja (Slika 14).



Slika 14. Hijerarhija problema odlučivanja za određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje

Korak 2. Izbor donosilaca odluka i individualno vrednovanje elemenata hijerarhije

Za određivanje težina kriterijuma i podkriterijuma za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje su izabrana tri akademska i jedan stručnjak iz vodoprivrede:

DO1 - Profesor Melioracija na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu,

DO2 - Profesor Hidrotehničkih melioracija na Fakultetu Tehničkih nauka u Novom Sadu,

DO3 - Asistent sa doktoratom na predmetima iz naučne oblasti Uređenje, zaštita i korišćenje voda na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, i

DO4 - Magistar iz naučne oblasti Uređenje, zaštita i korišćenje voda zaposlen u JVP "Vode Vojvodine".

Donosioci odluka su izvršili vrednovanje elemenata hijerarhije problema odlučivanja (Slika 14) po metodu AHP. Za određivanje vektora prioriteta iz matrica poređenja je korišćen metod sopstvenih vrednosti (EV) jer ga je predložio autor metoda (Saaty, 1980) i jer je najčešće korišćen u praksi.

Vrednovanje kriterijuma:

Kriterijumima su dodeljene sledeće skraćenice u matricama poređenja:

1. OZ - Osobine zemljišta,
2. KL - Klima,
3. SE - Socio-ekonomski kriterijum,
4. TP - Tehničko-pravni kriterijum, i
5. ZŽ - Zaštita životne sredine.

U Tabeli 22 prikazana su vrednovanja kriterijuma u odnosu na cilj data od strane svih DO. Pored ovoga u Tabeli 22 (kao i u svim narednim) su dati individualni vektori prioriteta i njima pripadajuće mere konzistentnosti: stepen konzistentnosti (CR) i euklidsko rastojanje (ED). ED je računat jer je univerzalni pokazatelj konzistentnosti (koji se može koristiti za sve prioritizacione metode) i njegove vrednosti će se koristiti u drugoj fazi ove metodologije (prilikom određivanja težina DO). CR je vezan za EV prioritizacioni metod i uzet je da bi se dobio uvid u to da li su i koliko DO odstupali od dozvoljenog nivoa konzistentnosti. Kao što je ranije rečeno smatra se da je DO bio konzistentan ako mu je $CR \leq 0,1$. Sa druge strane autoru disertacije još nije poznato da postoje granične vrednosti kada je ED u pitanju.

Tabela 22. Vrednovanje kriterijuma u odnosu na cilj

DO1							DO2						
OZ	KL	SE	TP	ZŽ	w		OZ	KL	SE	TP	ZŽ	w	
OZ	2	4	5	5	0,449		OZ	7	3	1	3	0,376	
KL		2	4	4	0,275		KL		1/3	1/3	1/3	0,057	
SE			1	1	0,104		SE			1/3	1/3	0,107	
TP				1	0,086		TP				1	0,254	
ZŽ					0,086		ZŽ					0,206	
CR=0,014; ED=1,487							CR=0,051; ED=2,763						
DO3							DO4						
OZ	KL	SE	TP	ZŽ	w		OZ	KL	SE	TP	ZŽ	w	
OZ	5	3	1	2	0,316		OZ	5	5	7	3	0,504	
KL		1/4	1/3	1	0,079		KL		1	3	1/3	0,102	
SE			1/4	1/2	0,130		SE			3	1/3	0,102	
TP				3	0,337		TP				1/5	0,046	
ZŽ					0,138		ZŽ					0,245	
CR=0,091; ED=3,580							CR=0,028; ED=4,350						

Rezultati u Tabeli 22 pokazuju da su tri DO najveću težinu dali kriterijumu Osobine zemljišta (DO1 (0,449), DO2 (0,376), DO4 (0,504)), dok je DO3 prioritet dao Tehničko-pravnom kriterijumu dajući mu težinu 0,337. DO1 je na drugo mesto stavio Klimu (0,275), DO2 Tehničko-pravni kriterijum (0,254), DO3 Osobine zemljišta (0,316) i DO4 Zaštitu životne sredine (0,245). Svi DO su bili konzistentni (Tabela 22).

Vrednovanje podkriterijuma:

U okviru kriterijuma **Osobine zemljišta** se nalazi 5 podkriterijuma sa sledećim skraćenicama:

1. NT - Nagib terena,
2. DK - Drenažne klase,
3. IK - Irigabilne klase,
4. GM - Geomorfologija, i
5. AV - Akumulirana voda.

U Tabeli 23 prikazana su vrednovanja podkriterijuma u odnosu na kriterijum Osobine zemljišta data od strane svih DO. Individualni vektori prioriteta i pripadajuće mere konzistentnosti se takođe nalaze u ovoj tabeli.

Tabela 23. Vrednovanje podkriterijuma u odnosu na kriterijum Osobine zemljišta

DO1							DO2						
	NT	DK	IK	GM	AV	w		NT	DK	IK	GM	AV	w
NT		1/3	1/5	1	1/3	0,078	NT		1/5	1/5	1/3	1/3	0,061
DK			1/2	3	3	0,291	DK			1	1	1	0,247
IK				2	2	0,358	IK				1	1	0,247
GM					1/2	0,104	GM					1	0,223
AV						0,169	AV						0,223
<i>CR=0,052; ED=2,517</i>							<i>CR=0,009; ED=1,665</i>						
DO3							DO4						
	NT	DK	IK	GM	AV	w		NT	DK	IK	GM	AV	w
NT		1/5	1/7	1/6	1/7	0,033	NT		1	1/5	1/5	1/3	0,063
DK			1/5	1/3	1/5	0,081	DK			1/5	1/5	1/3	0,063
IK				5	1	0,377	IK				3	3	0,455
GM					1/5	0,133	GM					1	0,234
AV						0,377	AV						0,185
<i>CR=0,099; ED=7,868</i>							<i>CR=0,033; ED=3,819</i>						

DO1 je najveće težine dao podkriterijumima Irigabilne klase (0,358) i Drenažne klase (0,291). DO2 je iste identifikovao kao najbitnije dodeljujući im jednake težine 0,247. DO3 je na prva dva mesta stavio Akumuliranu vodu i Irigabilne klase sa težinom 0,377. Kod DO4 Irigabilne klase (0,455) je takođe prvorangirani podkriterijum a drugorangirani Geomorfologija (0,234). Svi DO su bili u prihvatljivim granicama nekonzistentnosti (Tabela 23).

Podkriterijumi koji pripadaju kriterijumu **Klime** su dobili skraćenice:

1. VB - Vodni bilans - vodni deficit i
2. IS - Indeks suše (SPI).

U Tabeli 24 prikazana su vrednovanja podkriterijuma u odnosu na kriterijum Klima data od strane svih DO. Individualni vektori prioriteta i pripadajuće mere konzistentnosti se takođe nalaze u ovoj tabeli. Svi DO su bili apsolutno konzistentni ($CR=0$) jer su poređena samo dva podkriterijuma. DO1 i DO4 su prednost dali Indeksu suše (0,667 i 0,750) dok je DO3 preferirao podkriterijum Vodni bilans (0,833). DO2 je smatrao da su oba podkriterijuma jednako značajna (Tabela 24).

Tabela 24. Vrednovanje podkriterijuma u odnosu na kriterijum Klima

DO1				DO2			
	VB	IS	w		VB	IS	w
VB		1/2	0,333	VB		1	0,500
IS			0,667	IS			0,500
<i>CR=0,000; ED=0,000</i>				<i>CR=0,000; ED=0,000</i>			
DO3				DO4			
	VB	IS	w		VB	IS	w
VB		5	0,833	VB		1/3	0,250
IS			0,167	IS			0,750
<i>CR=0,000; ED=0,000</i>				<i>CR=0,000; ED=0,000</i>			

U **Socio-ekonomski** kriterijum su grupisani sledeći podkriterijumi:

1. PO - Proizvodne osobine zemljišta,
2. NK - Način korišćenja zemljišta,
3. BT - Blizina tržišta, i
4. RS - Razvijenost stočarstva.

Vrednovanja svih DO i proračuni vezani za matrice poređenja (vektori prioriteta i pripadajuće mere konzistentnosti) su dati u Tabeli 25. Najveću nekonzistentnost je pokazao DO3 ($CR=0,180$), međutim isti nije bio voljan da promeni svoja vrednovanja tvrdeći da je svesno napravio takav izbor.

Tabela 25. Vrednovanje podkriterijuma u odnosu na Socio-ekonomski kriterijum

DO1						DO2					
	PO	NK	BT	RS	w		PO	NK	BT	RS	w
PO		5	4	6	0,610	PO		1	3	1	0,300
NK			1	3	0,163	NK			3	1	0,300
BT				2	0,152	BT				1/3	0,100
RS					0,075	RS					0,300
<i>CR=0,027; ED=2,580</i>						<i>CR=0,000; ED=0,000</i>					
DO3						DO4					
	PO	NK	BT	RS	w		PO	NK	BT	RS	w
PO		1/7	5	3	0,200	PO		3	5	5	0,560
NK			5	5	0,636	NK			3	3	0,249
BT				1/3	0,058	BT				1	0,095
RS					0,106	RS					0,095
<i>CR=0,180; ED=7,505</i>						<i>CR=0,016; ED=1,542</i>					

DO1 i DO4 su najveću težinu (0,610 i 0,560) dali podkriterijumu Proizvodne osobine zemljišta dok su na drugom mestu po značaju identifikovali Način korišćenja zemljišta (DO1-0,163 i DO4-0,249). Takođe DO3 je iste podkriterijume smatrao najvažnijim ali im je obrnuo rangiranje stavljajući na prvo mesto Način korišćenja zemljišta (0,636) a na drugo mesto Proizvodne osobine zemljišta (0,200). DO2 je dodelio jednake težine (0,300) podkriterijumima Proizvodne osobine zemljišta, Način korišćenja zemljišta i Razvijenost stočarstva.

U okviru **Tehničko-pravnog** kriterijuma se nalaze sledeći podkriterijumi:

1. BV - Blizina vodozahvata,
2. SO - Sistemi za odvodnjavanje, i
3. KO - Komascija.

Vrednovanja svih DO i proračuni vezani za matrice poređenja (vektori prioriteta i mere konzistentnosti) su dati u Tabeli 26. Najveću nekonzistentnost je pokazao DO1 ($CR=0,221$), međutim kao i u prethodnom slučaju donosilac odluka nije bio voljan da promeni svoja vrednovanja tvrdeći da je svesno napravio takav izbor. DO1, DO3 i DO4 su identično rangirali podkriterijume dodeljujući Blizini vodozahvata 0,740, 0,701 i 0,637, Sistemima za odvodnjavanje 0,204, 0,202 i 0,258, i Komasciji 0,056, 0,097 i 0,105. DO2 je sve podkriterijume smatrao jednako značajnim.

Tabela 26. Vrednovanje podkriterijuma u odnosu na Tehničko-pravni kriterijum

DO1					DO2				
	BV	SO	KO	w		BV	SO	KO	w
BV		6	8	0,740	BV		1	1	0,333
SO			6	0,204	SO			1	0,333
KO				0,056	KO				0,333
$CR=0,221; ED=6,192$					$CR=0,000; ED=0,000$				
DO3					DO4				
	BV	SO	KO	w		BV	SO	KO	w
BV		5	5	0,701	BV		3	5	0,637
SO			3	0,202	SO			3	0,258
KO				0,097	KO				0,105
$CR=0,117; ED=2,850$					$CR=0,033; ED=1,324$				

Za detaljniju analizu kriterijuma **Zaštita životne sredine** uzeta su dva podkriterijuma:

1. PV - Kvalitet površinske vode za navodnjavanje, i
2. PZ - Kvalitet podzemne vode za navodnjavanje.

U Tabeli 27 su data vrednovanja svih DO, vektori prioriteta i pripadajuće mere konzistentnosti. Svi DO su bili apsolutno konzistentni ($CR=0$) jer su poređena samo dva podkriterijuma. DO3 i DO4 su mnogo veći značaj dali Kvalitetu površinske vode za navodnjavanje (0,857 i 0,833) dok su DO1 i DO2 smatrali da su oba podkriterijuma jednako značajna (Tabela 27).

Tabela 27. Vrednovanje podkriterijuma u odnosu na kriterijum Zaštite životne sredine

DO1			DO2		
PV	PZ	w	PV	PZ	w
PV	1	0,500	PV	1	0,500
PZ		0,500	PZ		0,500
$CR=0,000; ED=0,000$			$CR=0,000; ED=0,000$		
DO3			DO4		
PV	PZ	w	PV	PZ	w
PV	6	0,857	PV	5	0,833
PZ		0,143	PZ		0,167
$CR=0,000; ED=0,000$			$CR=0,000; ED=0,000$		

Korak 3. Računanje individualnih težina podkriterijuma

Po završetku vrednovanja hijerarhije problema odlučivanja i računanja lokalnih individualnih vektora prioriteta aditivnom sintezom su dobijene konačne težine svih podkriterijuma (GIS slojeva) za svakog DO posebno (Tabela 28). Rezultati pokazuju da su DO različite podkriterijume prvorangirali. DO1 je najveću težinu dao podkriterijumu Indeks suše (0,184), DO2 Kvalitetu površinske i kvalitetu podzemne vode za navodnjavanje (0,103), DO3 Blizini Vodozahvata (0,236) a DO4 Irigabilnim klasama (0,229). Kada se posmatraju podkriterijumi koji su bili rangirani u prva četiri mesta (osenača polja u Tabeli 28) uočava se da se podkriterijum Irigabilne klase nalazio u ovoj grupi četiri puta (DO1-DO4), Kvalitet površinske vode za navodnjavanje tri (DO2, DO3 i DO4), Drenažne klase dva (DO1 i DO2) i Akumulirana voda takođe dva puta (DO3 i DO4).

S obzirom da su u dve lokalne matrice poređenja DO3 i DO1 imali veći nivo nekonzistentnosti od dozvoljenog izračunat je ukupni nivo konzistentnosti (HCR) za celu hijerarhiju (Tabela 29). Vrednosti HCR pokazuju da su svi DO bili u dozvoljenim granicama nekonzistentnosti.

Tabela 28. Individualne težine podkriterijuma i pripadajući rangovi

	DO1	DO2	DO3	DO4
NT	0,035 (11)	0,023 (15)	0,010 (15)	0,032 (8-9)
DK	0,131 (3)	0,093 (3-4)	0,026 (10-11)	0,032 (8-9)
IK	0,161 (2)	0,093 (3-4)	0,119 (2-3)	0,229 (1)*
GM	0,047 (8)	0,084 (8-9)	0,042 (8)	0,118 (3)
AV	0,076 (5)	0,084 (8-9)	0,119 (2-3)	0,093 (4)
VB	0,092 (4)	0,029 (13-14)	0,065 (7)	0,026 (11-12)
IS	0,184 (1)*	0,029 (13-14)	0,013 (14)	0,077 (5)
PO	0,063 (6-7)	0,032 (10-12)	0,026 (10-11)	0,057 (6)
NK	0,017 (12-13)	0,032 (10-12)	0,083 (5)	0,026 (11-12)
BT	0,016 (14)	0,011 (16)	0,008 (16)	0,010 (14-15)
RS	0,008 (15)	0,032 (10-12)	0,014 (13)	0,010 (14-15)
BV	0,063 (6-7)	0,085 (5-7)	0,236 (1)*	0,029 (10)
SO	0,017 (12-13)	0,085 (5-7)	0,068 (6)	0,012 (13)
KO	0,005 (16)	0,085 (5-7)	0,033 (9)	0,005 (16)
PV	0,043 (9-10)	0,103 (1-2)*	0,118 (4)	0,204 (2)
PZ	0,043 (9-10)	0,103 (1-2)*	0,020 (12)	0,041 (7)

Tabela 29. Indeks konzistentnosti (*HCR*) za celu hijerarhiju

	DO1	DO2	DO3	DO4
<i>HCR</i>	0,03	0,04	0,10	0,03

4.2.2. Faza # 2: Određivanje težina donosilaca odluka i računanje grupnog vektora prioriteta (grupnih težina podkriterijuma)

Korak 4. Višekriterijumsko određivanje težina DO

Kao što je ranije detaljno opisano višekriterijumsko određivanje težina DO se sastoji iz 5 koraka:

1. Određivanje težina donosilaca odluke na osnovu međusobnog vrednovanja donosilaca odluka u parovima (*MVDO*). Koristeći metodologiju AHP svaki DO je u parovima vrednovao druge DO, pri čemu sebe nije poredio sa drugim članovima grupe. Vrednovanja sa pripadajućim vektorima prioriteta (težina DO) su data u Tabeli 30. Suma težina za svakog DO je podeljena sa 4 (broj DO) i taj količnik predstavlja težine DO po ovom kriterijumu (Tabela 31). Kada se pogleda poslednji red Tabele 31 vidi se da su DO1 i DO2 (profesori) na osnovu *MVDO* dobila u zbiru 0,854 a DO3 (asistent) i DO4 (stručnjak iz vodoprivrede) ukupno 0,146.

Tabela 30. Međusobno vrednovanje donosilaca odluka

DO1					DO2				
	DO2	DO3	DO4	w		DO1	DO3	DO4	w
DO2		7	7	0,766	DO1		7	7	0,766
DO3			3	0,158	DO3			1/3	0,076
DO4				0,076	DO4				0,158
<i>CR=0,117; ED=3,881</i>					<i>CR=0,117; ED=3,881</i>				
DO3					DO4				
	DO1	DO2	DO4	w		DO1	DO2	DO3	w
DO1		2	9	0,589	DO1		1/3	5	0,265
DO2			8	0,357	DO2			9	0,672
DO4				0,054	DO3				0,063
<i>CR=0,032; ED=2,388</i>					<i>CR=0,025; ED=1,905</i>				

Tabela 31. Težine DO na osnovu međusobnog vrednovanja

	DO1	DO2	DO3	DO4
DO1 *	0,000	0,766	0,158	0,076
DO2 *	0,766	0,000	0,076	0,158
DO3 *	0,589	0,357	0,000	0,054
DO4 *	0,265	0,672	0,063	0,000
Σ	1,620	1,795	0,297	0,288
$\gamma = \Sigma/4$	0,405	0,449	0,074	0,072

* Prvi red matrice predstavljaju težine DO koje je vrednovanjem odredio DO1, drugi težine koje je vrednovanjem odredio DO2, itd.

2. Određivanje težina donosilaca odluke na osnovu odstupanja individualnih odluka od grupne (GRED). Izračunata su euklidska rastojanja individualnih težina podkriterijuma (datih u Tabeli 29) od grupnih (dobijenih aritmetičkim osrednjavanjem individualnih). Ove vrednosti (GRED) su date u Tabeli 32 a aditivnom normalizacijom njihovih recipročnih vrednosti dobijene su težine DO po ovom kriterijumu (poslednji red Tabele 32 - vrednosti β). Težine koje su DO2 i DO4 dodelili podkriterijumima su najmanje odstupale od grupnih i zato su oni dobili najveće težine (0,385 i 0,220).

Tabela 32. Postupak određivanja težina DO na osnovu grupne konzistentnosti

	DO1	DO2	DO3	DO4
<i>GRED</i>	0,0277	0,0148	0,0303	0,0259
<i>1/GRED</i>	36,101	67,568	33,003	38,610
β	0,206	0,385	0,188	0,220

3. Određivanje težina donosilaca odluka na osnovu demonstrirane individualne konzistentnosti (ED). Za svakog DO je izračunata suma euklidskih rastojanja (ED) iz svih matrica poređenja, odnosno svih čvorova hijerarhije problema odlučivanja (vrednosti ED se nalaze u Tabelama 22-27). Njihova suma je data u prvom redu Tabele 33 a aditivnom normalizacijom njihovih recipročnih vrednosti dobijene su težine DO po ovom kriterijumu (poslednji red Tabele 33). DO2 je bio najkonzistentniji i dobio je najveću težinu 0,513.

Tabela 33. Postupak određivanja težina DO na osnovu individualne konzistentnosti

	DO1	DO2	DO3	DO4
<i>ED</i>	12,776	4,428	21,803	11,035
<i>1/ED</i>	0,078	0,226	0,046	0,091
α	0,178	0,513	0,104	0,206

4. Određivanje težina kriterijuma (pristupa) za određivanje težina DO. Svaki DO, koristeći AHP, je poredio u parovima gore tri opisana pristupa (kriterijuma) za određivanje težina DO. Grupne težine kriterijuma određene su metodom SAAP.

Tabela 34. Individualne i grupne težine kriterijuma za određivanje težina DO

DO1					DO2				
	<i>ED</i>	<i>GRED</i>	<i>MVDO</i>	<i>w</i>		<i>ED</i>	<i>GRED</i>	<i>MVDO</i>	<i>w</i>
<i>ED</i>		1/3	3	0,281	<i>ED</i>		1/5	1/4	0,094
<i>GRED</i>			3	0,584	<i>GRED</i>			3	0,627
<i>MVDO</i>				0,135	<i>MVDO</i>				0,280
<i>CR=0,117; ED=1,873</i>					<i>CR=0,074; ED=2,120</i>				
DO3					DO4				
	<i>ED</i>	<i>GRED</i>	<i>MVDO</i>	<i>w</i>		<i>ED</i>	<i>GRED</i>	<i>MVDO</i>	<i>w</i>
<i>ED</i>		1/5	1/3	0,105	<i>ED</i>		3	1/3	0,243
<i>GRED</i>			3	0,637	<i>GRED</i>			1/7	0,088
<i>MVDO</i>				0,258	<i>MVDO</i>				0,669
<i>CR=0,033; ED=1,324</i>					<i>CR=0,006; ED=0,702</i>				
SAAP-grupna odluka									
<i>ED</i>	0,149				<i>ED</i> - individualna konzistentnost				
<i>GRED</i>	0,502				<i>GRED</i> - grupna konzistentnost				
<i>MVDO</i>	0,350				<i>MVDO</i> - međusobna vrednovanja DO				

Rezultati u Tabeli 34 pokazuju da su DO1, DO2 i DO3 izrazito preferirali da im težina bude određena na osnovu kriterijuma odstupanja individualnih odluka od grupne (*GRED*), dodelivši mu redom 0,584, 0,627 i 0,637. DO4 je najveći značaj dao *MVDO* (0,669). Iz grupne odluke sledi da će najveći uticaj na određivanje težina DO imati *GRED* (0,502), zatim *MVDO* (0,350) i na

kraju *ED* (0,149). Ovo znači da se grupa indirektno izjasnila da tzv. "autlajerima" treba smanjiti uticaj pri donošenju odluke.

5. Određivanje konačnih težina donosilaca odluka. Koristeći težine *DO* dobijene na osnovu *MVDO*, težine *DO* dobijene na osnovu *GRED*, težine *DO* dobijene na osnovu *ED* i težine pristupa-kriterijuma za određivanje težina *DO*, dobijene su konačne težine *DO* (Tabela 35).

Tabela 35. Dobijanje konačnih težina *DO* metodom SAW

	<i>ED</i>	<i>GRED</i>	<i>MVDO</i>	$\alpha_{\text{konač}}$
	0,149	0,502	0,350	
DO1	0,178	0,206	0,405	0,272
DO2	0,513	0,385	0,449	0,427
DO3	0,104	0,188	0,074	0,136
DO4	0,206	0,220	0,072	0,166

Profesor Fakulteta Tehničkih nauka (*DO2*) je dobio najveću težinu 0,427, Profesor Poljoprivrednog fakulteta (*DO1*) 0,272, stručnjak iz vodoprivrede (*DO4*) 0,166 a najmanji uticaj u grupi će imati Asistent na Poljoprivrednom fakultetu (*DO3*) sa težinom 0,136.

Korak 5. Određivanje konačnih grupnih težina podkriterijuma (GIS slojeva)

Množeći individualne težine podkriterijuma sa prethodno izračunatim težinama *DO* i njihovim sabiranjem, izračunate su grupne (konačne) težine podkriterijuma (Tabela 36) koje će se koristiti u daljoj analizi kao težinski koeficijenti GIS slojeva. Na ovaj način biće omogućeno njihovo preklapanje i dobijanje rezultujućeg sloja, odnosno konačne mape pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje.

Rezultati u Tabeli 36 pokazuju da donosioci odluka smatraju Irigabilne klase najvažnijim podkriterijumom sa težinom 0,138. Na drugom mestu je Kvalitet površinske vode za navodnjavanje (0,103) a trećeplasirani podkriterijum je Blizina vodozahvata (0,090). Iako autor disertacije nije vrednovao hijerarhiju problema odlučivanja, iz njegove perspektive rezultati su logični i razumljivi. Takođe visoko su rangirani i Akumulirana voda (0,088) koja je na četvrtom mestu i Drenažne klase (0,084) koje su na petom mestu. Dakle, tri podkriterijuma koja pripadaju kriterijumu Osobine zemljišta su među prvih pet rangiranih, što je očekivano jer su tri *DO* ovaj kriterijum prepoznali kao najvažniji. Klimatski podkriterijum Indeks suše je bio na šestom mestu sa težinom 0,077, dok je Vodni bilans bio na desetom sa težinom 0,051. S obzirom da se u Vojvodini manje navodnjava podzemnom nego površinskom vodom razumljivo je da je Kvalitet podzemne vode bio osmi (0,065). Zanimljivo je da su najmanje težine dobili socio-ekonomski podkriterijumi Blizina tržišta (0,012) i Razvijenost stočarstva (0,019).

Tabela 36. Konačne grupne težine podkriterijuma

Kriterijumi	Podkriterijumi	DO1	DO2	DO3	DO4	$W_{\text{konač}}$
		0,272	0,427	0,136	0,166	
Osobine zemljišta	Nagib terena	0,035	0,023	0,010	0,032	0,026 (14)
	Drenažne klase	0,131	0,093	0,026	0,032	0,084 (5)
	Irigabilne klase	0,161	0,093	0,119	0,229	0,138 (1)
	Geomorfologija	0,047	0,084	0,042	0,118	0,074 (7)
	Akumulirana voda	0,076	0,084	0,119	0,093	0,088 (4)
Klima	Vodni bilans	0,092	0,029	0,065	0,026	0,051 (10)
	Indeks suše	0,184	0,029	0,013	0,077	0,077 (6)
Socio-ekonom. kriterijum	Proizv. osobine zemljišta	0,063	0,032	0,026	0,057	0,044 (11)
	Način korišć. zemljišta	0,017	0,032	0,083	0,026	0,034 (13)
	Blizina tržišta	0,016	0,011	0,008	0,010	0,012 (16)
	Razvijenost stočarstva	0,008	0,032	0,014	0,010	0,019 (15)
Tehničko-pravni kriterijum	Blizina vodozahvata	0,063	0,085	0,236	0,029	0,090 (3)
	Sistemi za odvodnjavanje	0,017	0,085	0,068	0,012	0,052 (9)
	Komasacija	0,005	0,085	0,033	0,005	0,043 (12)
Zaštita životne sredine	Kvalitet površinske vode	0,043	0,103	0,118	0,204	0,106 (2)
	Kvalitet podzemne vode	0,043	0,103	0,020	0,041	0,065 (8)

4.2.3. Faza # 3: GIS analiza

Korak 6. Standardizacija podkriterijuma (GIS slojeva)

Pomenuto je da ulazni slojevi najčešće sadrže podatke različitog tipa i različitog opsega i zbog toga je potrebno ulazne slojeve standardizovati, odnosno klasifikovati (ili reklasifikovati) po određenom kriterijumu. Klasifikacijom slojeva se po određenom kriterijumu slojevima dodeljuje isti tip podataka i u istom opsegu. Pri analizi pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje, svi ulazni slojevi koji utiču na pogodnost lokaliteta su klasifikovani tako da podaci u okviru sloja budu celobrojne vrednosti u opsegu od 1 do 5, gde 1 označava najmanju pogodnost a 5 najveću.

Ovde treba naglasiti razliku između prethodnih klasifikacija i pristupa koji je korišćen ovde. Većina prethodnih klasifikacija (npr. Miljković i sar., 1994; Miljković, 2005; FAO, 1985; Stojićević, 1996; Hecker, 2000, itd.) razvrstava zemljišta u pogodna za navodnjavanje (sa pripadajućim klasama: npr. pogodna bez ograničenja, pogodna uz opreznost, uslovno pogodna

(Miljković, 1994)) i nepogodna za navodnjavanje. Sa druge strane, ovde je primenjen koncept koji daje odgovor na pitanje na kojim lokalitetima je najcelishodnije graditi sisteme za navodnjavanje u višekriterijumskom smislu. Npr., ako neki lokalitet ima mali prioritet, to ne znači da on po automatizmu nije pogodan za navodnjavanje (jer je moguće da je zemljište na toj lokaciji pogodno za navodnjavanje), već da bi se veći efekat ostvario na drugom lokalitetu.

Dodeljivanje vrednosti klasama u okviru istog podkriterijuma (sloja) je zasnovano na radu Kosa (1987), gde se navodi sledeće:

- Ako postoje dovoljne količine vode i raspoloživog zemljišta, uvođenje navodnjavanja treba temeljiti na postizanju najvećeg dohotka po jedinici površine;
- U slučaju da su površine zemljišta ograničene a na raspolaganju stoji dovoljna količina vode, planiranje se usmerava ka dobijanju maksimalne količine proizvoda sa jedinice površine;
- Ako je količina raspoložive vode ograničena a površine zemljišta nisu, uvođenje navodnjavanja mora ići u pravcu postizanja najboljih finansijskih efekata po jedinici vode; i
- Ako su oba osnovna činioca navodnjavanja (zemljište i voda) ograničeni, kod planiranja navodnjavanja treba težiti postizanju najvećeg prinosa po jedinici površine za jedinicu utrošene vode.

1. Nagibi terena

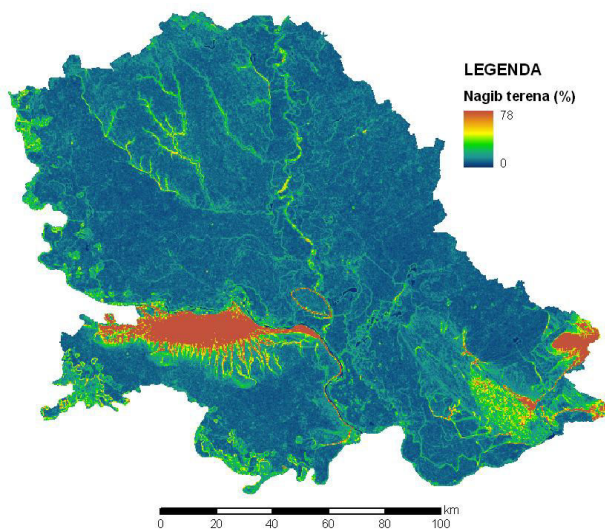
Na osnovu digitalnog modela reljefa izvedena je karta nagiba terena. Nagibi terena su na teritoriji Vojvodine u opsegu od 0% do 78% (Slika 15). Veći deo teritorije Vojvodine, oko 95% ima veoma blage nagibe terena u opsegu od 0% do 5%, a svega 5% teritorije je sa većim nagibima.

Reklasifikacija sloja nagibi terena

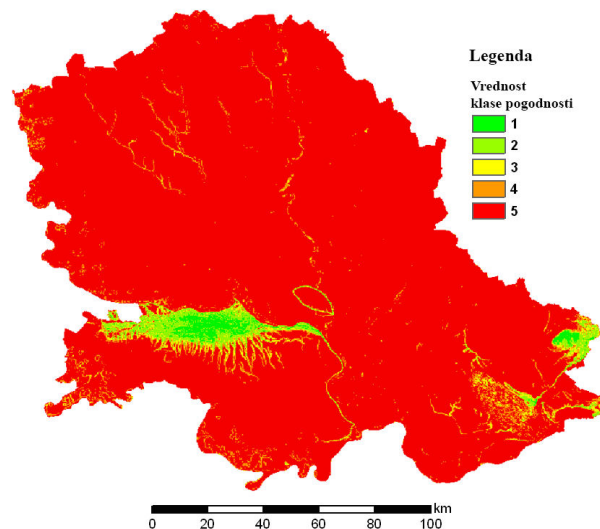
Reklasifikacija ovog sloja je izvršena dodeljivanjem vrednosti od 1 do 5 određenim opsezima nagiba terena (Tabela 37, Slika 16). Najveća pogodnost za navodnjavanje, vrednost 5, je dodeljena površinama sa blagim nagibima u opsegu od 0% do 3%, vrednost 4 je dodeljena površinama sa nagibima u opsegu od 3% do 5%, vrednost 3 nagibima od 5% do 8%, vrednost 2 nagibima od 8% do 16% a vrednost 1 je dodeljena površinama sa nagibima terena preko 16%. Spisak referenci gde se takođe predlaže korišćenje nagiba terena prilikom određivanja pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje je dat u poslednjoj koloni Tabele 37.

Tabela 37. Klase nagiba terena i njihove pripadajuće vrednosti u odnosu na pogodnost lokaliteta za navodnjavanje

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Nagib terena (NT)	0% - 3%	5	Sys (1979);
	3% - 5%	4	SCWG (1998);
	5% - 8%	3	Procedures (2004);
	8% - 16%	2	Chen i sar. (2010);
	> 16%	1	Srdjevic i sar. (2010)



Slika 15. Nagibi terena



Slika 16. Karta nagiba terena reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

2. Drenažne klase

Sva zemljišta u Vojvodini mogu se svrstati u drenažne klase prema stepenu ugroženosti suvišnim vodama u zavisnosti od njihovih svojstava. Drenažna sposobnost zemljišta odnosi se na brzinu i razmeru uklanjanja viška vode prirodnim putem, usled njenog priliva od padavina, površinskog oticanja i tokova vode unutar zemljišnog preseka i podloge (Miljković, 2005). Podela zemljišta je izvršena na osnovu prosečnih graničnih vrednosti njihovih vodnih konstanti kao i glavnih hemijskih parametara (Miljković, 2005). Zemljišta u Vojvodini su podeljena na pet drenažnih klasa (Slika 17).

I drenažna klasa obuhvata zemljišta koja su prirodno vrlo slabo drenirana. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: solončak, solonjec, ritska crnica (zaslanjena, alkalizovana, beskarbonatna), močvarno-glejno zemljište i pseudoglej. I drenažna klasa se prostire na oko 18% teritorije Vojvodine.

II drenažna klasa obuhvata zemljišta koja su prirodno slabo drenirana. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: aluvijalno zemljište (glinovito, zabareno, zaslanjeno, alkalizovano), ritska crnica karbonatna, fluvijalno livadsko zemljište, smonica (ogajnjačena, lesivirana), lesivirano zemljište, solonjec-solođ, solođ. II drenažna klasa se prostire na oko 12% teritorije Vojvodine.

III drenažna klasa obuhvata zemljišta koja su prirodno nedovoljno drenirana. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: smonica (normalna), gajnjača lesivirana, černozemi zaslanjeni i alkalizovani, aluvijalno zemljište, aluvijalno-deluvijalno zemljište. III drenažna klasa se prostire na oko 6% teritorije Vojvodine.

IV drenažna klasa obuhvata teksturno lakša zemljišta, koja su prirodno umereno drenirana. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: černozemi (izluženi, ogajnjačeni, livadski, beskarbonatni), koluvijalno (deluvijalno) zemljište, gajnjača. IV drenažna klasa se prostire na oko 39% teritorije Vojvodine.

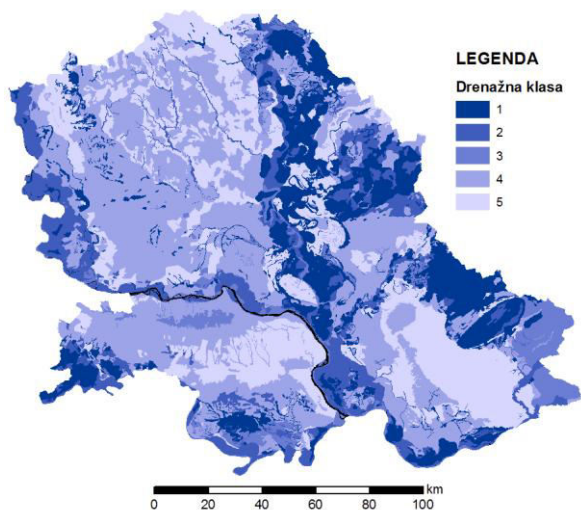
V drenažna klasa obuhvata teksturno laka zemljišta koja su prirodno dobro drenirana. U ovu grupu spadaju černozemi i inicijalna zemljišta. V drenažna klasa se prostire na oko 25% teritorije Vojvodine.

Reklasifikacija sloja drenažne klase

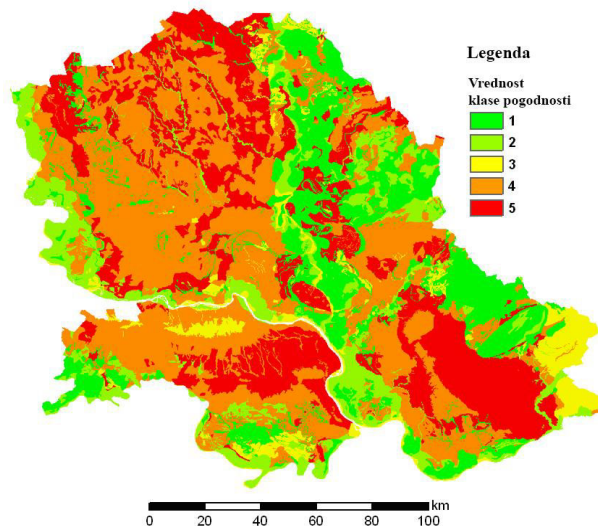
Kako metod preklapanja slojeva u GIS-u zahteva standardizovane vrednosti ulaznih slojeva, karta drenažnih klasa zemljišta je reklasifikovana u pet klasa prema pogodnosti za navodnjavanje (Tabela 38, Slika 18).

Tabela 38. Klase pogodnosti drenažnih klasa za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Drenažne klase (DK)	V drenažna klasa	5	Procedures (2004);
	IV drenažna klasa	4	Miljković (2005);
	III drenažna klasa	3	Albaji i sar. (2008);
	II drenažna klasa	2	Rabia i sar. (2013)
	I drenažna klasa	1	



Slika 17. Drenažna sposobnost zemljišta na teritoriji Vojvodine



Slika 18. Karta drenažnih klasa reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

3. Irigabilne klase

Zemljišta pogodna za navodnjavanje obuhvataju sledeće tri klase (Miljković, 2005):

I klasa – duboka, strukturna zemljišta pogodna za navodnjavanje bez ograničenja, pod pretpostavkom sistematske, periodične kontrole kvaliteta i kvaliteta irigacione vode kao i režima podzemne vode prve izdani na navodnjavanim zemljištima. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: černozem (karbonatni, livadski na lesnom platou), sirozem (regosol na lesu), eolski pesak (arenosol, rigolovani pesak i zemljišta stvorena na pesku). Prostiru se na oko 28% teritorije Vojvodine.

II klasa – duboka i srednje duboka zemljišta pogodna za navodnjavanje uz određenu opreznost pošto su u prošlosti bila pod uticajem degradacionih procesa u različitim pravcima i sa različitim intenzitetom kao što su zabarivanje, oglejavanje, ispiranje kreča i gline pod uticajem podzemne ili površinske vode. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: černozem (izluženi, ogajnjačeni, livadski beskarbonatni, karbonatni na lesnoj terasi), aluvijalno livadsko zemljište. Prostiru se na oko 34% teritorije Vojvodine.

III klasa – zemljišta uslovno pogodna za navodnjavanje. Ovu široku klasu čine tri podklase zemljišta koje karakterišu težak, glinovit mehanički sastav u celom ili donjem delu profila, izraženi znaci hidromorfizma, zabarenost, beskarbonatnost, aciditet odnosno salinitet i alkalitet.

IIIa klasa – zemljišta duboka (pretežno hidromorfnog karaktera), koja zahtevaju prethodno odgovarajuće odvodnjavanje otvorenim kanalima ili cevnom drenažom i dubinsko rastresanje nepovoljnih slojeva u profilu. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: smonica, gajnjača, aluvijalno zemljište, deluvijalno zemljište, aluvijalno livadsko zemljište, ritska crnica karbonatna. Prostiru se na oko 18% teritorije Vojvodine.

IIIb klasa – srednje duboka zemljišta koja zahtevaju pored odgovarajućeg odvodnjavanja i primenu hemijskih sredstava za popravku zemljišta (u manjim količinama), kao i druge mere kompleksnih melioracija (dubinsko rastresanje, ispiranje soli i dr.). U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: smonica ogajnjačena lesivirana, gajnjača lesivirana, močvarno-glejno zemljište, aluvijalno zemljište (glinovito, zabareno), ritska crnica beskarbonatna. Prostiru se na oko 14% teritorije Vojvodine.

IIIc klasa - Duboka, srednje duboka do plitka zemljišta (pretežno hidromorfnog i halomorfnog karaktera), koja zahtevaju uz odgovarajuće odvodnjavanje (otvorenim kanalima ili efikasnijom cevnom drenažom), primenu značajnih količina hemijskih i fizičkih sredstva za popravku zemljišta. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: solonjec, solončak, solođ, pseudoglej. Prostiru se na oko 6% teritorije Vojvodine.

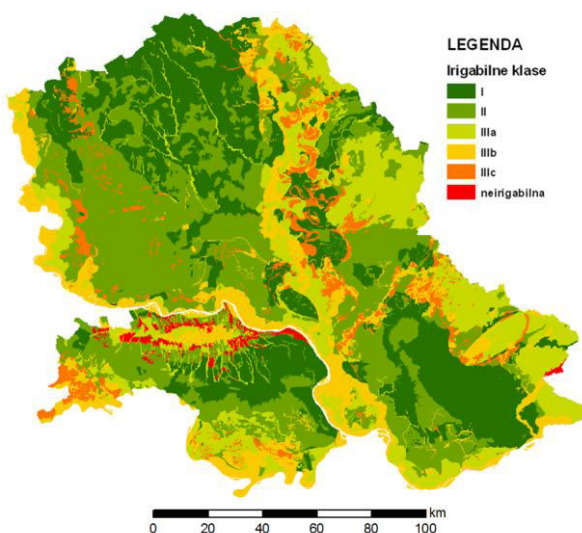
Karta na Slici 19 prikazuje klase pogodnosti zemljišta za navodnjavanje na teritoriji Vojvodine.

Reklasifikacija sloja irigabilne klase

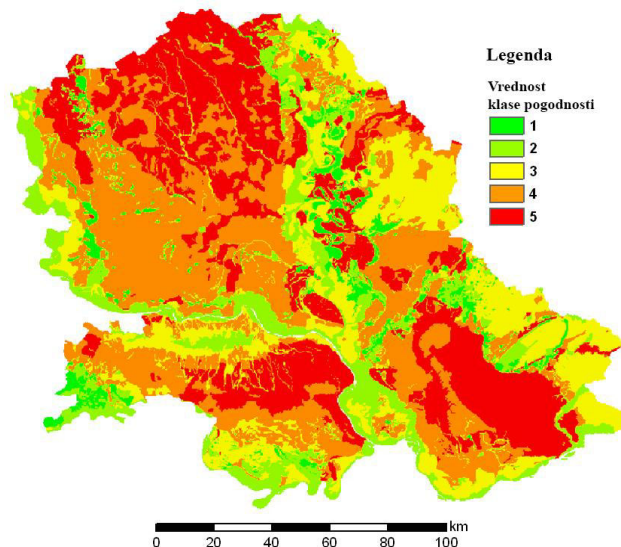
Kao i u prethodnim slučajevima, reklasifikacija ovog sloja je izvršena dodeljivanjem vrednosti od 1 do 5. Najveću vrednost 5 je dobila I irigabilna klasa, a najmanju 1 IIIc irigabilna klasa. Vrednosti koje su dodeljene irigabilnim klasama su date u Tabeli 39 i na osnovu njih je dobijena Slika 20.

Tabela 39. Klase pogodnosti irigabilnih klasa za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Irigabilne klase (IK)	I klasa pogodnosti za navodnjavanje	5	Miljković (2005); Srđević i sar. (2010); Srdjevic i sar. (2010); Belić i sar. (2011)
	II klasa pogodnosti za navodnjavanje	4	
	IIIa klasa pogodnosti za navodnjavanje	3	
	IIIb klasa pogodnosti za navodnjavanje	2	
	IIIc klasa pogodnosti za navodnjavanje	1	



Slika 19. Karta pogodnosti zemljišta za navodnjavanje prema irigabilnim klasama



Slika 20. Karta irigabilnih klasa reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

4. Geomorfologija

Vojvodina se u reljefnom pogledu deli na sledeće geomorfološke jedinice (Slika 21) (Vodoprivredna osnova Vojvodine - VOV, 1985; Mijatović i sar., 1995):

- aluvijalne ravni,
- aluvijalne terase,
- lesne terase,
- lesne zaravni,
- peščare i
- visoki teren.

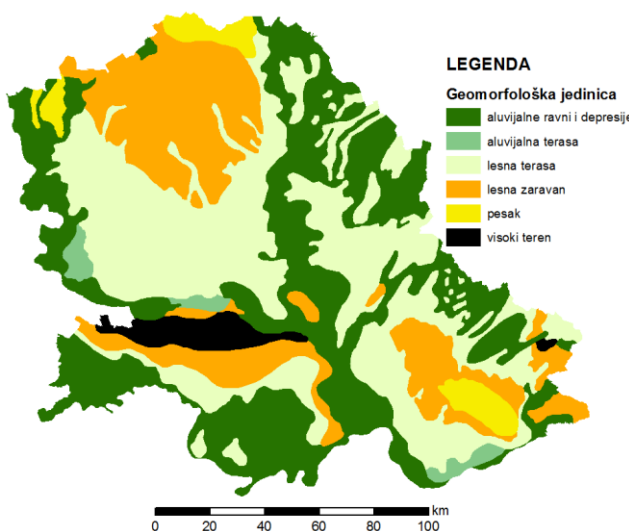
Aluvijalne terase i ravni su hipsometrijski najniži delovi terena u Vojvodini, sa prosečnim nadmorskim visinama ispod +85 m. Aluvijalne ravni Dunava, Tise, Save, Tamiša, Begeja i drugih manjih vodotoka čine oko 30% područja Vojvodine a aluvijalne terase se prostiru na oko 2% područja Vojvodine. **Lesne terase** Bačke, Banata i Srema zauzimaju oko 37% teritorije Vojvodine. Debljina lesa je 2–6 m. **Lesne zaravni** Bačke, Banata i Srema zauzimaju oko 25% površine teritorije Vojvodine. **Peščare** – Subotičko-Horgoška i Deliblatska peščara zauzimaju oko 3% teritorije Vojvodine. **Visoki teren** zauzima površinu od oko 4% teritorije Vojvodine. U prostranoj ravničarskoj oblasti Vojvodine izdvajaju se dve planine, Fruška gora i Vršacke planine.

Reklasifikacija sloja geomorfologija

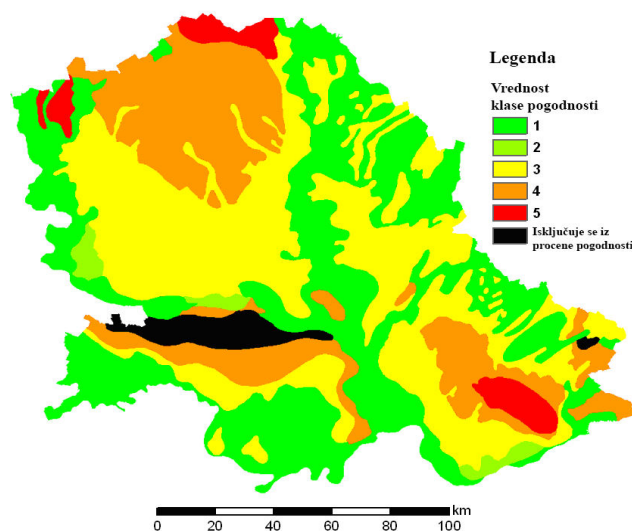
U pogledu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje najmanje vrednosti su dodeljene hipsometrijski najnižim delovima terena (aluvijalne terase i ravni) jer su to najugroženija područja na pojavu suviška vode. Reklasifikacija geomorfoloških jedinica prema pogodnosti za navodnjavanje je data u Tabeli 40 i prikazana na Slici 22.

Tabela 40. Klase pogodnosti geomorfoloških jedinica za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Geomorfologija (GM)	peščare	5	
	lesne zaravni	4	Purnell (1979);
	lesne terase	3	Miladinović (1996);
	aluvijalne terase	2	Milivojević (1996)
	aluvijalne ravni	1	
	visoki teren	isključuje se iz procene pogodnosti	



Slika 21. Geomorfološke jedinice na području Vojvodine



Slika 22. Karta geomorfoloških jedinica reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

5. Akumulirana voda

Osnovni oblici vode u zemljištu su: hemijski vezana voda, higroskopna, opnena, kapilarna, gravitaciona i voda u obliku vodene pare. Vodne konstante pokazuju sadržaj određenih kategorija vode u zemljištu i njene kvantitativne karakteristike u određenim uslovima uspostavljene ravnoteže (Bošnjak, 1999). Za računanje akumulirane vode u zemljištu koriste se dve vodne konstante: poljski vodni kapacitet i vlažnost venjenja.

Poljski vodni kapacitet (PVK) je najveća količina vode koju jedno zemljište može da sadrži u sebi, posle očeđivanja gravitacione slobodne vode, pod uslovom da je nivo podzemne vode dubok i da nema kapilarnog vlaženja. Služi za obračun norme zalivanja, odnosno količine vode koju treba dati jednim zalivanjem da bi se predzalivna vlažnost zemljišta u sloju aktivne rizosfere podigla na nivo PVK. Kod PVK voda se drži snagom od oko 0,3 – 0,5 bara. **Vlažnost venjenja** je vodna konstanta koja odvaja pristupačnu vodu od one koja je vrlo teško pristupačna biljkama. Kod vlažnosti venjenja voda se drži snagom od oko 15 bara.

Akumulirana voda je pristupačna voda koju biljka može da usvaja i ona je sa agronomskog stanovišta najvažnija. Pristupačna voda predstavlja razliku u sadržaju vode pri stanju PVK i vlažnosti venjenja, a akumulirana voda predstavlja proizvod pristupačne vode i dubine soluma. Sadržaj pristupačne vode i akumulirane pre svega zavisi od mehaničkog sastava i tipa zemljišta (Molnar i Milošev, 1995). Kod peskuša vrednosti PVK i vlažnosti venjenja su niske a usled toga i sadržaj pristupačne vode. Kod glinuša obe vrednosti su veoma visoke, a sadržaj pristupačne vode je tek nešto veći nego kod peskuša. Najveći sadržaj pristupačne vode je kod ilovače, što je u vezi sa sadržajem kapilarnih pora.

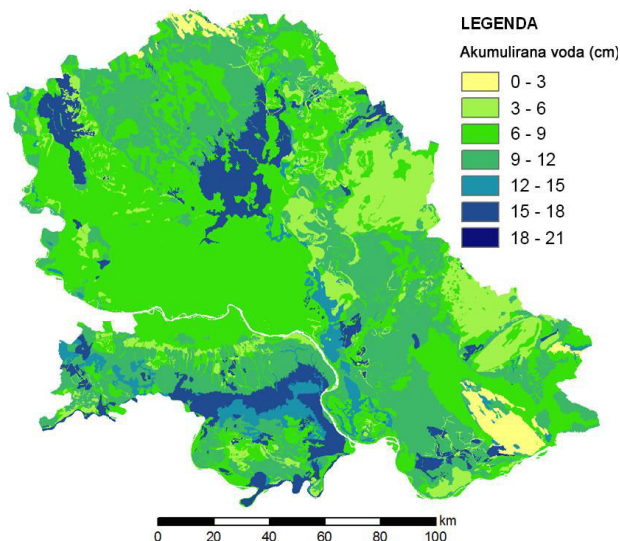
Vrednosti vodnih konstanti PVK i tačke venjenja su određene na osnovu podataka iz literature (Živković i sar., 1972) i na osnovu formula pedotransfera (Saxton i sar., 1986). Vrednosti dubine soluma, dubine zemljišta do matične stene – C horizonta, su odredili Živković i sar. (1972), a kreću se u opsegu od 10 cm do 150 cm. Na Slici 23 prikazane su količine akumulirane vode po tipovima zemljišta na teritoriji Vojvodine.

Reklasifikacija sloja akumulirane vode

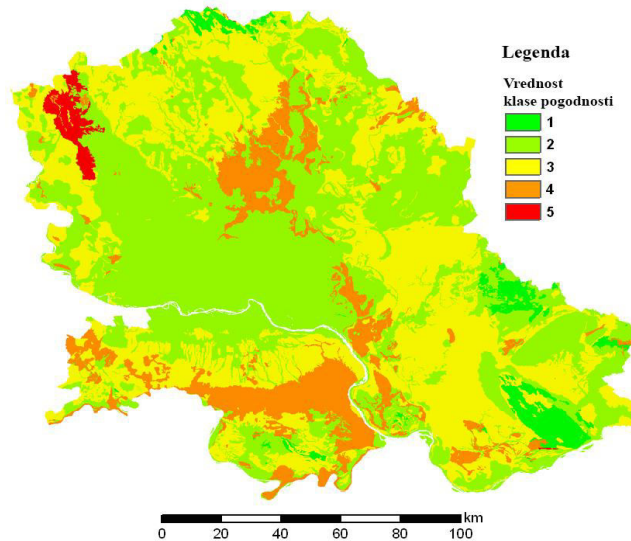
Reklasifikacija ovog sloja je izvršena na osnovu količine akumulirane vode u zemljištu. Najveću vrednost 5 su dobila zemljišta koja mogu da akumuliraju najveću količinu vode. Klase pogodnosti određene na osnovu količine akumulirane vode i vrednosti koje su im dodeljene su date u Tabeli 41 i na Slici 24.

Tabela 41. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu količine akumulirane vode u zemljištu

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Akumulirana voda (AV)	160-200mm	5	Bezdan i sar. (2012); Srdjevic i sar. (2013)
	120-160 mm	4	
	80-120 mm	3	
	40-80 mm	2	
	< 40 mm	1	



Slika 23. Količina akumulirane vode (cm) po tipovima zemljišta



Slika 24. Karta akumulirane vode reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

6. Vodni bilans

Kod bilansiranja vode u zemljištu uglavnom se koristi najjednostavniji oblik jednačine vodnog bilansa u kojoj su prihodna komponenta padavina a rashodna evapotranspiracija (Rajić i Josimov-Dunđerski, 2009). Elementi koji ulaze u obračun vodnog bilansa po ovoj metodi su:

- ETP – potencijalna evapotranspiracija (mm),
- P – suma mesečnih padavina (mm),
- Δ – pozitivne ili negativne razlike između P i ETP, predstavljaju manjak (M) ili višak (V) pošto se utroše, odnosno popune rezerve pristupačne vode,
- R – rezerve vode u zemljištu i
- ETR – stvarna evapotranspiracija.

Obračun bilansa se vrši za hidrološku godinu, koja počinje 1. X a završava se 30. IX. Obračun počinje od meseca u kome više nema rezerve vode u zemljištu. Polazna pretpostavka prilikom obračuna je da su tada rezerve pristupačne vode u zemljištu 0 mm. Rezerve vode u zemljištu (R) se određuju za konkretne uslove i zavise od vodno fizičkih svojstava zemljišta. Obično se uzimaju za sloj od 1 m dubine. To znači da za određeno zemljište treba odrediti kolike su maksimalne rezerve vode. Kada se popune rezerve, a padavine su veće od potreba za vodom javlja se višak vode i obrnuto kada su padavine manje od potreba dolazi do potrošnje rezervi vode iz zemljišta i Δ dobija negativan predznak. Stvarna evapotranspiracija je jednaka potencijalnoj sve dok se ne utroše rezerve vode iz zemljišta. U primeru obračuna vodnog bilansa datom u Tabeli 42 to je do maja meseca. Od juna do oktobra troši se onoliko vode koliko ima na

raspolaganju. Tada je stvarna evapotranspiracija manja od potencijalne i javlja se manjak vode. Kada se računa vodni bilans za više godina u nizu onda se pozicija bilansa iz prethodne prebacuje u narednu godinu.

Tabela 42. Obračun vodnog bilansa za hidrološku godinu 2007/08 za meteorološki stanicu Rimski Šančevi (Bezdan, 2014)

mesec	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	Σ
P	101	120	33	25	8	43	22	46	116	42	14	94	663
ETP	36	8	0	3	10	26	58	107	138	138	131	70	725
Δ	65	112	33	23	-3	17	-36	-60	-22	-97	-117	24	-
R	65	100	100	100	97	100	64	4	0	0	0	24	-
ETR	36	8	0	3	10	26	58	107	120	42	14	70	493
M	0	0	0	0	0	0	0	0	18	97	117	0	232
V	0	77	33	23	0	14	0	0	0	0	0	0	146

Za potrebe disertacije vodni bilans je računat za svaku meteorološku stanicu u Vojvodini (Bečej, Kikinda, Palić, Rimski Šančevi, Sremska Mitrovica, Sombor, Vršac, Zrenjanin i Beograd) u višegodišnjem periodu od 1971. do 2011. godine. Kao pokazatelj potrebe za navodnjavanjem izračunat je prosečni godišnji vodni deficit (ili manjak vode) u zemljištu (U Tabeli 42 označen kao M) za svaku meteorološku stanicu u Vojvodini i njegove vrednosti su date u Tabeli 43.

Tabela 43. Prosečni godišnji vodni deficit u zemljištu u Vojvodini, period 1971. - 2011.

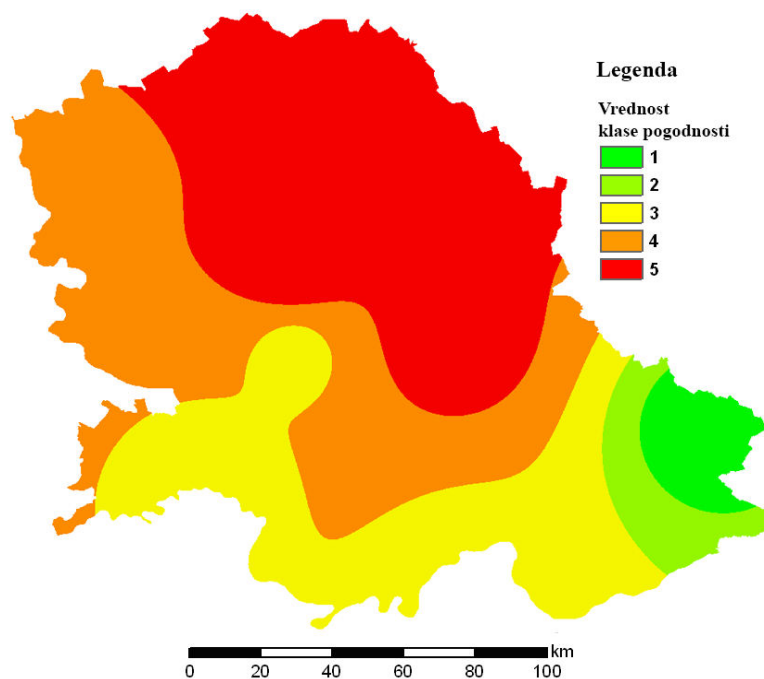
Meteorološka stanica	Vodni deficit (mm)
Bečej	297
Beograd	246
Kikinda	296
Palić	287
Novi Sad	248
S. Mitrovica	254
Sombor	264
Vršac	191
Zrenjanin	282

Reklasifikacija sloja vodni bilans

Reklasifikacija ovog sloja je izvršena na osnovu vodnog deficita u zemljištu. Najveću vrednost 5 su dobila zemljišta koja imaju najveći vodni deficit (275 - 297 mm) jer ona imaju najveću potrebu za navodnjavanjem. Klase pogodnosti određene na osnovu vodnog deficita u zemljištu i vrednosti koje su im dodeljene su date u Tabeli 44 i na Slici 25.

Tabela 44. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu vodnog bilansa u zemljištu

Naziv sloja	Klase pogodnosti (vodni deficit)	Vrednost	Reference
Vodni bilans (VB)	275 - 297 mm	5	
	254 - 275 mm	4	
	233 - 254 mm	3	Rajić (2007);
	212 - 233 mm	2	Tadić (2012)
	191 - 212 mm	1	



Slika 25. Karta vodnog deficita u zemljištu reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

7. Indeks suše - Standardizovani indeks padavina (SPI)

Za potrebe definisanja i osmatranja suše McKee i sar. (1993) su razvili Standardizovani indeks padavina (SPI) za čiji proračun su potrebni samo podaci o količini padavina. SPI je razvijen za potrebe definisanja i osmatranja suša ali se on može koristiti i za potrebe analiza vlažnih perioda (Seiler i sar., 2002; Guerreiro i sar., 2007). Računanje SPI za određeni vremenski period na bilo kojoj lokaciji zahteva najmanje 30-to godišnji niz mesečnih podataka o količini padavina. Osnovna karakteristika ovog indeksa je da može biti izračunat za različite vremenske intervale (1, 3, 6, 9, 12, 24 i 48 meseci) (Guttman, 1999). To omogućava da SPI prati kratkoročne rezerve vode (bitno za poljoprivredu) i dugoročne rezerve vode koje su povezane sa protocima vode u

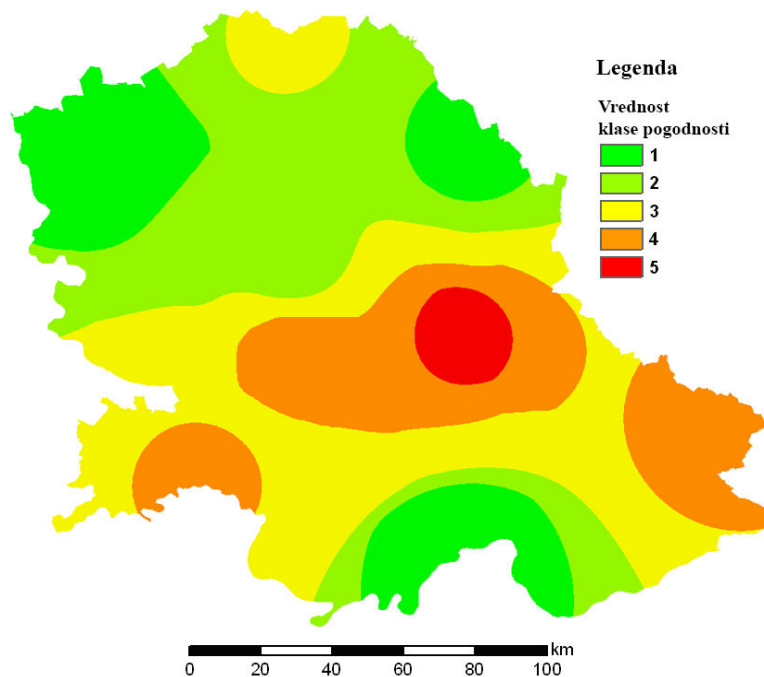
rekama, nivoima vode u jezerima i bunarima podzemnih voda (bitno za hidrologiju) (Bezdan, 2014).

Odgovarajuća vremenska skala treba da bude izabrana u skladu sa uobičajenim vremenskim trajanjem anomalije padavina koja utiče na društvo i ekonomiju. Ta skala se značajno razlikuje od regiona do regiona. Bezdan (2014) je na osnovu korelacione analize pokazao da postoji značajno slaganje između vrednosti indeksa SPI3 za letnje mesece jun, jul i avgust sa prosečnim prinosima kukuruza, koja je najzastupljenija kultura u Vojvodini, a do sličnih zaključaka za područje Mađarske su došli Szalai i sar. (2000) kao i Labeledzki (2007) za područje centralne Poljske.

Za potrebe disertacije su uzeti rezultati dobijeni u Bezdan i sar. (2012) gde je analizirana opasnost od suše primenom stohastičke metode homogenih Markovljevih lanaca na vremenske serije SPI3 i izračunata verovatnoća pojave pojedinih stanja suše, povratni periodi stanja suše, očekivano vreme trajanja određenog stanja suše i trajanje prvog prelaza iz posmatranog stanja suše u stanje normalne vlažnosti. Na osnovu ovih podataka dobijena je karta ranjivosti na sušu na području Vojvodine a u ovome radu je izvršena njena reklasifikacija u pogledu pogodnosti za navodnjavanje (Slika 23). Najveću vrednost 5 su dobila zemljišta koja imaju najveću ranjivost na sušu jer je navodnjavanje na tim lokalitetima najpotrebnije. Klase pogodnosti određene na osnovu ranjivosti na sušu i vrednosti koje su im dodeljene su date u Tabeli 45 i na Slici 26.

Tabela 45. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu ranjivosti na sušu

Naziv sloja	Klase pogodnosti (ranjivost na sušu)	Vrednost	Reference
Indeks suše (IS)	veoma visoka	5	
	visoka	4	Rajić (2007);
	umerena	3	Bezdan i sar. (2012);
	niska do umerena	2	Tadić (2012)
	niska	1	



Slika 26. Karta ranjivosti na sušu reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

8. Proizvodne osobine zemljišta

Prema Živkoviću i sar. (1972) produktivnost zemljišta je sposobnost zemljišta da daje određenu visinu prinosa. Praktično, ocena produktivnosti zemljišta, pod uslovom da je zemljište snabdeveno hranljivim sastojcima, nije zaslanjeno, alkalizovano ili zabareno, se može izvršiti na osnovu: tipa, podtipa (mehanički sastav) i dubine zemljišta do stene. Na osnovu ovih kriterijuma Živkoviću i sar. (1972) su izvršili klasifikaciju zemljišta prema proizvodnim osobinama i podelili ih u četiri bonitetne klase (Slika 27):

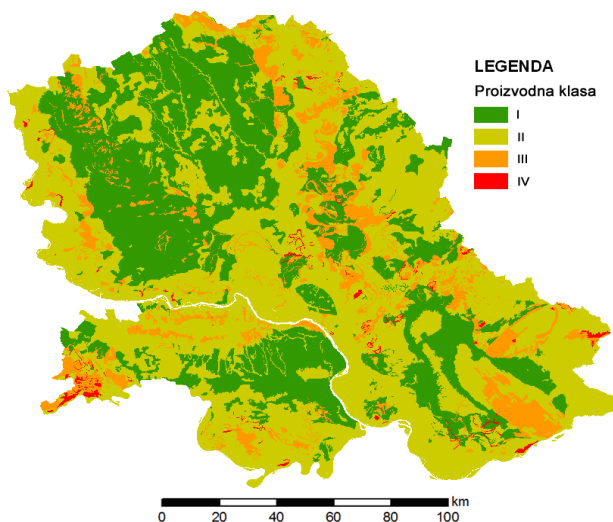
- **I bonitetna klasa** – zemljišta sa najstabilnijom i najvišom proizvodnom vrednošću,
- **II bonitetna klasa** – zemljišta nešto niže proizvodne vrednosti, ali se na njima uz primenu odgovarajuće agrotehnike, upotrebu većih količina đubriva i uz potrebnu vlažnost mogu postizati visoki prinosi,
- **III bonitetna klasa** – zemljišta slabe proizvodne vrednosti, najviše se koriste za voćnjake, vinograde, pašnjake i šume, i
- **IV bonitetna klasa** – zemljišta vrlo niske plodnosti gde preduzimanje meliorativnih mera nema značaja za biljnu proizvodnju; koriste se za pašnjake ili šume.

Reklasifikacija sloja proizvodne osobine zemljišta

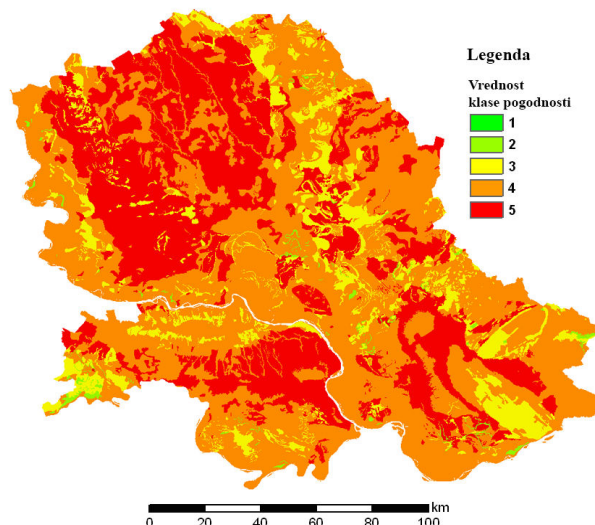
Najveću vrednost 5 su dobila zemljišta sa najvećom proizvodnom vrednošću. Vrednosti klase pogodnosti određenih na osnovu proizvodnih osobina zemljišta su date u Tabeli 46 a njihova prostorna zastupljenost na Slici 28.

Tabela 46. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu proizvodnih osobina zemljišta

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Proizvodne osobine zemljišta (PO)	I bonitetna klasa	5	Živković i sar. (1972);
	II bonitetna klasa	4	FAO (1985);
	III bonitetna klasa	3	Procedures (2004);
	IV bonitetna klasa	1	Srđević i sar. (2010); Srdjevic i sar. (2010);



Slika 27. Proizvodne osobine zemljišta Vojvodine



Slika 28. Karta proizvodnih osobina zemljišta reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

9. Način korišćenja zemljišta

Coordination of Information on the Environment (CORINE) je program kojim je Evropska Komisija (European Commission) razvila informacioni sistem o stanju životne sredine u Evropi (CORINE sistem), gde ključno mesto pripada CORINE land cover bazi podataka. Podaci su prikupljeni na osnovu satelitskih snimaka primenom standardizovane metodologije za detektovanje i interpretaciju promena u zemljišnom pokrivaču za razmeru kartiranja 1:100.000. Klasifikacija zemljišta je urađena prema hijerarhijskoj nomenklaturi sa 44 klase. U ovom radu korišćeni su podaci CORINE Land Cover 2006 (CLC2006) prostorne baze podataka o

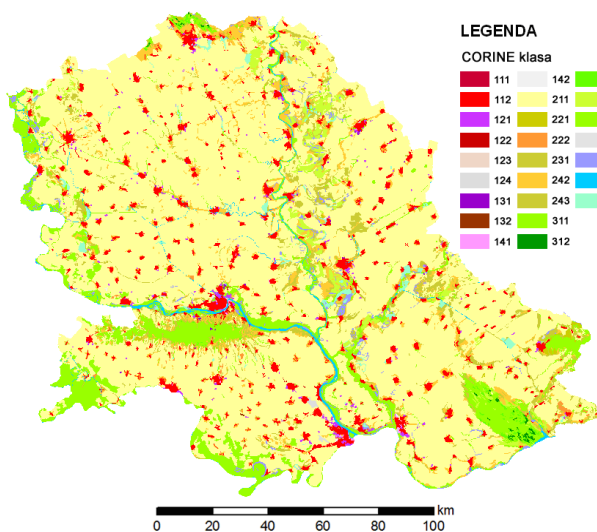
zemljišnom pokrivaču. Na teritoriji Vojvodine postoji 25 klasa zemljišnog pokrivača, prikazanih u Prilogu 1 i na Slici 29.

Reklasifikacija sloja način korišćenja zemljišta

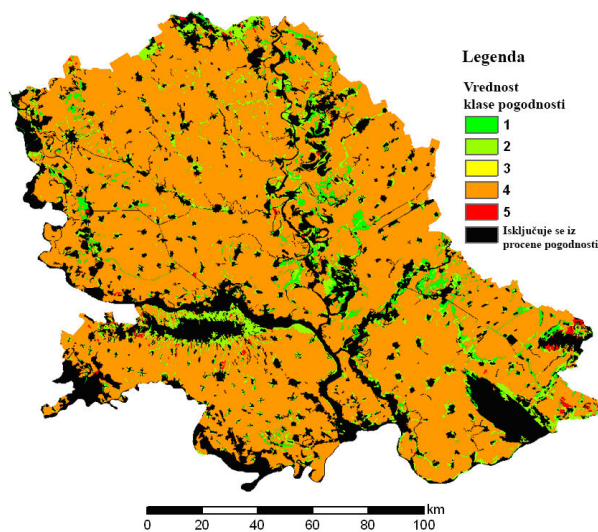
Reklasifikacija CLC2006 prostorne baze podataka je izvršena tako što je klasama "Vinogradi" i "Plantaže voćaka i zrnatog voća" dodeljena vrednost 5 koja označava najveći prioritet u navodnjavanju. "Nenavodnjavano obradivo zemljište" je dodeljena vrednost 4, "Kompleksu kultivisanih parcela" vrednost 2, a "Pašnjacima" i "Pretežno poljoprivrednom zemljištu s većim područjima prirodne vegetacije" je dodeljena vrednost 1. Ostale klase su isključene iz procene pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje, a tu spadaju urbane i veštačke površine, šumska područja i vodene površine (Tabela 47 i Slika 30).

Tabela 47. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu načina korišćenja zemljišta

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Način korišćenja zemljišta (NK)	Vinogradi, plantaže voćaka i zrnatog voća	5	Peters (1979); Anane i sar. (2012)
	Nenavodnjavano obradivo zemljište	4	
	Kompleks kultivisanih parcela	2	
	Pretežno poljoprivredno zemljište i pašnjaci	1	
	Urbane i veštačke površine, šumska područja i vodene površine	Isključuje se iz procene pogodnosti	



Slika 29. CORINE land cover klase zemljišnog pokrivača na teritoriji Vojvodine



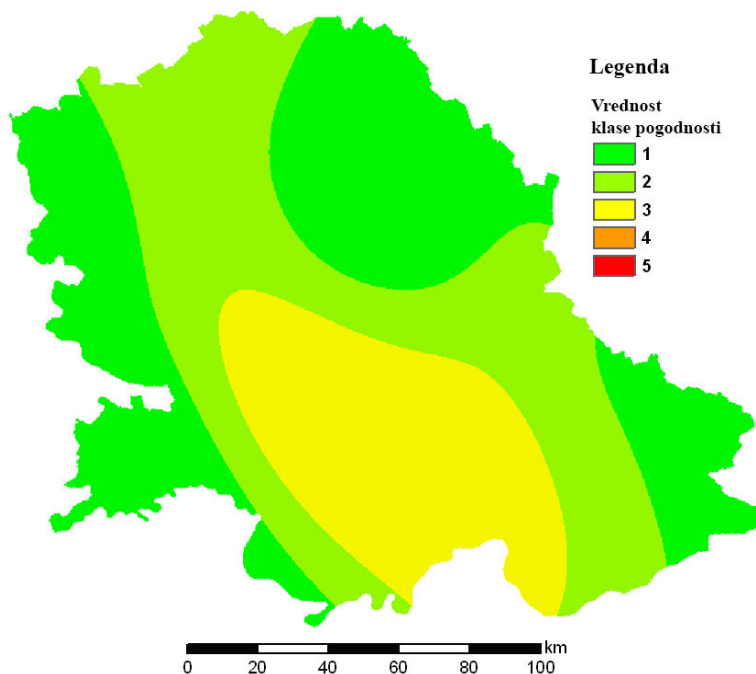
Slika 30. Karta načina korišćenja zemljišta reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

10. Blizina tržišta

Na osnovu popisa stanovništva iz 2011 gradovi su podeljeni po broju stanovnika u tri grupe (Tabela 48), klasifikovane od 1 do 3. Nakon klasifikacije izvršena je interpolacija i dobijena karta pogodnosti na osnovu blizine tržišta (Slika 31).

Tabela 48. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu blizine tržišta

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Blizina tržišta (BT)	≥ 300.000 (Beograd, Novi Sad)	3	Bergmann (1979); Rafiq (1979); FAO (1985); Ali 2010
	100.000 - 300.000 (Pančevo, Subotica, Zrenjanin)	2	
	50.000 - 100.000 (Sombor, Bečej, Bačka Palanka, Vrbas, Kikinda, Vršac, S. Mitrovica, S. Pazova, Ruma)	1	



Slika 31. Karta blizine tržišta reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

11. Razvijenost stočarstva

Vučič (1984) zaključuje da se ne mogu graditi sistemi za navodnjavanje tamo gde nema programa razvoja stočarstva. Zbog toga je smatrano da kao jedan od socio-ekonomskih podkriterijuma vezanih za određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje treba uzeti razvijenost stočarstva. Za potrebe definisanja razvijenosti stočarstva korišćeni su podaci o broju

goveda, svinja, ovaca, koza i živine po okruzima na teritoriji AP Vojvodine (Popis poljoprivrede, 2012), i ovi podaci su dati u Tabeli 49.

Za dalju analizu bilo je potrebno broj grla stoke svesti na istu jedinicu (tzv. "uslovno grlo stoke"), i za ovu svrhu su konsultovani profesori sa Departmana za Stočarstvo Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu. Prethodno pomenuti su objasnili da je "uslovno grlo stoke - UGS" teško 500 kg (u proseku jedno govedo) i da mu je potrebno 30 kg stočne hrane dnevno, što je količina hraniva koja dnevno može da prehrani 6-8 svinja, 7-10 ovaca, 6-9 koza ili 250 komada živine. Na osnovu ove definicije u poslednjoj koloni Tabele 49 je data formula za računanje ukupnog broja uslovnih grla stoke po okruzima.

Tabela 49. Ukupan broj grla stoke na teritoriji AP Vojvodine po okruzima
(Popis poljoprivrede, 2012)

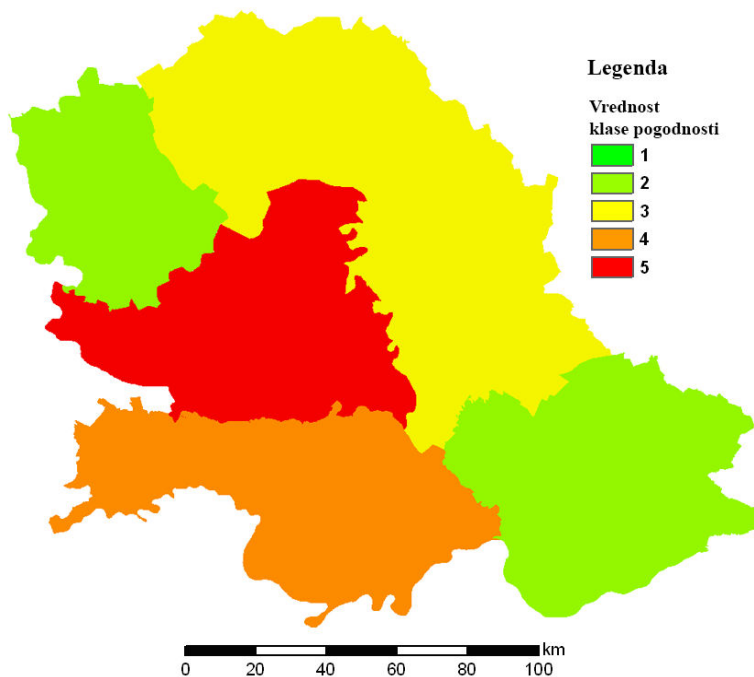
	goveda (G)	svinje (S)	ovce (O)	koze (K)	živina (Ž)	$\Sigma UGS = G + (S/7) + (O/9) + (K/8) + (Ž/250)$
Zapadna Bačka	29.832	156.413	24.938	10.321	701.317	59.043
Južna Bačka	47.573	332.488	52.620	12.023	2.984.658	114.359
Severna Bačka	34.218	197.349	21.241	4.286	1.163.944	69.962
Južni Banat	27.018	133.691	47.936	13.145	2.660.963	63.730
Srednji Banat	38.878	85.729	41.012	6.436	2.804.464	67.704
Severni Banat	38.129	163.095	40.884	4.259	399.819	68.103
Srem	36.606	327.340	41.535	10.573	1.218.392	94.179

Reklasifikacija sloja razvijenosti stočarstva

Reklasifikacija sloja razvijenost stočarstva je izvršena tako što je okrugu Južna Bačka dodeljena vrednost 5, jer ima najveći broj UGS a okrugu Srem vrednost 4. Okruzi Severna Bačka, Severni Banat i Srednji Banat su dobili vrednost 3, dok su Južni Banat i Zapadna Bačka dobili vrednost 1 (Tabela 50 i Slika 32).

Tabela 50. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu broja uslovnih grla stoke po okruzima

Naziv sloja	Klase pogodnosti (okruzi)	Vrednost	Reference
Razvijenost stočarstva (RS)	Južna Bačka	5	Vučić (1984);
	Srem	4	FAO (1985);
	Sever. Bačka, Sever. Banat, Srednji Banat	3	Miladinović (1996);
	Južni Banat, Zapadna Bačka	1	Belić i sar. (2011)



Slika 32. Karta razvijenosti stočarstva reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

12. Blizina vodozahvata

Srđević i sar. (2010) i Srdjevic i sar. (2010) su koristili blizinu vodozahvata kao kriterijum za određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje na teritoriji opštine Mali Idoš. Belić i sar. (2011) opisujući kriterijume za ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje ukazuju da se u okviru Strateških opredeljenja u domenu korišćenja vode za navodnjavanje (Vodoprivredna osnova Republike Srbije - VOS, 1995) navodi da "Prioritet pripada površinama bližim većim prirodnim vodotokovima, izgrađenoj osnovnoj kanalskoj mreži (DTD), akumulacijama..". Zbog toga je u okviru ovoga podkriterijuma analizirana hidrografija Vojvodine koju karakterišu prirodni vodotoci – velike i male reke, potoci i jezera; veštački vodotoci – Osnovna kanalska mreža hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav (OKM HS DTD), kao i akumulacije na Dunavu i Tisi i male akumulacije na Fruškoj gori i severu Bačke (Slika 33).

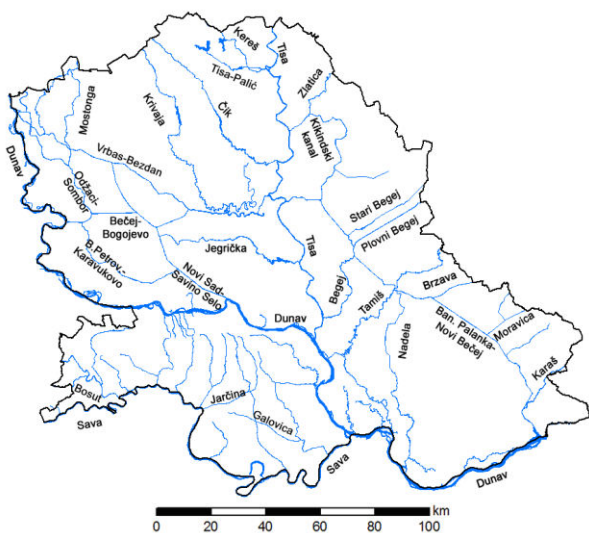
Kroz područje Vojvodine ili pored njega protiču Dunav, Tisa, Sava, Bosut, Čik, Krivaja Jegrička, Mostonga, Zlatica, Stari Begej, Begej, Tamiš, Karaš, Karašac, Brzava, Moravica, Rojga, Nera, i drugi manji vodotoci. Dunav i Tisa predstavljaju izvorišta za snabdevanje vodom sistema kanala DTD, a ukupna dužina magistralnih kanala iznosi 930 km, od čega je u Bačkoj 421 km i u Banatu 509 km. Hidrografiju površinskih voda dopunjuju jezera (Paličko, Ludoško, Belocrkvansko, Carska bara i Obedska bara), kao i akumulacije (Krivaja kod Bačke Topole, Provala kod Vajske, Borkovačka akumulacija kod Rume i druga).

Reklasifikacija sloja blizina vodozahvata

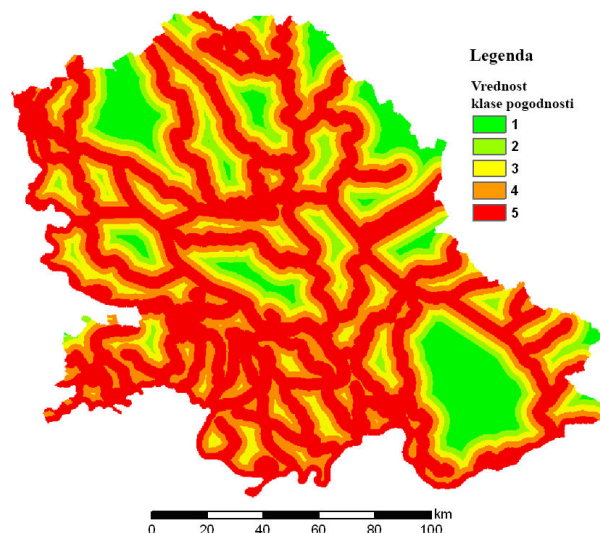
Reklasifikacija ovog sloja je izvršena na osnovu hidrografske karte Vojvodine (Slika 33), tako što su površine udaljene do 2 km od vodnih tela dobile vrednost 5, od 2 - 4 km vrednost 4, itd. (ostale klase pogodnosti i njima pripadajuće vrednosti su date u Tabeli 51). Na osnovu ove reklasifikacije dobijena je Slika 34.

Tabela 51. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu blizina vodozahvata

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Blizina Vodozahvata (BV)	0 - 2 km	5	VOS (1995);
	2 - 4 km	4	Srđević i sar. (2010);
	4 - 6 km	3	Srdjevic i sar. (2010);
	6 - 8 km	2	Belić i sar. (2011);
	> 8 km	1	Anane i sar. (2012); Tadić (2012)



Slika 33. Hidrografska karta Vojvodine (JVP "Vode Vojvodine")



Slika 34. Hidrografska karta Vojvodine reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

13. Sistemi za odvodnjavanje

Na području Vojvodine jedan od najvažnijih zadataka vodoprivrede je odvođenje suvišnih voda sa i iz zemljišta u cilju stvaranja povoljnog vodnog i vazdušnog režima u zemljištu za potrebe gajenja biljaka (Škorić, 2007). Prema podacima JVP "Vode Vojvodine" u Vojvodini postoji 303 sistema za odvodnjavanje i 159 crpnih stanica sa ukupnim instalisanim nominalnim kapacitetom od oko 437 m³/s. Ovi sistemi neposredno odvodnjavaju višak vode sa 1.630.648 ha a delimično sa 209.423 ha. Ukupna dužina kanala detaljne kanalske mreže iznosi 20.094 km. Gustina kanalske mreže na melioracionom, odnosno kanalisanošću kreće u vrlo širokim granicama, od 0 pa do oko 70 m/ha, u proseku 12,5 m/ha (Slika 35).

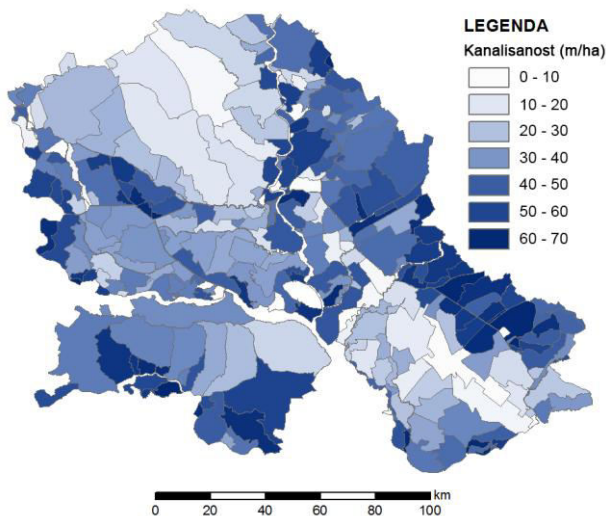
Potreba za navodnjavanjem na nekim delovima Vojvodine pokrenula je pitanje načina obezbeđenja vode na najjeftiniji način (Škorić, 2007). Pješčić (2006) kao moguće rešenje predlaže rekonstrukciju sistema za odvodnjavanje tako da se izvrši iskop postojećih kanala i rekonstrukcija propusta a da se pri tome u potpunosti zadrži funkcija odvodnjavanja. Škorić (2007) navodi da je višenamensko korišćenje sistema za odvodnjavanje rešenje koje će u znatnoj meri doprineti bržem razvoju melioracija, a time i poljoprivredne proizvodnje. Isti autor smatra da se korišćenjem već postojećih objekata uz relativno mala ulaganja u njihovu prepravku i rekonstrukciju dolazi do jeftinijeg načina navodnjavanja ili dovođenja vode.

Reklasifikacija sloja sistemi za odvodnjavanje

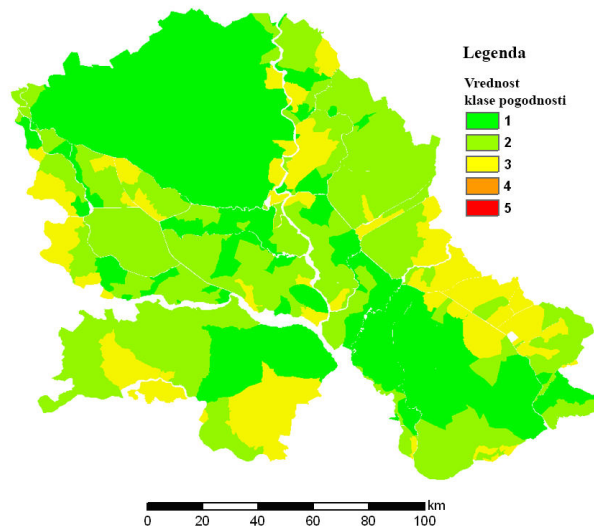
Reklasifikacija ovog sloja je izvršena tako što su površine koje su imale kanalisanošću od 48 - 72 m/ha dobile vrednost 3, od 24 - 48 m/ha vrednost 2 i površine sa kanalisanošću od 0 - 24 m/ha vrednost 1 (Tabela 52). Na osnovu ove reklasifikacije dobijena je Slika 36.

Tabela 52. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu kanalisanošću sistema za odvodnjavanje

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Sistemi za odvodnjavanje (SO)	48 - 72 m/ha	3	FAO (1985);
	24 - 48 m/ha	2	Pješčić (2006);
	0 - 24 m/ha	1	Škorić (2007)



Slika 35. Kanalisanost sistema za odvodnjavanje u Vojvodini



Slika 36. Kanalisanost sistema za odvodnjavanje reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

14. Komascija

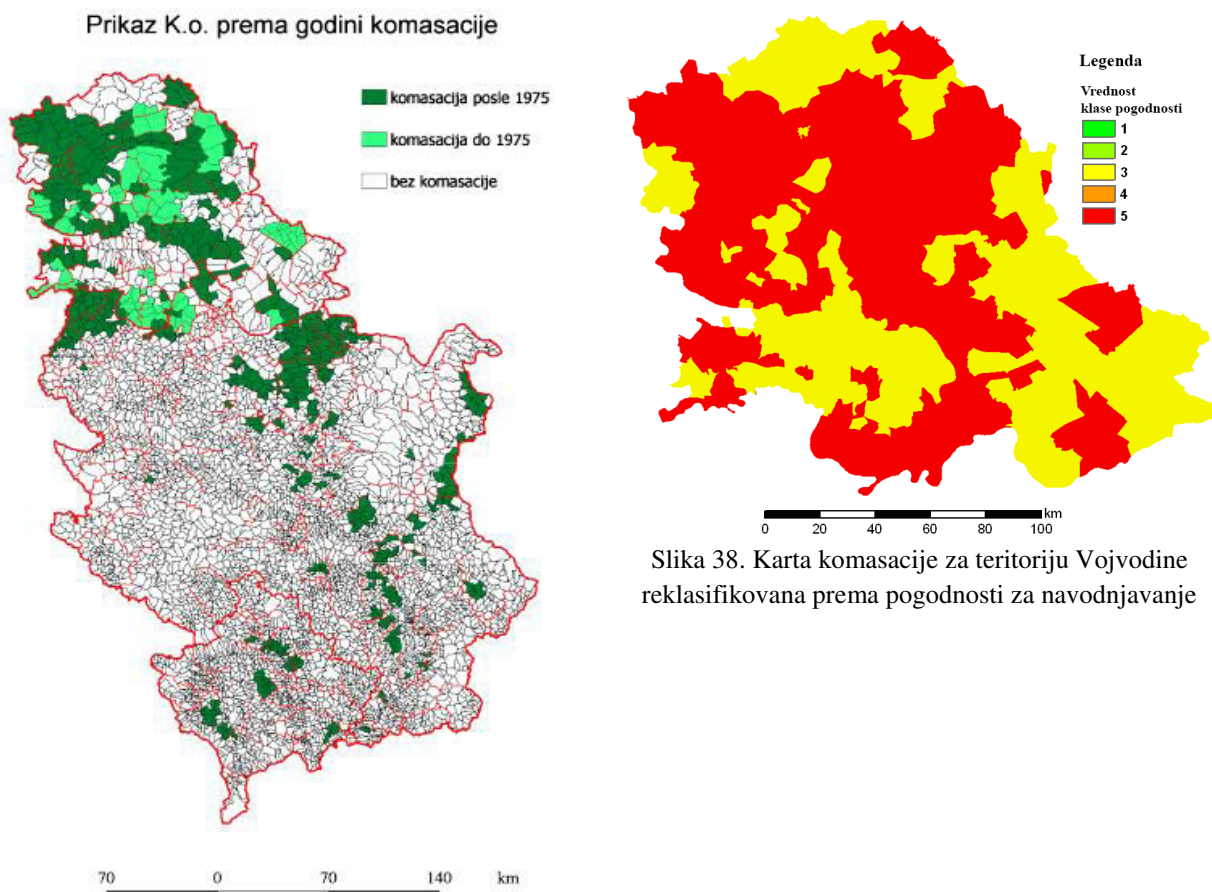
Projektovani objekti potrebni za sprovođenje meliorativnih mera (kanali, nasipi ili poljozaštitni pojasevi) često moraju presecati postojeće poljoprivredne parcele čime dolazi do pogoršanja uslova za poljoprivrednu proizvodnju. Pogoršanje se ogleda pre svega u gorim uslovima za primenu poljoprivredne mehanizacije zbog usitnjenih, nepravilnih parcela do kojih je otežan pristup usled iskopanih kanala ili drugih meliorativnih objekata na području. U postupku komasacije se usklađuju trase poljskih puteva, kanala, poljozaštitnih šumskih pojaseva i drugih objekata u ataru. Usklađene trase objekata u ataru omogućuju da se formiraju pravilne parcele grupisanog poseda sa direktnim pristupom sa poljskog puta (Benka, 2012). Zato je smatrano da prioritet izgradnji novih zalivnih sistema treba dati onim površinama gde je sprovedena komasacija (na Slici 37 su date katastarske opštine gde je komasacija sprovedena).

Reklasifikacija sloja komasacija

Reklasifikacija ovog sloja je izvršena tako što su površine gde je sprovedena komasacija dobile vrednost 5 a površine gde nije sprovedena su dobile vrednost 3 (Tabela 53 i Slika 38).

Tabela 53. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu sprovedene komasacije

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Komasacija (KO)	Komasacija je sprovedena	5	FAO (1985);
	Komasacija nije sprovedena	3	Miladinović (1996); Benka (2012)



Slika 37: Prikaz katastarskih opština u Srbiji gde je sprovedena komasacija (Damjanović i Benka, 2011)

Slika 38. Karta komasacije za teritoriju Vojvodine reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

15 - 16. Kvalitet površinske i podzemne vode za navodnjavanje

Na kvalitet vode, kao jedan od bitnih činilaca uspešnosti primene navodnjavanja, neophodno je obratiti pažnju kako bi se minimizirali mogući negativni efekti navodnjavanja (zagađenje površinskih i podzemnih voda, salinizacija, alkalizacija i drugi oblici degradacije i kontaminacije zemljišta). Belić i sar. (2007) navode da se ocena upotrebljivosti vode za navodnjavanje može doneti na osnovu rezultata hemijskih analiza uz primenu postojećih klasifikacija. Savić i Vranešević (2011) tvrde da su u našoj agronomskoj praksi najzastupljenije klasifikacije Američke laboratorije za zaslanjena zemljišta (US Salinity Laboratory Staff - USSL, 1954) i Nejgebauera, jer su jednostavne za primenu i zahtevaju relativno skroman obim potrebnih hemijskih analiza uzoraka vode. U ovom radu je korišćena USSL klasifikacija, koja se zasniva na ukupnoj mineralizaciji vode (iskazana preko elektroprovodljivosti) i sadržaju i međusobnom odnosu

koncentracije katjona i anjona, kao indikativnih pokazatelja opasnosti od zaslanjivanja i/ili alkalizacije zemljišta.

Elektroprovodljivost (električni konduktivitet - EC) je parametar kvaliteta vode koji ukazuje na koncentraciju rastvorenih soli u vodi i u direktnoj je vezi sa sumom katjona i anjona. Navodnjavanje sa vodom koja ima povišene vrednosti ovog parametra dovodi do nepovoljnih posledica na gajene biljke i navodnjavano zemljište (salinizacija). Takođe, kao jedan od ključnih parametara kvaliteta vode za navodnjavanje izdvaja se i natrijum, koji (u suvišku) utiče na procese degradacije strukture zemljišta i narušavanja njegovih vodno-vazdušnih karakteristika, prvenstveno infiltracije (Savić i Vranešević, 2011). U USSL klasifikaciji kao pokazatelj opasnosti od natrijuma (odnosno alkalizacije) koristi se vrednost SAR (Sodium Adsorption Ratio), koja dovodi u vezu koncentraciju ovog elementa u odnosu na sadržaj kalcijuma i magnezijuma (koncentracije jona se izražavaju u mmol/l):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} . \tag{43}$$

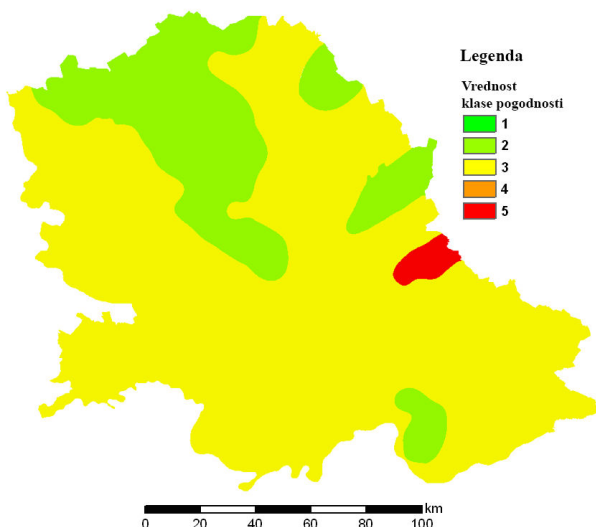
U zavisnosti od vrednosti EC i SAR voda se svrstava u klase C1 do C4 (na osnovu EC), odnosno S1 do S4 (na osnovu SAR), pri čemu veći indeks ukazuje na veće vrednosti EC i SAR, odnosno na veću opasnost od degradacije zemljišta.

Reklasifikacija slojeva kvalitet površinske vode i kvalitet podzemne vode za navodnjavanje

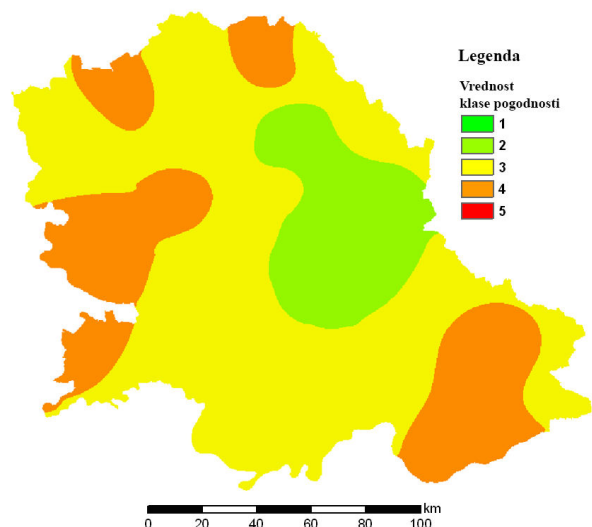
U Prilogu 2 za različite lokalitete i za period 2004-2009 su date prosečne klase voda za navodnjavanje prema USSL klasifikaciji. Reklasifikacija ovih slojeva (sloj kvalitet površinske i sloj kvalitet podzemne vode) je izvršena tako što su lokalitetima navedenim u Prilogu 2 dodeljene vrednosti iz Tabele 54, a zatim je izvršena "splain" interpolacija. Ovako dobijene karte se nalaze na Slikama 39 i 40.

Tabela 54. Klase pogodnosti za navodnjavanje i njihove pripadajuće vrednosti određene na osnovu kvaliteta površinske i podzemne vode za navodnjavanje

Naziv sloja	Klase pogodnosti	Vrednost	Reference
Kvalitet površinske i podzemne vode (PV) i (PZ)	C1S1	5	FAO (1985);
	C2S1	4	Belić i sar. (2011);
	C3S1	3	Savić i Vranešević (2011);
	C3S2	2	Tadić (2012)



Slika 39. Karta kvaliteta površinske vode reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

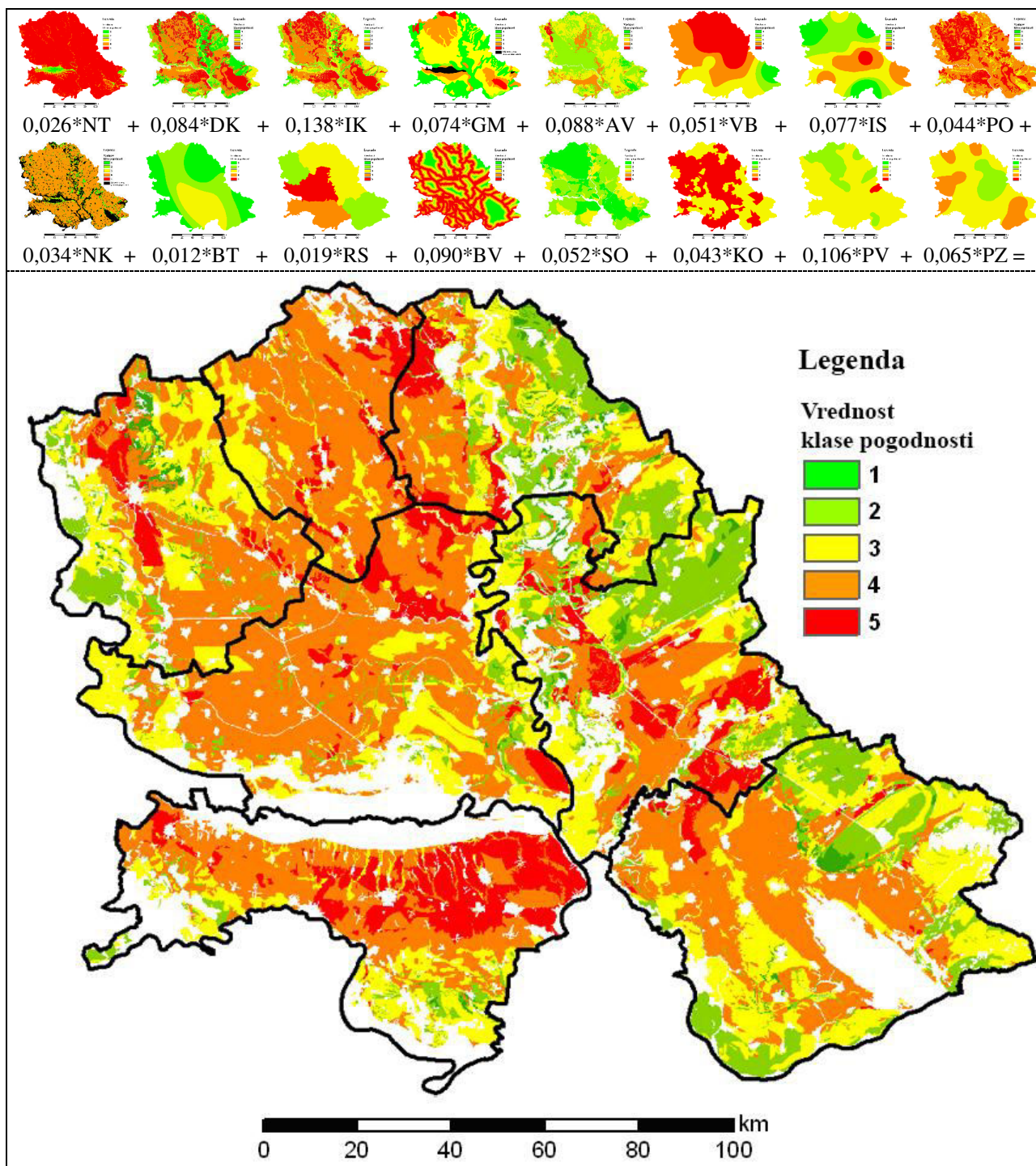


Slika 40. Karta kvaliteta podzemne vode reklasifikovana prema pogodnosti za navodnjavanje

Koraci 7 - 8. Dobijanje konačne mape pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje

Množenjem grupnih težina podkriterijuma (GIS slojeva) sa pripadajućim vrednostima rastera (klasama pogodnosti dobijenim u prethodnom koraku) dobijaju se otežane mape pogodnosti za svaki podkriterijum. Sumiranjem otežanih mapa pogodnosti u konačnu i njenom klasifikacijom u pet ekvidistantnih klasa dobija se konačna mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje na području AP Vojvodine (Slika 41).

Ovde je izabrano da klase budu ekvidistantne, ali se opseg klasa može menjati ako postoji potreba da se odredi manja zastupljenost površina sa najvećim prioritetom (pogodnošću) za navodnjavanje (klasa 5) ili obrnuto - ako želimo da odredimo veću zastupljenost. Na osnovu Slike 41 vidi se da su u severnoj i centralnoj Bačkoj, Sremu i srednjem Banatu najzastupljenije 4 i 5 klasa pogodnosti za navodnjavanje (one sa najvećim prioritetom). U Tabeli 55 date su površine dobijenih klasa pogodnosti za navodnjavanje po okruzima u Vojvodini. Pogodnost lokaliteta dobijena na ovaj način predstavlja preliminarnu ocenu i pre uvođenja navodnjavanja treba uzeti u obzir lokalne uslove i kriterijume koji nisu bili obuhvaćeni ovom analizom zbog nedostatka podataka (npr. zainteresovanost poljoprivrednih proizvođača da navodnjavaju, količina dostupne vode, itd.).



Slika 41. Konačna mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje na području AP Vojvodine

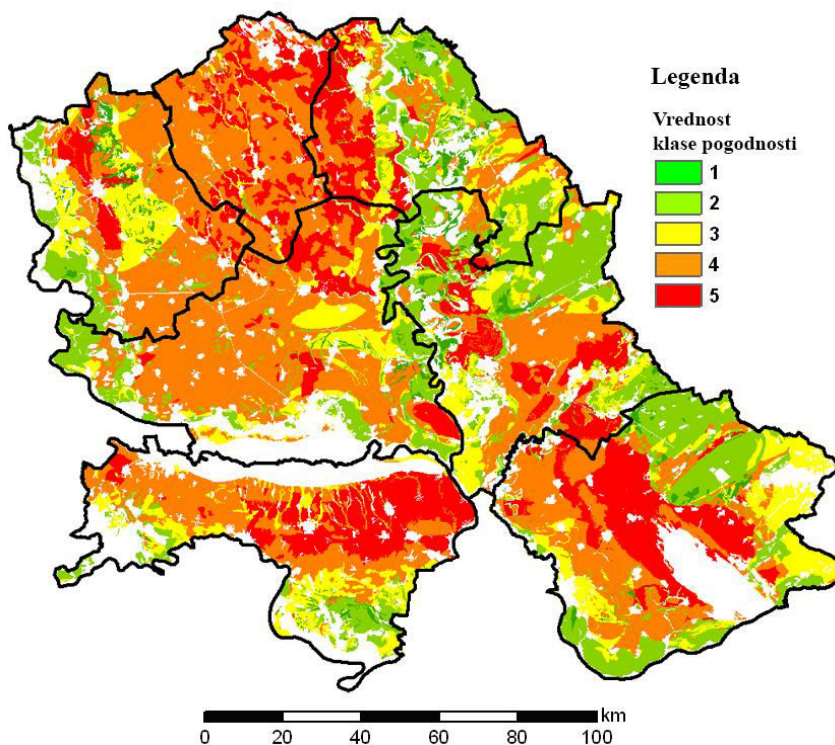
Tabela 55. Površine dobijenih klasa pogodnosti za navodnjavanje date po okruzima u Vojvodini

	Klasa pogodnosti	Zapadna Bačka	Južna Bačka	Severna Bačka	Severni Banat	Srednji Banat	Južni Banat	Srem
Površine po klasama pogodnosti (ha)	1	6.225	670	0	10.924	11.034	5.361	627
	2	33.761	34.150	2.621	56.418	84.049	71.789	44.204
	3	76.674	125.618	46.642	76.994	93.246	187.415	80.112
	4	104.308	191.803	114.257	68.344	93.648	139.723	117.066
	5	15.135	21.832	14.521	14.592	32.589	5.804	62.237
Suma dve najbolje klase (4 i 5)		119.443	213.635	128.778	82.936	126.237	145.527	179.303

4.2.4. Faza # 4: Analiza osetljivosti

Korak 9. Dobijanje mape pogodnosti za navodnjavanje zasnovane na podkriterijumima prirodnih resursa

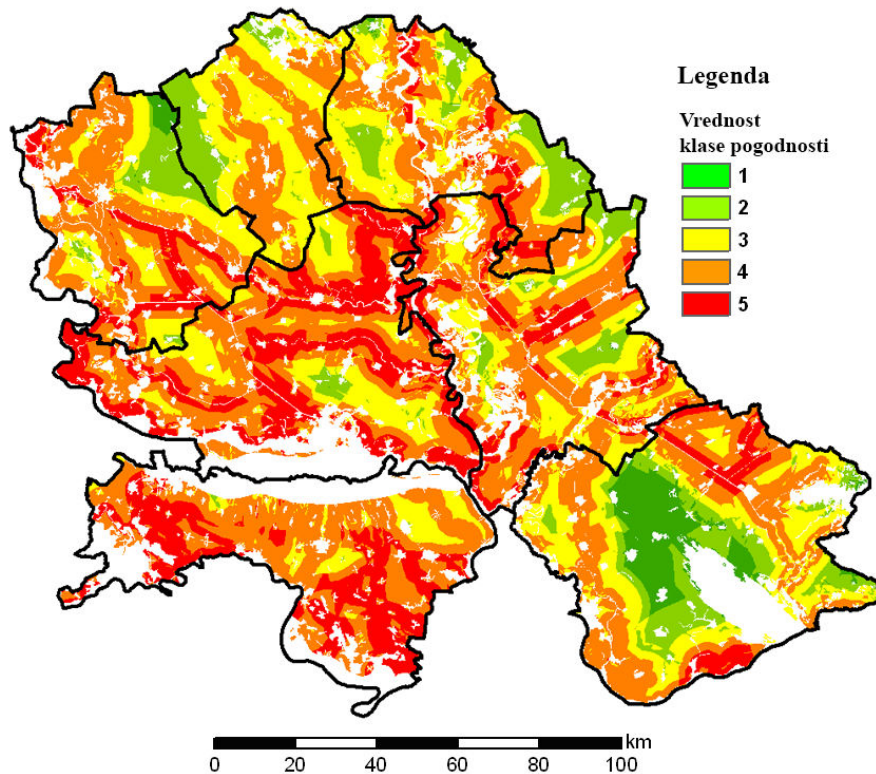
Iz analize se isključuju podkriterijumi (GIS slojevi) koji pripadaju Socio-ekonomskom i Tehničko-pravnom kriterijumu. Sumiranjem preostalih otežanih mapa pogodnosti u jednu i njenom klasifikacijom u pet ekvidistantnih klasa dobija se mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje zasnovana na podkriterijumima prirodnih resursa (nagib terena, drenažne klase, irigabilne klase, geomorfologija, akumulirana voda, vodni bilans, indeks suše, kvalitet površinske i podzemne vode) (Slika 42).



Slika 42. Mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje zasnovana na podkriterijumima prirodnih resursa

Korak 10. Dobijanje mape pogodnosti za navodnjavanje zasnovane na antropogenim podkriterijumima

Isključuju se podkriterijumi (GIS slojevi) koji pripadaju kriterijumima: Osobine zemljišta, Klima, i Zaštita životne sredine. Sumiranjem preostalih otežanih mapa pogodnosti u jednu i njenom klasifikacijom u pet ekvidistantnih klasa dobija se mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje zasnovana na antropogenim podkriterijumima (Slika 43). Ova mapa ujedno identifikuje lokalitete gde je potrebno uložiti najmanje sredstava u izgradnju novih sistema za navodnjavanje (zbog već postojeće vodne infrastrukture, blizine tržišta, razvijenosti stočarstva, izvršene komasacije, itd.).



Slika 43. Mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje zasnovana na antropogenim podkriterijumima

DEO 5. DISKUSIJA REZULTATA

Analitički Hijerarhijski Proces je jedan od najčešće korišćenih metoda za višekriterijumsko donošenje odluka prvenstveno zato što može uspešno da tretira probleme odlučivanja kada ne postoje kvantitativni podaci i kada se odluka donosi na osnovu kvalitativnih ili kombinacijom kvantitativnih i kvalitativnih podataka. Ova prednost AHP u odnosu na druge metode višekriterijumske analize je istovremeno i njegova najveća slabost jer je zasnovan na subjektivnom mišljenju donosioca odluke koje može biti nepouzdana i može dovesti do nekvalitetne odluke. Da bi se minimizirao rizik koji nosi subjektivnost poželjno je odluku donositi u grupnom kontekstu jer se na taj način smanjuje opasnost od pogrešne procene, problemu se pristupa iz različitih perspektiva koje su zasnovane na različitim znanjima, prioritetima i iskustvima članova grupe koja odlučuje, i na kraju, donesena odluka ima veći legitimitet da bude sprovedena u delo. Takođe, grupnim pristupom dobija se sinergetski efekat koji podrazumeva da grupa ima veće znanje o problemu odlučivanja nego pojedinac. Ovde se javljaju dva problema koja su po mišljenju autora disertacije aktuelna za istraživače koji se bave grupnim donošenjem odluka pomoću AHP.

Prvi predstavlja izbor načina objedinjavanja individualnih odluka u grupnu. Optimalno bi bilo kada bi postojao apsolutni konsenzus (potpuno i jednoglasno slaganje svih donosilaca odluka u grupi oko težina i rangova kriterijuma i alternativa) ali to često nije ostvarivo u realnim problemima odlučivanja zbog različitih afiniteta ili interesa donosilaca odluka. Zato se kod grupnih primena AHP, odluka najčešće dobija objedinjavanjem individualnih ocena (AIJ-aggregation of individual judgments) ili objedinjavanjem individualnih prioriteta (AIP-aggregation of individual priorities). Kod metoda AIJ, prvo se matematičkom sintezom individualnih vrednovanja odrede elementi grupne matrice. Zatim se iz grupne matrice odredi grupni vektor prioriteta, koristeći neki od poznatih metoda prioritizacije. Kod drugog načina objedinjavanja - AIP, prvo se izračunaju individualni vektori prioriteta koji se zatim objedinjuju u grupni vektor prioriteta koristeći metod aritmetičke sredine. Treći način dobijanja grupne odluke je putem konvergentnog modela konsenzusa (Consensus Convergence Model - CCM) (Regan i sar., 2006) u kome se pored grupne odluke, indirektno određuju i težine donosilaca odluke (Lehrer i Wagner, 1981). Četvrti način dobijanja grupne odluke je kombinovanjem AHP i nekog od tzv. "mekih" modela konsenzusa. Ovde je korišćen geometrijski kardinalni model konsenzusa (geometric cardinal consensus model - GCCM), predložen u Dong i sar. (2010b). Osnova ovog modela je da u svakoj iteraciji menja individualne ocene donosioca odluke sa najvećim odstupanjem od grupne odluke u pravcu poboljšanja (povećanja) grupne konzistentnosti.

U radu je predložen nov način objedinjavanja individualnih odluka u grupnu zasnovan na minimizaciji odstupanja grupne od individualnih odluka. Osnovna ideja je da je neophodno težiti najširem konsenzusu i time povećati šanse za primenu grupne odluke. Za merenje stepena konsenzusa predloženo je grupno euklidsko rastojanje (*GED*) koje predstavlja sumu rastojanja između svih ocena donosilaca odluka (za dati nivo AHP hijerarhije) i pripadajućih količnika

težina poređenih elemenata iz grupnog vektora prioriteta. Za dobijanje grupnog vektora prioriteta je predložen algoritam simuliranog kaljenja (SA) čija ciljna funkcija minimizira *GED*, a predloženi pristup je nazvan objedinjavanje algoritmom simuliranog kaljenja (simulated annealing aggregation procedure - SAAP), ili skraćeno metod SAAP. Ideja se zasniva na tome da nije potrebno izračunati individualne vektore prioriteta kao ni grupnu matricu da bi se dobio grupni vektor prioriteta, već da treba težiti iterativnom približavanju grupnog vektora prioriteta individualnim ocenama donosilaca odluka koristeći algoritam SA. Ovaj pristup je novina, jer su se svi raniji pokušaji smanjivanja rastojanja između grupnog vektora prioriteta i individualnih ocena DO zasnivali na iterativnom menjanju ocena DO koji je najviše odstupao od grupnog vektora prioriteta, što je po mišljenju autora veoma diskutabilno (jer DO često nisu voljni da koriguju svoje ocene).

GED je izabran za ciljnu funkciju jer predstavlja meru koja ne zavisi od metoda prioritizacije a ujedno predstavlja i indeks konsenzusa. *GED*-u, za čije računanje se koriste grupne težine (kardinalna informacija) je data prednost u odnosu na indekse konzistentnosti zasnovane na rangovima (ordinalna informacija) jer je svrha AHP da izračuna težine alternativa ili kriterijuma/podkriterijuma (npr. GIS-AHP aplikacije, alokacija novca, vode, zemljišta na alternative, itd.). Postoje i druge kardinalne mere koje se mogu koristiti za ovu svrhu (npr. kardinalni model konsenzusa (*GCCI*)). Međutim, mnogi autori (npr., Takeda i sar., 1987; Golany i Kress, 1993; Mikhailov i Singh, 1999; Srdjevic, 2005; Dong i sar., 2008; Srdjevic i Srdjevic, 2011) su koristili euklidsko rastojanje kao najznačajniji kriterijum u ocenjivanju različitih metoda prioritizacije i skala relativnog značaja.

Za testiranje ispravnosti metoda SAAP, korišćena su tri primera. Primeri su izabrani sa ciljem da obuhvate različite situacije koje se mogu javiti prilikom grupnog odlučivanja pomoću metoda AHP. Testirani su slučajevi kada su svi donosioci odluka bili konzistentni i kada nisu. Takođe, u jednom primeru je većina donosilaca odluka (četiri od pet) identično rangirala alternative (grupa je bila homogena i imala je slične preference) a u druga dva ne. Rezultati predloženog metoda SAAP su poređeni sa rezultatima najčešće korišćenih kombinacija metoda grupnog objedinjavanja (AIJ i AIP), konsenzus modela (CCM i GCCM) i metoda prioritizacije (EV, LLS i AN) koje su nazvane šeme objedinjavanja. Takođe, postojao je rizik da će rangovi dobijeni iz ovog grupnog vektora prioriteta znatno odstupati od individualnih rangova i u tom pogledu biti lošiji od do sada korišćenih metoda za dobijanje grupne odluke. Radi potpunije ocene metoda SAAP, pored kriterijuma *GED*, uzeti su dodatni kriterijumi: grupno narušavanje rangova (group minimum violation - *GMV*) i ordinalni indeks konsenzusa (concensus measure - *CM*) predložen od strane Herrera-Viedma i sar. (2002). Uvođenjem dva dodatna kriterijuma koja tretiraju ordinalne informacije - rangove (*GMV* i *CM*) testirani su rezultati dobijeni metodom SAAP.

Dobijeni rezultati su pokazali da je predloženi metod SAAP konkurentan sa ostalim šemama objedinjavanja. Tačnije, po kriterijumu *GED* predloženi metod je bio najbolji, a po drugim kriterijumima (*GMV* i *CM*) bio je jednak sa ostalim šemama objedinjavanja. Prednost metoda SAAP u odnosu na testirane šeme objedinjavanja je u tome što je postigao najveći stepen konsenzusa među donosiocima odluka bez menjanja njihovih ocena. Takođe, grupni rangovi dobijeni metodom SAAP, neznatno se razlikuju od grupnih rangova dobijenih ostalim šemama objedinjavanja, što ide u prilog upotrebi predloženog metoda. Nedostatak metoda SAAP je to što nije testiran za slučajeve kada hijerarhija ima više nivoa i kada donosioci odluka nemaju jednake težine, što će biti predmet daljih istraživanja. Takođe, treba napomenuti da su pored algoritma simuliranog kaljenja za minimizaciju *GED* korišćeni i drugi stohastički algoritmi koje softver *Mathematica 6* nudi (Differential Evolution i Random Search) i da su dobijeni identični rezultati. Ovo navodi na zaključak da nije potrebno isključivo koristiti algoritam simuliranog kaljenja, već da se i druge optimizacione tehnike mogu koristiti za minimizaciju grupnog euklidskog rastojanja.

Nakon potvrde ispravnosti metoda SAAP, isti je primenjen na realnom problemu odlučivanja u Pokrajinskom Fondu za razvoj poljoprivrede Vojvodine. Odlučivalo se o raspodeli sredstava Fonda na devet kreditnih linija a učestvovala su tri donosioca odluka delegirana iz Fonda koja institucionalno imaju legitimitet da vrše raspodelu sredstava. Grupi koja je odlučivala dodatno je priključen i Profesor Univerziteta u Novom Sadu koji po statutu Fonda nema pravo odlučivanja, ali je smatrano da treba uvažiti i njegovo mišljenje zbog dugogodišnjeg bavljenja ekonomijom poljoprivrede na području Vojvodine. Cilj ovog dela doktorske disertacije nije bio da se nametne predloženi pristup raspodeli sredstava na kreditne linije u Pokrajinskom Fondu za razvoj poljoprivrede kao jedini ispravan, već da ukaže na jednu od mogućnosti zasnovanu na savremenim iskustvima u svetu koja povećava transparentnost procesa odlučivanja i odgovornost donosilaca odluka.

Drugi problem koji je obrađen u disertaciji je određivanje težina donosilaca odluka (DO) koji odlučuju pomoću metoda AHP. Postoje slučajevi kada se smatra da članovi grupe koja donosi odluke ne treba da po svaku cenu imaju jednake težine (zbog različitog stepena stručnosti, nedovoljne skoncentrisanosti prilikom odlučivanja, nedovoljne motivisanosti da se uvaži mišljenje drugih članova grupe, itd.). Tada nastaje problem određivanja težina DO koji je naročito težak ako ne postoji unapred definisan autoritet koji je prihvaćen od svih DO da arbitrira i dodeljuje težine.

Postoji više pristupa određivanju težina DO i oni se mogu svrstati u tri grupe. U prvoj se težine DO određuju na osnovu međusobnog vrednovanja u grupi. U drugoj na osnovu odstupanja individualnih odluka od grupne odluke (grupne konzistentnosti), a u trećoj grupi isključivo na individualnoj konzistentnosti svakog DO. Ne može se apriori tvrditi koji je pristup definisanju

težina članova grupe metodološki ispravniji jer svaki polazi od različite pretpostavke i ima različit cilj (npr. prvi preferira mišljenje ostatka grupe, drugi nagrađuje konzistentnost individualne odluke sa grupnom a treći konzistentnost i doslednost u fazi vrednovanja). Ocena je da su sva tri pristupa dobra i da ih treba objediniti. Ovde je predložen višekriterijumski metod koji spomenute pristupe određivanju težina DO uzima kao kriterijume za određivanje težina DO, pri čemu uzima u obzir preference članova grupe o opisanim pristupima (kriterijumima). Dakle, performanse kriterijuma se određuju na osnovu međusobnog vrednovanja DO u parovima, grupne konzistentnosti (odstupanja individualne od grupne odluke) i individualne konzistentnosti. Tačnije, u osnovi je ideja da se težine članova grupe optimiziraju u višekriterijumskom smislu, gde se težine kriterijuma, takođe određuju u grupnom AHP kontekstu. Na ovaj način težine članova grupe se određuju transparentno i po konzistentnoj metodologiji koja minimizira rizik od nesavesnog, nekompetentnog ili neodgovornog odlučivanja.

Predloženi metod za određivanje težina DO je eksplicitno vezan za metod AHP i to je njegov glavni nedostatak, a prednosti su mu što se može koristiti za sve metode prioritizacije bez dodatnih modifikacija i što se može koristiti za sve veličine hijerarhije problema odlučivanja. Dva problema se mogu javiti kod predloženog višekriterijumskog metoda za određivanje težina donosilaca odluka. Prvi predstavlja nemogućnost donosilaca odluka da objektivno ocene kompetentnost drugih članove grupe (usled nedostatka informacija). Zbog toga je preporuka da postoji nezavisna osoba - moderator, koja će na početku procesa odlučivanja pročitati biografije i kompetencije članova grupe koja odlučuje. Drugi problem predstavlja mogućnost da donosilac odluka koji nije razumeo metod AHP ostvari veoma visoku nekonzistentnost, koja će dovesti do smanjena njegove težine u grupi. U tom slučaju, moderator treba da pruži dodatna objašnjenja nekonzistentnom donosiocu odluka i da mu omogući da ponovo vrednuje elemente hijerarhije odlučivanja.

Takođe, u disertaciji je predložena transparentna metodologija za grupnu ocenu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje, a predloženi višekriterijumski metod za određivanje težina DO je njen sastavni deo. Metodologija se sastoji iz četiri faze. U prvoj (AHP) fazi je identifikovano 16 podkriterijuma za određivanje pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje od interesa za područje AP Vojvodine. Po ugledu na navedena iskustva i preporuke, kao i na osnovu dostupnih podataka ovde je predloženo da se ocena pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje vrši na osnovu: nagiba terena, drenažnih klasa, irigabilnih klasa, geomorfologije, akumulirane vode, vodnog bilansa, indeksa suše, proizvodnih osobina zemljišta, načina korišćenja zemljišta, blizine tržišta, razvijenosti stočarstva, blizine vodozahvata, sistema za odvodnjavanje, komasacije, kvaliteta površinske i kvaliteta podzemne vode za navodnjavanje. Zbog zahteva metoda AHP, podkriterijumi su grupisani u pet kriterijuma (osobine zemljišta, klima, socio-ekonomski kriterijum, tehničko-pravni kriterijum i zaštita životne sredine) i na taj način je formirana hijerarhija problema odlučivanja. Izabrani donosioci odluka (troje akademskih radnika na

Univerzitetu u Novom Sadu i jedan stručnjak iz JVP "Vode Vojvodine") su vrednovali istu, takođe po metodu AHP, i na taj način su dobijene individualne težine podkriterijuma. Kao što je rečeno (poglavlje 2.5.), broj donosilaca odluka može biti veći i drugačije strukturiran, a bilo bi poželjno kada bi se ovo pitanje institucionalno definisalo (od strane nadležne institucije za finansiranje izgradnje sistema za navodnjavanje).

Sastavni deo druge faze metodologije je predloženi novi višekriterijumski metod za određivanje težina DO zasnovan na individualnoj konzistentnosti, grupnoj konzistentnosti i međusobnom vrednovanju DO. Koristeći individualne težine podkriterijuma izračunate u prvoj, i težine DO izračunate u ovoj fazi, "otežanim" aritmetičkim osrednjavanjem dobijene su grupne (konačne težine) podkriterijuma (GIS slojeva).

Da bi rastersko preklapanje slojeva bilo moguće u trećoj fazi su svi slojevi na isti način prostorno referencirani i urađeno je da njihova rezolucija, odnosno veličina piksela bude identična. Takođe, s obzirom da ulazni slojevi najčešće sadrže podatke različitog tipa i različitog opsega, bilo je potrebno ulazne slojeve standardizovati, odnosno reklasifikovati čime je svim slojevima dodeljen isti tip podataka i u istom opsegu. Pri analizi pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje svi ulazni slojevi koji utiču na pogodnost lokaliteta su reklasifikovani tako da podaci u okviru sloja budu celobrojne vrednosti u opsegu od 1 do 5, gde 1 označava najmanju pogodnost a 5 označava najveću. To je omogućilo kombinovanje tematskih (GIS) slojeva tako što su vrednosti piksela u svakom sloju pomnožene sa pripadajućim grupnim težinama slojeva i njihovim sabiranjem su dobijene nove vrednosti piksela u rezultujućem sloju. Ovaj sloj predstavlja konačnu mapu pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje i ona treba da posluži potencijalnim donosiocima odluka (vladi, ministarstvima) kao osnova za definisanje prostornih prioriteta izgradnje novih sistema za navodnjavanje.

U četvrtoj fazi (analiza osetljivosti) su prvo isključeni slojevi koji predstavljaju antropogene podkriterijume. Sumiranjem preostalih otežanih mapa pogodnosti u jednu i njenom reklasifikacijom u pet ekvidistantnih klasa dobijena je mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje zasnovana na podkriterijumima prirodnih resursa. Zatim su isključeni slojevi zasnovani na prirodnim karakteristikama i istom procedurom (kao u prethodnom slučaju) dobijena je mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje zasnovana na antropogenim podkriterijumima. Na ovaj način su dobijene dve nove mape pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje koje pružaju dodatne informacije donosiocima odluka. U prvom slučaju (mapa pogodnosti zasnovana na prirodnim karakteristikama lokaliteta) dobijaju se informacije gde je najveći prirodni potencijal za razvoj navodnjavanja, odnosno na kojim lokalitetima je najbolje investirati u izgradnju nove vodne infrastrukture (ako već ne postoji). U drugom slučaju, mapa pogodnosti zasnovana na antropogenim podkriterijumima identifikuje lokalitete gde je potrebno

uložiti najmanje sredstava u izgradnju novih sistema za navodnjavanje (zbog već postojeće vodne infrastrukture, blizine tržišta, razvijenosti stočarstva, izvršene komasacije, itd.).

Za sve tri dobijene mape izabrano je da klase budu ekvidistantne, ali se opseg klasa može menjati. Ako bi sredstva za investiranje bila znatno manja od planiranih, opseg najbolje (pete) klase bi se mogao promeniti na taj način što bi se povećala donja granica klase i na taj način bi se smanjio njen opseg a samim tim bi se smanjile i površine u toj klasi. Kada bi bila obrnuta situacija (da sredstava za investiranje ima više nego što je potrebno za površine koje se nalaze u najboljoj klasi) donja granica bi se smanjila i time bi se povećale površine u željenoj klasi.

Mape pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje dobijene predloženom metodologijom predstavljaju preliminarnu ocenu i pre uvođenja navodnjavanja treba uzeti u obzir lokalne uslove i kriterijume koji nisu bili obuhvaćeni ovom analizom zbog nedostatka podataka (npr. zainteresovanost poljoprivrednih proizvođača da navodnjavaju i da menjaju setvenu strukturu, količina dostupne vode, itd.). Dobijene mape predstavljaju temelj koji je potrebno nadograditi lokalnim iskustvima, željama investitora, strukturom i socijalnim položajem stanovništva, političkim prioritetima, itd. Takođe dobijene mape ne moraju biti konstantne (kao što je npr. karta drenažnih i irigabilnih klasa, karta geomorfoloških karakteristika, itd.) jer se vremenom kriterijumi i podkriterijumi mogu menjati kao i njihov značaj (težina). Ako bi se npr. intenzivirale klimatske promene podkriterijumi klime bi sigurno dobili veće težine nego u ovoj analizi.

Alternativa metodu AHP za određivanje težina kriterijuma (i podkriterijuma) je metod za objektivno vrednovanje kriterijuma (Srdjevic i sar., 2004) zasnovan na Šenonovom konceptu entropijske ocene informacije sadržane u matrici odlučivanja (Shannon i Weaver, 1947). Metod se svodi na merenje neodređenosti u informaciji koju emituje matrica i direktno generiše skup težinskih vrednosti kriterijuma na osnovu međusobnog kontrasta pojedinačnih rejtinga alternativa za svaki kriterijum i zatim jednovremeno za sve kriterijume. Metod se može uspešno kombinovati sa GIS (Bezdan, 2014), ali je u tom slučaju rizik od nekvalitetne odluke veći (nego kada se koristi AHP) jer će najveće težine dobiti kriterijumi koji imaju najveće kontraste rejtinga alternativa. Ovaj metod se može koristiti samo ako su svi kriterijumi približno jednakog značaja, što kod određivanja pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje nije slučaj. Iako i AHP nosi rizik od loše odluke (zbog subjektivnosti i pogrešne procene donosioca odluke), on se minimizira grupnim pristupom problemu odlučivanja.

DEO 6. ZAKLJUČCI I PRAVCI BUDUĆIH ISTRAŽIVANJA

Na osnovu rezultata istraživanja u doktorskoj disertaciji se zaključuje sledeće:

1. Inteligentnim približavanjem grupnog vektora prioriteta individualnim odlukama dobijen je grupni vektor prioriteta koji dovoljno dobro predstavlja individualne odluke u kontekstu približavanja konsenzusu. Na taj način generisani grupni vektor bolje predstavlja grupu nego što to čine grupni vektori dobijeni geometrijskim objedinjavanjem individualnih ocena, aritmetičkim objedinjavanjem individualnih prioriteta, ili nekim od razvijenih modela konsenzusa.
2. Težine članova grupe (donosilaca odluka) kod odlučivanja pomoću AHP se mogu odrediti na osnovu demonstrirane individualne konzistentnosti, demonstrirane grupne konzistentnosti i međusobnog vrednovanja donosilaca odluka u parovima, takođe po metodologiji AHP.
3. Dobijeni rezultati se mogu primenjivati u svim problemima grupnog odlučivanja gde se koristi metod AHP i gde imamo jedan nivo odlučivanja (hijerarhiju sa jednim nivoom).
4. Koristeći predložene metode i metodologije može se dobiti jedinstvena mapa pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje u višekriterijumskom kontekstu i predlog procentualne raspodele budžeta na kreditne linije.
5. Prikazani pristupi mogu biti od koristi svim institucijama (npr.: ministarstva, sekretarijati, javna preduzeća, lokalne samouprave, pokrajinski i republički fondovi, naučno-obrazovne institucije, itd.) gde se kao sredstvo odlučivanja može koristiti AHP u grupnom kontekstu.

Pravci budućih istraživanja:

1. Testirati predloženi metod SAAP (simulated annealing aggregation procedure - SAAP) za slučajeve kada hijerarhija problema odlučivanja ima više od jednog nivoa. Kod metoda objedinjavanja individualnih ocena - AIJ (AIJ - aggregation of individual judgments), prvo se geometrijskim osrednjavanjem individualnih ocena donosilaca odluka odrede elementi grupne matrice a zatim se iz grupne matrice odredi grupni vektor prioriteta nekim od poznatih metoda prioritizacije. Za slučajeve sa više nivoa hijerarhije, ova procedura se mora posebno izvoditi za svaku matricu u hijerarhiji problema odlučivanja. Pretpostavka je da bi se metod SAAP na isti način mogao uspešno koristiti, ali bi ove situacije trebalo dodatno analizirati.

2. Metod SAAP predložen u ovom radu je testiran za polaznu pretpostavku da svi članovi grupe koja odlučuje imaju jednake težine, a u daljem istraživanju bi ga trebalo modifikovati da bude primenljiv i na situacije kada su težine donosilaca odluka različite.

3. Poželjno bi bilo prikupiti podatke koji mogu da utiču na pogodnost lokaliteta za navodnjavanje na lokalnom nivou (npr. zainteresovanost poljoprivrednih proizvođača da navodnjavaju i da menjaju setvenu strukturu, količina dostupne vode, informacije o tome da li se na nekim površinama koje su na mapi označene kao prioritetne za izgradnju zalivnih sistema planira izgradnja industrijskih zona ili nekih drugih objekata od interesa za lokalnu samoupravu, itd.) i digitalizovati ih. Na taj način bi se dobile kvalitetnije mape pogodnosti lokaliteta za navodnjavanje sa više informacija.

LITERATURA

1. Abbass H.A. (2001): Marriage in honey bees optimization: A haplometrosis polygynous swarming approach. Proc. of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 207–214.
2. Aczel J., Saaty T.L. (1983): Procedures for Synthesizing Ratio Judgments. Journal of Mathematical Psychology 27: 93–102.
3. Aczel J., Roberts F.S. (1989): On the Possible Merging Functions. Mathematical Social Sciences 17: 205–243.
4. Aguarón J., Moreno-Jiménez J.M. (2003): The geometric consistency index: Approximated thresholds. European Journal of Operational Research 147: 137–145.
5. Ahonen H., de Alvarenga A.G., Amaral A.R.S. (2014): Simulated annealing and tabu search approaches for the corridor allocation problem. European Journal of Operational Research 232: 221–233.
6. Akıncı H., Ozalp A.Y., Turgut B. (2013): Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. Computers and Electronics in Agriculture 97: 71–82.
7. Albaji M., Landi A., Boroomand Nasab S., Moravej K. (2008): Land Suitability Evaluation for Surface and Drip Irrigation in Shavoor Plain Iran. Journal of Applied Sciences 8(4): 654–659.
8. Ali M.H. (2010): Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management: Volume 1 (Chapter 2: Fundamentals of Irrigation Development and Planning). Springer.
9. Alphonse C.B. (1997): Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries. Agricultural systems 53(1): 97–112.
10. Altuzarra A., Moreno-Jimenez J.M., Salvador M.A. (2007): Bayesian prioritization procedure for AHP-group decision making. European Journal of Operational Research 182(1): 367–382.
11. Anane M., Bouziri L., Limam A., Jellali S. (2012): Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in theb, Naeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. Resources, Conservation and Recycling 65: 36–46.
12. Arnette A., Zobel C., Bosch D., Pease J., Metcalfe T. (2010): Stakeholder ranking of watershed goals with the vector analytic hierarchy process: Effects of participant grouping scenarios. Environmental Modelling and Software 25: 1459–1469.
13. Barzilai J. (1997): Deriving weights from pairwise comparison matrices. Journal of Operational Research Society 48: 1226–1232.

14. Barzilai J., Golany B. (1994): AHP rank reversal normalization and aggregation rules. *INFOR* 32: 57–64.
15. Barzilai J., Lootsma F.A. (1997): Power Relations and Group Aggregation in the Multiplicative AHP and SMART. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6: 155–165.
16. Belić S., Savić R., Belić A. (2007): Upotrebljivost vode za navodnjavanje kao osnova održivog korišćenja prirodnih resursa. U monografiji *Održive melioracije* (urednik S. Belić), 146–162, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
17. Belić S., Belić A., Vranešević M. (2011): Pogodnost lokaliteta za navodnjavanje. U monografiji *Upotrebljivost voda za navodnjavanje* (urednik S. Belić), 65–87, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
18. Belton V., Gear T. (1983): On a short-coming of Saaty's method of analytic hierarchies. *Omega* 11(3): 228–230.
19. Ben-Arieh D., Easton T. (2007): Multi-criteria group consensus under linear cost opinion elasticity. *Decision Support Systems* 43: 713–721.
20. Ben-Arieh D., Easton T., Evans B. (2009): Minimum cost consensus with quadratic cost functions. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans* 39: 210–217.
21. Benka P. (2012): Uređenje zemljišne teritorije na meliorisanom području. Doktorska disertacija, Novi Sad.
22. Benka P., Salvai A. (2005): Digitalizacija pedološke karte Vojvodine za potrebe GIS-a. *Tematski zbornik radova: Melioracije u održivoj poljoprivredi*, str. 53-59, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
23. Benka P., Salvai A. (2006): GIS soil map of Vojvodina for integrated water resources management. *Conference on Water Observation and Information System for Decision Support BALWOIS, Section 8: Information systems, CD of proceedings, Ohrid - Rep. of Macedonia*.
24. Bergmann H. (1979): The economic use of physical land suitability criteria in irrigation projects. *Land evaluation criteria for irrigation*, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome.
25. Bernasconi M., Choirat C., Seri R. (2014): Empirical properties of group preference aggregation methods employed in AHP: Theory and evidence. *European Journal of Operational Research* 232(3): 584–592.
26. Bezdan A. (2014): Procena rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području. Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.

27. Bezdan A., Benka P., Grabic J., Salvai A. (2012); Estimation of Agricultural Drought Vulnerability Using GIS Tools: A Case Study of Vojvodina Region (Serbia). Proceedings of Balwois 2012, Ohrid, Republic of Macedonia, May 28– June 2.
28. Blagojević B., Srđević Z., Srđević B., Suvočarev K. (2010): Rangiranje korisnika kredita za opremu za navodnjavanje pomoću Analitičkog hijerarhijskog procesa. *Vodoprivreda* 42(246-248): 213–222, Jugoslovensko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje, Beograd.
29. Blagojevic B., Srdjevic B., Srdjevic Z., Lakicevic M. (2012): Allocation of budget funds on agricultural loan programs: group consensus decision making in the Provincial Fund for Agricultural Development of Vojvodina Province in Serbia. *Industrija (Journal of Economics Institute)* 3: 57–70.
30. Blagojević B., Matić-Kekić S. (2012): Grupno određivanje težina kriterijuma za ergonomsku evaulaciju traktora. *Savremena poljoprivredna tehnika* 38(3): 255–266.
31. Blagojević B., Srđević B., Srđević Z. (2012): Raspodela novčanih sredstava na kreditne linije za razvoj poljoprivrede Vojvodine. *Tematski zbornik radova Savetovanja Melioracije* 12: 178–184, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
32. Bodily S.E. (1979): A Delegation Process for Combining Individual Utility Functions. *Management Science* 25: 1035–1041.
33. Borges P., Eid T., Bergseng E. (2014): Applying simulated annealing using different methods for the neighborhood search in forest planning problems. *European Journal of Operational Research* 233: 700–710.
34. Boroushaki S., Malczewski J. (2010): Measuring consensus for collaborative decision-making: A GIS-based approach. *Computers, Environment and Urban Systems* 34: 322–332.
35. Bošnjak Đ. (1999): Navodnjavanje poljoprivrednih useva, str. 340, Univerzitet u Novom sadu, Poljoprivredni fakultet.
36. Bryson N. (1995): A goal programming method for generating priorities vectors. *Journal of Operational Research Society* 46: 641–648.
37. Burrough P.A. (1986): Principles of geographical information system for land resources assesment. Oxford: Calderon Press.
38. Carver S.J. (1991): Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems* 5(3): 321–339.
39. Cerny V. (1985): Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. *Journal of Optimisation Theory and Applications* 45: 41–51.
40. Chen X., Fan Z.P. (2006): Study on the assessment level of experts based on linguistic assessment matrices. *Journal of Systems Engineering* 24(1): 111–115.

41. Chen X., Fan Z.P. (2007): Study on assessment level of experts based on difference preference information. *Systems Engineering - Theory and Practice* 27(2): 27–35.
42. Chen Y., Yu J., Khan S. (2010): Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling and Software* 25: 1582–1591.
43. Chen Y.L., Cheng L.C. (2009): Mining maximum consensus sequences from group ranking data. *European Journal of Operational Research* 198: 241–251.
44. Chiclana F., Mata F., Martínez L., Herrera-Viedma E., Alonso S. (2008): Integration of a consistency control module within a consensus decision making model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* 16: 35–53.
45. Chowdary V.M., Chakraborty D., Jeyaram A., Krishna Murthy Y.V.N., Sharma J.R., Dadhwal V.K. (2013): Multi-Criteria Decision Making Approach for Watershed Prioritization Using Analytic Hierarchy Process Technique and GIS. *Water Resources Management* 27: 3555–3571.
46. Chu A., Kalaba R., Springam K. (1979): A comparison of two methods for determining the weights of belonging to fuzzy sets. *Journal of Optimization Theory and Applications* 127: 531–541.
47. Condon E., Golden B., Wasil E. (2003): Visualizing group decisions in the the analytic hierarchy process. *Computers and Operations Research* 30: 1435–1445.
48. Crawford G., Williams C. (1985): A note on the analysis of subjective judgement matrices. *Journal of Mathematical Psychology* 29: 387–405.
49. Damjanović T., Benka P. (2011): *Osnove uređenja i zaštite zemljišne teritorije i poseda u Srbiji*. Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
50. Dong Y., Xu Y., Li H., Dai M. (2008): A comparative study of the numerical scales and the prioritization methods in AHP. *European Journal of Operational Research* 186(1): 229–242.
51. Dong Y.C., Xu Y.F., Li H.Y., Feng B. (2010a): The OWA-based consensus operator under linguistic representation models using position indexes. *European Journal of Operational Research* 203: 455–463.
52. Dong Y., Zhang G., Hong W.C., Xu Y. (2010b): Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. *Decision Support Systems* 49: 281–289.
53. Dorigo M., Maniezzo V., Colomi A. (1996): The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* B6: 29–41.

54. Dorigo M., Gambardella L.M. (1997): Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem. *BioSystems* 43: 73–81.
55. Dowsland K.A. (1995): Simulated annealing. In C.R. Reeves (Ed.), *Modern heuristic techniques for combinatorial problems*, McGraw-Hill.
56. Dyer J.S. (1990): Remarks on the analytic hierarchy process. *Management science* 36(3): 249–258.
57. Eglese R.W. (1990): Simulated Annealing: A tool for Operational Research. *European Journal of Operational Research* 46: 271–281.
58. Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (1985): *Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture*. Rome.
59. Forman E., Peniwati K. (1998): Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 108: 165–169.
60. Glover F. (1986): Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers and Operations Research* 13(5): 533–549.
61. Gocić M. (2013): Proširivo okruženje za određivanje referentne evapotranspiracije bazirano na servisno-orijentisanoj arhitekturi. *Doktorska disertacija*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
62. Golany B., Kress M. (1993): A multicriteria evaluation of methods for obtaining weights from ratio-scale matrices. *European Journal of Operational Research* 69: 210–220.
63. Gong X., Gunnar L.M., Sachiko T. (2009): Land use classification. 14th Meeting of the London Group on Environmental Accounting Canberra, 27-30 April 2009.
64. Gregorio A., Jansen L.J.M (2000): *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*. FAO publication.
65. Guerreiro M.J., Lajinha T., Abreu I. (2007): Flood Analysis with the Standardized Precipitation Index (SPI). In: *Revista da Faculdade De Ciência e Tecnologia, Universidade Fernando Pessoa* 4: 8–14.
66. Guttman N.B. (1999): Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association* 35: 311–322.
67. Harker P.T., Vargas L.G. (1987): The theory of ratio scale estimation: Saaty's analytic hierarchy process. *Management Science* 33(1): 1383–1403.
68. Hartmann S., Martini C., Sprenger J. (2009): Consensual Decision-Making Among Epistemic Peers. *Episteme* 6: 110–129.
69. Hecker F. (2000): Land Classification for Irrigation in Alberta. *Agrifact*: 1–4.

70. Herrera F., Herrera-Viedma E., Verdegay J.L. (1996): A model of consensus in group decision making under linguistic assessments. *Fuzzy Sets and Systems* 78: 73–87.
71. Herrera-Viedma E., Herrera F., Chiclana F. (2002): A consensus model for multiperson decision making with different preference structures. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans* 32: 394–402.
72. Herrera-Viedma E., Alonso S., Chiclana F., Herrera F. (2007): A consensus model for group decision making with incomplete fuzzy preference relations. *IEE Transactions on Fuzzy Systems* 15: 863–877.
73. Ho W. (2008): Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review. *European Journal of Operational Research* 186(1): 211–228.
74. Holland J.H. (1975): *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. The University of Michigan Press, Ann Arbor.
75. Hot I. (2014): Upravljanje izradom generalnih projekata u oblasti infrastrukture primenom višekriterijumske analize. Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
76. Ishizaka A., Labib A. (2011): Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems with Applications* 38(11): 14336–14345.
77. Jandrić Z., Srđević B. (2000): Analitički hijerarhijski proces kao podrška odlučivanju u vodoprivredi. *Vodoprivreda* 186-188: 327–335.
78. Kapelan Z., Savic D., Walters G. (2005): Optimal Sampling Design Methodologies for Water Distribution Model Calibration. *Journal of Hydraulic Engineering* 131(3): 190–200.
79. Kennedy J., Eberhart R. (1995): Particle Swarm Optimization. *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, pp. 1942–1948, Piscataway, NJ.
80. Kirkpatrick S., Gelatt C.D., Vecchi M.P. (1983): Optimization by simulated annealing. *Science* 220: 671–680.
81. Kos Z. (1987): Hidrotehničke melioracije - navodnjavanje, str. 216, Školska knjiga, Zagreb.
82. Koulamas C., Antony S.R., Jaen R. (1994): A survey of simulated annealing applications to operations research problems. *Omega* 22: 41–56.
83. Kumar V.N., Ganesh L. (1996): A simulation-based evaluation of the approximate and the exact eigenvector methods employed in AHP. *European Journal of Operational Research* 95: 656–62.
84. Labeledzki L. (2007): Estimation of local drought frequency in central Poland using the Standardized Precipitation Index SPI. *Irrigation and Drainage* 56(1): 67–77.

85. Labib A., Williams G., O'Connor R. (1996): Formulation of an appropriate productive maintenance strategy using multiple criteria decision making. *Maintenance Journal* 11: 66–75.
86. Labib A., Shah J. (2001): Management decisions for a continuous improvement process in industry using the analytical hierarchy process. *Journal of Work Study* 50: 189–193.
87. Lehrer K., Wagner C. (1981): *Rational Consensus in Science and Society*. Reidel, Dordrecht.
88. Lin S.W., Yu V.F. (2012): A simulated annealing heuristic for the team orienteering problem with time windows. *European Journal of Operational Research* 217: 94–107.
89. Lojo A., Ponjavić M. (2004): GIS u gazdovanju prirodnim resursima. Gauss d.o.o. Tuzla, Bosna i Hercegovina.
90. Lootsma F.A. (1993): Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 2: 87–110.
91. Machiwal D., Jha M.K., Mal B.C. (2011): Assessment of Groundwater Potential in a Semi-Arid Region of India Using Remote Sensing, GIS and MCDM Techniques. *Water Resources Management* 25: 1359–1386.
92. Malczewski J. (1999): *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. Wiley, Toronto.
93. Malczewski J. (2004): GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning* 62(1): 3–65.
94. Malczewski J. (2006): GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science* 20(7): 703–726.
95. Margerum R.D. (2002): Collaborative planning-building consensus and building a distinct model for practice. *Journal of Planning Education and Research* 21(3): 237–253.
96. Marinoni O. (2004): Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS. *Computers and Geosciences* 30(6): 637–646.
97. Marinoni O., Higgins A., Hajkowicz S., Collins K. (2009): The multiple criteria analysis tool (MCAT): a new software tool to support environmental investment decision making. *Environmental Modelling and Software* 24(2): 153–164.
98. McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. (1993): The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Boston MA: American Meteorological Society.
99. Metropolis N., Rosenbluth A., Rosenbluth M., Teller A., Teller E. (1953): Equation of state calculations by fast computing machines. *Journal of Chemical Physics* 21: 1087–1092.

100. Mijatović B., Jovanović B., Miljković N., Putarić V., Stojiljković D., Zdravić M. (1995): Osnovne prirodne odlike meliorativnog područja. Monografija "Hidrotehničke melioracije u Vojvodini", str. 1-20, Poljoprivredni fakultet, Institut za uređenje voda, Novi Sad.
101. Mikhailov L., Singh M.G. (1999): Comparison analysis of methods for deriving priorities in the analytic hierarchy process. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics: 1037–1042.
102. Mikhailov L. (2000): A fuzzy programming method for deriving priorities in the analytic hierarchy process. Journal of Operational Research Society 51: 341–349.
103. Mikhailov L. (2004): Group prioritization in the AHP by fuzzy preference programming method. Computers and operations research 31(2): 293–301.
104. Miladinović M. (1996): Pogodnost zemljišta za komasaciju. Metodologija za izradu Osnova zaštite, korišćenja i uređenja poljoprivrednog zemljišta, knjiga II. Republički fond za zaštitu, korišćenje, unapređivanje i uređenje poljoprivrednog zemljišta Srbije, Beograd.
105. Milivojević J. (1996): Pogodnost zemljišta za navodnjavanje. Metodologija za izradu Osnova zaštite, korišćenja i uređenja poljoprivrednog zemljišta, knjiga II. Republički fond za zaštitu, korišćenje, unapređivanje i uređenje poljoprivrednog zemljišta Srbije, Beograd.
106. Miljković N. (2005): Meliorativna pedologija. Univerzitet u Novom Sadu, str. 550, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, JVP "Vode Vojvodne", Novi Sad.
107. Miljković N., Rujević D., Božić M. (1994): Pogodnost zemljišta i kvaliteta voda u uslovima navodnjavanja u Srbiji i aktuelni prateći problemi. Navodnjavanje i odvodnjavanje u Srbiji, 27–33, Svilajnac.
108. Molnar I., Milošev D. (1995): Agroekologija, str.187, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
109. Moreno-Jimenez J.M., Polasek W. (2003): e-Democracy and Knowledge, A Multicriteria Framework for the New Democratic Era. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis 12: 163–176.
110. Moreno-Jimenez J.M., Aguaron J., Raluy A., Turon A. (2005): A Spreadsheet module for consensus building in AHP group decision making. Group Decision and Negotiation 14(2): 89–108.
111. Nekhaya O., Arriaza M., Guzmán-Álvarez J.R. (2009): Spatial analysis of the suitability of olive plantations for wildlife habitat restoration. Computers and Electronics in Agriculture 65: 49–64.
112. Panagopoulos G.P., Bathrellos G.D., Skilodimou H.D., Martsouka F.A. (2012): Mapping Urban Water Demands Using Multi-Criteria Analysis and GIS. Water Resources Management 26: 1347–1363.

113. Peters W.B. (1979): Views on land selection for water and land development. Land evaluation criteria for irrigation, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome.
114. Pham D.T., Ghanbarzadeh A., Koc E., Otri S., Rahim S., Zaidi M. (2005): The Bees Algorithm. Technical Note, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University, UK.
115. Pješčić M. (2007): Dovođenje kanala za odvodnjavanje u dvonamensku funkciju rekonstrukcijom. Zbornik radova sa Stručnog seminara vodoprivrede, 101–107, Vrnjačka Banja.
116. Popis poljoprivrede 2012. godine u Republici Srbiji - prvi rezultati. Republički zavod za statistiku, Beograd, 2013.
117. Popis stanovništva, domaćinstva i stanova u Republici Srbiji. Republički zavod za statistiku, Beograd, 2011.
118. Procedures Manual for the Classification of Land for Irrigation in Alberta (2004). Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Resource Management and Irrigation Division, Irrigation Branch, Lethbridge, Alberta, Canada.
119. Purnell M.F. (1979): The FAO approach to land evaluation and its application to land classification for irrigation. Land evaluation criteria for irrigation, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome.
120. Rabia A.H., Figueredo H., Huong T.L., Lopez B.A.A., Solomon H.W., Alessandro V. (2013): Land Suitability Analysis for Policy Making Assistance: A GIS Based Land Suitability Comparison between Surface and Drip Irrigation Systems. *International Journal of Environmental Science and Development* 4(1): 1–6.
121. Rafiq N. (1979): Criteria for land evaluation for irrigation in Pakistan. Land evaluation criteria for irrigation, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome.
122. Rajić M. (2007): Osnove održivog navodnjavanja. U monografiji Održive melioracije (urednik S. Belić), 185–209, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
123. Rajić M., Josimov-Dundarski J. (2009): Opšta hidrologija, str. 168, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
124. Ramanathan R., Ganesh L.S. (1994): Group preference aggregation methods employed in AHP: an evaluation and an intrinsic process for deriving members' weightages. *European Journal of Operational Research* 79: 249–265.
125. Rechenberg I. (1965): Cybernetic solution path of an experimental problem. Royal Aircraft Establishment, Library translation No. 1122, Farnborough, Hants, UK.

126. Regan H.M., Colyvan M., Markovchick-Nicholls L. (2006): A formal model for consensus and negotiation in environmental management. *Journal of Environmental Management* 80(2): 167–176.
127. Reshmidevi T.V., Eldho T.I., Jana R. (2009): A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds. *Agricultural systems* 101(1): 101-109.
128. Rikalović A. (2014): Razvoj modela za izbor lokacije proizvodnih sistema. Doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
129. Saaty T. (1977): A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15: 234–281.
130. Saaty T.L. (1980): *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill, New York.
131. Saaty T.L. (1986): Axiomatic foundation of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science* 32(7): 841–855.
132. Saaty T.L. (1990): Eigenvector and logarithmic least squares. *European Journal of Operational Research* 48: 156–160.
133. Saaty T.L. (1999): *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world (Vol. 2)*. RWS publications.
134. Salvai A., Bezdán A. (2012): Development of Irrigation Scheduling System – report on activity 3.2.3., Drought Management Centre for Southeastern Europe – DMCSEE, University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Novi Sad.
135. Savic D., Walters G. (1997): Genetic Algorithms for Least-Cost Design of Water Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management* 123(2): 67–77.
136. Savic D., Walters G., Schwab M. (1997): Multiobjective genetic algorithms for pump scheduling in water supply. *Evolutionary Computing, Lecture Notes in Computer Science* 1305: 227–236.
137. Savic D., Bicik J., Morley M. (2011): A DSS generator for multiobjective optimisation of spreadsheet-based models. *Environmental Modelling and Software* 26: 551–561.
138. Savić R., Vranešević M. (2011): Količine i kvalitet vode za navodnjavanje. U monografiji *Upotrebljivost voda za navodnjavanje* (urednik Belić S.), 28–64, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
139. Saxton K.E., Rawls W.J., Romberger J.S., Papendick R.I. (1986): Estimating Generalized Soil-water Characteristics from Texture. *Soil Science Society of America Journal* 50: 1031-1036.

140. Schwefel H.P. (1965): *Kybernetische Evolution Als Strategie Der Experimentellen Forschung In Der Stromungstechnik*. Diplomarbeit Technische Universitat, Berlin.
141. Seiler R.A., Hayes M., Bressan L. (2002): Using the Standardized Precipitation Index for Flood Risk Monitoring. In: *International Journal of Climatology* 22: 1365–1376.
142. Shannon C.E., Weaver W. (1947): *The mathematical theory of communication*. Urbana: The University of Illinois Press.
143. Soil Classification Working Group (SCWG) (1998): *The Canadian system of soil classification*. Third edition. Agric. Can. Publ. 1646 (Revised), NRC Research Press, Ottawa, Ontario.
144. Srdjevic B. (2005): Combining different prioritization methods in the analytic hierarchy process synthesis. *Computers and Operations Research* 32: 1897–1919.
145. Srdjevic B. (2007): Linking Analytic Hierarchy Process and Social Choice Methods to Support Group Decision-Making in Water Management. *Decision Support Systems* 42(4): 2261–2273.
146. Srdjevic B., Medeiros Y.D.P., Srdjevic Z., Schaer M. (2002): Evaluating management strategies in Paraguacu river basin by analytic hierarchy process. *iEMSs 2002 - First Biennial Meeting of the International Environmental Modeling and Software Society* 1: 42–47.
147. Srdjevic B., Medeiros Y.D.P., Faria A.S. (2004): An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water resources management* 18(1): 35–54.
148. Srdjevic B., Medeiros Y.D.P. (2008): Fuzzy AHP Assessment of Water Management Plans. *Water Resources Management* 22 (7): 877–894.
149. Srdjevic B., Srdjevic Z. (2011): Bi-criteria evolution strategy in estimating weights from the AHP ratio-scale matrices. *Applied Mathematics and Computation* 218: 1254–1266.
150. Srdjevic B., Srdjevic Z., Blagojevic B., Suvocarev K. (2013): A two-phase algorithm for consensus building in AHP-group decision making. *Applied Mathematical Modelling* 37: 6670–6682.
151. Srdjevic Z., Kolarov V., Srdjevic B. (2007): Finding the best location for pumping stations in the Galovica drainage area of Serbia: The AHP approach for sustainable development. *Business Strategy and the Environment* 16(7): 502–511.
152. Srdjevic Z., Srdjevic B., Suvocarev K. (2009): Objective evaluation of walnut cultivars by the analytic hierarchy process. 7th world congress of computers in agriculture and natural resources, June 22-24 2009, Reno, Nevada, USA.
153. Srdjevic Z., Srdjevic B., Blagojevic B., Bajcetic R. (2010): Combining GIS and Analytic hierarchy process for evaluating land suitability for irrigation: A case study from Serbia.

- Proceedings of the 2010 2nd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering (ICBEE), Cairo, Egypt, November 2-4.
154. Srdjevic Z., Blagojevic B., Srdjevic B. (2011): AHP based group decision making in ranking loan applicants for purchasing irrigation equipment: a case study. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 17(4): 531–543.
155. Srdjevic Z., Bajcetic R., Srdjevic B. (2012): Identifying the Criteria Set for Multicriteria Decision Making Based on SWOT/PESTLE Analysis: A Case Study of Reconstructing AWater Intake Structure. *Water Resources Management* 26: 3379–3393.
156. Srdjevic Z., Bezdan A., Blagojevic B., Dunkel Z., Srdjevic B. (2013): Spatial multi-criteria evaluation of land suitability for irrigation in Vojvodina Province (Serbia) based on its soil and climate characteristics. Izloženo na Workshopu "Water footprint application for water resources management in agriculture", Rim, Italija, 16.04.2013.
157. Srđević Z., Srđević B. (2003): Standardna i balansirana skala u AHP vrednovanju selekcija i sorti oraha. *Letopis naučnih radova* 27(1): 24–34.
158. Srđević Z., Bajčetić R., Srđević B., Blagojević B. (2010): Primena GIS-a i Analitičkog hijerarhijskog procesa u određivanju pogodnosti zemljišta za navodnjavanje. *Vodoprivreda* 42(243-245): 61–68, Jugoslovensko društvo za odvodnjavanje i navodnjavanje, Beograd.
159. Stojićević D. (1996): Navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta, 357, Partenon, Beograd.
160. Subramanian N., Ramanathan R. (2012): A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics* 138(2): 215–241.
161. Sys C. (1979): Evaluation of the physical environment for irrigation in terms of land characteristics and land qualities. *Land evaluation criteria for irrigation*, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome.
162. Sys I., Van Ranst E., Debaveye J. (1991): Land evaluation, part II. *Methods in land evaluation*, General administration for development cooperation, pp. 247, Brussels.
163. Szalai S., Szinell C., Zoboki J. (2000): Drought monitoring in Hungary. In: *Early warning systems for drought preparedness and drought management*, World Meteorological Organization, Lisboa, pp. 182–199.
164. Škorić M. (2007): Višenamensko korišćenje sistema za navodnjavanje. U monografiji *Održive melioracije* (urednik S. Belić), 210–219, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
165. Škorić M., Stojšić M., Tabakov J., Rajić M., Belić S., Belić A., Pokrić V., Srđević B., Zoranović T., Potkonjak S., Conić J. (1995): Navodnjavanje u Vojvodini. Monografija *Hidrotehničke melioracije u Vojvodini*, str. 125–168, Poljoprivredni fakultet, Institut za uređenje voda, Novi Sad.

166. Tadić L. (2012): Criteria for Evaluation of Agricultural Land Suitability for Irrigation in Osijek County Croatia. Problems, Perspectives and Challenges of Agricultural Water Management, Dr. Manish Kumar (Ed.), ISBN: 978-953-51-0117-8.
167. Takeda E., Cogger K., Yu P.L. (1987): Estimating criterion weights using eigenvectors: a comparative study. *European Journal of Operational Research* 29: 360–9.
168. Thornthwaite C.W. (1948): An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38: 55–94.
169. Tomić P., Romelić J., Kicošev S., Lazić L. (2002): Vojvodina, monografija, Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad.
170. US Salinity Laboratory Staff (1954): Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook 60, U.S. Government Printing Office, Washington, D. C.
171. Vaidya O.S., Kumar S. (2006): Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169(1): 1–29.
172. Van den Honert R.C. (2001): Decisional power in group decision making: a note on the allocation of group members' weights in the multiplicative AHP and SMART. *Group Decision and Negotiation* 10(3): 275–286.
173. Vodoprivredna osnova Republike Srbije (VOS) (1995): Nacrt, Institut za vodoprivredu Jaroslav Černi, Beograd.
174. Vodoprovredna osnova Vojvodine (VOV) (1985): Prednacrt, Samoupravna interesna zajednica za osnovno uređenje voda Vojvodine, Poljoprivredni fakultet, Institut za uređenje voda, Novi Sad.
175. Von Winterfeldt D., Edwards W. (1986): *Decision Analysis and Behavioural Research*. Cambridge University Press, Cambridge.
176. Vučić N. (1984): Novi tokovi i savremeni duh u navodnjavanju. 13. Tematsko savetovanje Tehnika navodnjavanja poljoprivrednih kultura (<http://agroplus.rs/novi-tokovi-i-savremeni-duh-u-navodnjavanju/>).
177. Wang Y., Chen H., Zhou L. (2012): Logarithm Compatibility of Interval Multiplicative Preference Relations with an Application to Determining the Optimal Weights of Experts in the Group Decision Making. *Group Decision and Negotiation* 22(4): 759–772.
178. Weber J.L. (2010): *Land cover classification in the revised SEEA*, Copenhagen.
179. Wu Z., Xu J. (2012): A consistency and consensus based decision support model for group decision making with multiplicative preference relations. *Decision Support Systems* 52: 757–767.

180. Xia M., Xu Z., Chen J. (2013): Algorithms for improving consistency or consensus of reciprocal [0,1]-valued preference relations. *Fuzzy Sets and Systems* 216: 108–133.
181. Xu J., Wu Z. (2013): A maximizing consensus approach for alternative selection based on uncertain linguistic preference relations. *Computers and Industrial Engineering* 64: 999–1008.
182. Xu Y., Wang H. (2013): Optimal weight determination and consensus formation under fuzzy linguistic environment. *Procedia Computer Science* 17: 482–489.
183. Xu Z.S. (2008): Group decision making based on multiple types of linguistic preference relations. *Information Sciences* 178(2): 452–467.
184. Xu Z.S. (2009): An automatic approach to reaching consensus in multiple attribute group decision making. *Computers and Industrial Engineering* 56(4): 1369–1374.
185. Xu Z.S, Cai X. (2012): Minimizing Group Discordance Optimization Model for Deriving Expert Weights. *Group Decision and Negotiation* 21: 863–875.
186. Yaniv I. (2004): Receiving other people's advice: influence and benefit. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 93: 1–13.
187. Yue Z.L. (2011): A method for group decision-making based on determining weights of decision makers using TOPSIS. *Applied Mathematical Modelling* 35(4): 1926–1936.
188. Yue Z. (2012a): Developing a straightforward approach for group decision making base on determining weights of decision makers. *Applied Mathematical Modelling* 36: 4106–4117.
189. Yue Z. (2012b): Approach to group decision making based on determining the weights of experts by using projection method. *Applied Mathematical Modelling* 36(7): 2900–2910.
190. Zahedi F. (1986): A simulation study of estimation methods in the Analytic Hierarchy Process. *Socio-Economic Planning Science* 20: 347–354.
191. Zelenović Vasiljević T. (2011): *Primena GIS-a, Analitičkog hijerarhijskog procesa i fazi logike pri izboru lokacija regionalnih deponija i transfer stanica*. Doktorska disertacija, Fakultet Tehničkih nauka, Novi Sad.
192. Zelenovic-Vasiljevic T., Srdjevic Z., Bajcetic R., Vojinovic-Miloradov M. (2012): GIS and the Analytic Hierarchy Process for Regional Landfill Site Selection in Transitional Countries: A Case Study From Serbia. *Environmental Management* 49: 445–458.
193. Zhang D., Liu Y., M'Hallah R., Leung S.C.H. (2010): A simulated annealing with a new neighborhood structure based algorithm for high school timetabling problems. *European Journal of Operational Research* 203: 550–558.

194. Živković B., Nejgebauer V., Tanasijević Đ., Miljković N., Stojković L., Drezgić P. (1972): Zemljišta Vojvodine, str. 685, Institut za poljoprivredna istraživanja, Novi Sad.

PRILOZI

Prilog 1. CORINE land cover klase zemljišnog pokrivača na teritoriji Vojvodine

Naziv	CLC kod	Površina (ha)	%
Celovita gradska područja	111	25	0,001
Necelovita gradska područja	112	105.807	4,76
Industrijske ili komercijalne jedinice	121	11.036	0,50
Putna i železnička mreža i pripadajuće zemljište	122	466	0,02
Lučke površine	123	126	0,01
Aerodromi	124	1.230	0,06
Mesta eksploatacije mineralnih sirovina	131	1.286	0,06
Odlagališta otpada	132	110	0,005
Gradske zelene površine	141	1.296	0,06
Sportsko rekreativni objekti	142	1.034	0,05
Nenavodnjavano obradivo zemljište	211	1.573.944	70,86
Vinogradi	221	5.334	0,24
Plantaže voćaka i zrnatog voća	222	4.160	0,19
Pašnjaci	231	58.333	2,63
Kompleks kultivisanih parcela	242	118.249	5,32
Pretežno poljoprivredna zemljišta s većim područjima prirodne vegetacije	243	40.733	1,83
Šume listopadne	311	134.490	6,05
Četinarske šume	312	2.465	0,11
Mešane šume	313	5.086	0,23
Prirodni travnjaci	321	36.486	1,64
Prelazno područje šume i makije	324	61.057	2,75
Plaže, dine, peščare	331	98	0,004
Kopnene močvare	411	19.943	0,90
Vodotoci	511	20.403	0,92
Vodene površine	512	18.084	0,81

Prilog 2. Srednja vrednost kvaliteta voda u Vojvodini za period 2004-2009

Površinske vode			Podzemne vode	
Naziv lokaliteta	Vodotok	USSL klasifikacija	Naziv lokaliteta	USSL klasifikacija
Zemun	Dunav	C2S1	Novi Sad	C3S1
Žabalj	Tisa	C2S1	Sombor	C3S1
Žabalj gv	Jegrička	C3S1	Bač	C2S1
Vrbica	Zlatica	C3S1	Aleksa Šantić	C2S1
Vrbas gornja voda	kanal DTD	C2S1	Vrbas	C2S1
Vrbas donja voda	kanal DTD	C3S1	Subotica	C3S1
Vlajkovac	kanal DTD	C2S1	Njegoševo	C3S1
Vatin	Moravica	C2S1	Nadalj	C3S1
Uzdin	Nadela	C2S1	Novi Kneževac	C2S1
Titel	Tisa	C2S1	Banatsko Arandelovo	C3S1
Subotica	Kereš	C3S1	Padej	C3S2
Starčevo	Nadela	C3S1	Kikinda	C3S1
Stajićevo	Plovni Begej	C2S1	Burza	C3S1
Srpski Miletić	kanal DTD	C2S1	Zrenjanin	C3S2
Srpski Itebej	Plovni Begej	C2S1	Debeljača	C3S1
Sremska Mitrovica	Sava	C2S1	Banatski Karlovac	C2S1
Srbobran	Krivaja	C3S1	Kovin	C2S1
Sombor	kanal DTD	C2S1	Šalinac	C3S1
Smederevo	Dunav	C2S1	Dubravica Lipe 124	C3S1
Slankamen	Dunav	C2S1	Dubravica Lipe 123	C3S1
Savino Selo	kanal DTD	C2S1	Požarevac	C3S1
Šabac	Sava	C2S1	Obrenovac Beopetrol	C3S1
Pančevo	Tamiš	C2S1	Obrenovac Vodomer	C3S1
Pančevo	Dunav	C2S1	Zasavica gornja	C3S1
Padej	Tisa	C2S1	Nočaj	C3S1
Ostružnica	Sava	C2S1	Bogatić	C3S1
Novo Miloševo	Kikindski kanal	C2S1	Klenje	C2S1
Novi Sad	kanal DTD	C2S1	Gornje Polje	C2S1
Novi Sad	Dunav	C2S1	Drenovac	C3S1
Novi Bečej	Tisa	C2S1	Metković	C2S1
Morović	Studva	C2S1	Duvanište	C3S1
Melenci	kanal DTD	C2S1	Šid	C2S1
Martonoš	Tisa	C2S1	Lačarak	C3S1
Markovićevo	Brzava	C2S1	Nikinci	C3S1
Mali Stapar	kanal DTD	C2S1	Vračev Gaj	C3S1
Mali Idoš	Krivaja	C3S1	Kanjža	C2S1
Kusić	Nera	C2S1	Dubovac	C2S1
Klek	Plovni Begej	C2S1	Indija	C3S1
Karadordevo	Krivaja	C3S1		
Jaša Tomić	Tamiš	C1S1		
Jamena	Sava	C2S1		
Hetin	Stari Begej	C3S1		
Dobrićevo	Karaš	C2S1		
Čenta	Dunav	C2S1		
Botoš	Tamiš	C2S1		
Bezdan	Dunav	C2S1		
Bogojevo	Dunav	C2S1		
Beograd - Vinča	Dunav	C2S1		
Batrovci	Bosut	C2S1		
Banatska Palanka	Dunav	C2S1		
Bačko Gradište	kanal DTD	C2S1		
Bački Petrovac	kanal DTD	C2S1		
Bački Breg	Plazović	C3S1		
Bački Breg	Bajski Kanal	C2S1		
Bačka Palanka	Dunav	C2S1		
Bač	kanal DTD	C2S1		
Apatin	Dunav	C2S1		

BIOGRAFIJA AUTORA

Boško D. Blagojević, mast. inž.

Boško D. Blagojević je rođen 04.03.1985. godine u Novom Sadu, gde je završio ETŠ "Mihajlo Pupin", smer elektrotehničar računara, sa odličnim uspehom. Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, smer za Uređenje i korišćenje voda u poljoprivredi upisao je školske 2004/2005 godine. Diplomirao je 2008. godine sa prosečnom ocenom 9,44 i dobitnik je Nagrade Profesor Milan Stojić za postignut izuzetan akademski uspeh. Tokom osnovnih studija bio je stipendista Fonda za darovite studente i mlade naučne radnike Univerziteta u Novom Sadu i Fondacije "Privrednik". Na konkursu "Putujemo u Evropu" iz 2008. godine, Evropski pokret u Srbiji i Vlada AP Vojvodine su ga uvrstili u 200 najboljih studenata završnih godina u Srbiji.

Školske 2008/2009 upisao je diplomatske akademske studije-master na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, smer za Uređenje, korišćenje i zaštitu voda. Diplomirao je 2010. godine sa prosečnom ocenom 10,00 i dobitnik je Izuzetne nagrade Univerziteta u Novom Sadu za postignut uspeh u toku studiranja. Školske 2010/2011 upisao je doktorske studije na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, smer Agronomija, i položio sve ispite sa prosečnom ocenom 10,00.

Zaposlen je 2009. godine na Departmanu za uređenje voda Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu kao istraživač-pripravnik, a od 2011. godine kao asistent u nastavi na predmetima Informatika i Vodoprivredna sistemska analiza. Trenutno radi i na naučnim projektima: "Teorija i primena Analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP) za višekriterijumsko odlučivanje u uslovima rizika i neizvesnosti (individualni i grupni kontekst)", OI 174003, koji finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, rukovodilac projekta: prof. dr Bojan Srđević, kao i "Mrežno modeliranje i evaluacija funkcionalne adaptibilnosti regionalnih vodoprivrednih sistema u Vojvodini", koji finansira Pokrajinski Sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj, rukovodilac projekta: prof. dr Bojan Srđević. Od 2012. godine član je radne grupe 3 na COST Akciji ES1106: Assessment of European Agriculture Water Use and Trade Under Climate Change.

Objavio je 45 naučnih radova, od toga šest u časopisima sa SCI liste (tri rada iz kategorije M21, dva iz kategorije M23 i jedan rad iz kategorije M24). Takođe, koautor je dva poglavlja u monografiji međunarodnog značaja (M13) i šest stručnih studija. Učestvovao je na više studijskih usavršavanja u inostranstvu u oblasti upravljanja vodama, od čega su najznačajnija bila u Izraelu (mesec dana), Turskoj (dve nedelje) i Italiji (nedelju dana). Recenzent je časopisa *European Journal of Operational Research*. Tečno govori engleski jezik.