



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET



mr Atila Bezdán, dipl. inž.

**PROCENA RIZIKA OD SUFICITA I DEFICITA VODE NA  
MELIORACIONOM PODRUČJU**

- Doktorska disertacija -

Novi Sad, 2014

**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	mr Atila Bezdan
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): MN	dr Atila Salvai, redovni profesor
Naslov rada: NR	Procena rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području
Jezik publikacije: JP	Srpski
Jezik izvoda: JI	Srpski / Engleski
Zemlja publikovanja: ZP	Republika Srbija
Uže geografsko područje: UGP	AP Vojvodina
Godina: GO	2014.
Izdavač: IZ	Autorski reprint
Mesto i adresa: MA	21000 Novi Sad, Poljoprivredni fakultet, Trg D. Obradovića 8.
Fizički opis rada: FO	9 poglavlja / 176 strana / 26 tabela / 74 slika / 146 navoda literature / biografija
Naučna oblast: NO	Biotehničke nauke
Naučna disciplina: ND	Uređenje, zaštita i korišćenje voda
Predmetna odrednica, ključne reči: PO	Uređenje, zaštita i korišćenje voda; melioracije; rizik; hazard; ranjivost; poljoprivredna suša; poplave od unutrašnjih voda, geografski informacioni sistem 556.532:626.81(043.3)
UDK	
Čuva se: ČU	Biblioteka poljoprivrednog fakulteta Novi Sad
Važna napomena: VN	Nema

Izvod:

IZ

Učestale smene veoma vlažnih i izuzetno sušnih perioda mogu prouzrokovati značajne negativne posledice na poljoprivredu, životnu sredinu, ekonomiju i na društvo u celini. Strogi zahtevi poljoprivredne proizvodnje i specifičnosti agroklimatskih uslova i samog područja Vojvodine čine ga veoma vulnerabilnim na pojavu viška ili manjka vode. Jasnije sagledavanje vremenske i prostorne pojave viška i manjka vode i procena rizika od njihove pojave moglo bi dovesti do preduzimanja odgovarajućih mera pripreme i ublažavanja negativnih posledica i pre pojave hazardnog događaja.

U ovom radu su kreirane metodologije na osnovu kojih su izvršene procene rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području Vojvodine. Procene rizika dobijene su kombinacijom procena ranjivosti i procena hazarda, a baziraju se na identifikaciji ključnih faktora koji utiču na pojavu suficita i deficita vode, na njihovoj analizi i adekvatnom vrednovanju i uz korišćenje geografskog informacionog sistema. Ključni faktori su odabrani na osnovu njihovog uticaja na samu pojavu ili na ublažavanje efekata suše ili pojave viška vode, na osnovu dostupnosti podataka i na osnovu istraživanja brojnih autora. Vrednovanje faktora ranjivosti je izvršeno objektivnom metodom entropije. Analize hazarda su izvršene savremenim hidrometeorološkim stohastičkim metodama koje sveobuhvatno sagledavaju opasnosti od pojave suše ili viška vode. Rezultati procena ranjivosti, hazarda i rizika su dobijene korišćenjem geografskog informacionog sistema u vidu karata.

Metodologije na osnovu kojih su u ovom radu sprovedene procene rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području Vojvodine, omogućavaju stvaranje uslova za podizanje pripravnosti na pojavu ekstremnih hidrometeoroloških događaja, unapređenje planiranja meliorativnih mera kao i izbor i donošenje optimalnijih odluka vezanih za upravljanje i ulaganje u meliorativne sisteme, a sve u skladu sa načelima i principima održivog razvoja poljoprivrede, vodoprivrede i melioracija.

Datum prihvatanja teme od strane NN veća: 01.04.2011.

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

KO

dr Atila Salvai, redovni profesor  
NO Uređenje, zaštita i korišćenje voda,  
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Mentor:

---

dr Radovan Savić, redovni profesor  
NO Uređenje, zaštita i korišćenje voda,  
Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, Član:

---

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

---

**UNIVERSITY OF NOVI SAD  
FACULTY OF AGRICULTURE**

**KEY WORD DOCUMENTATION**

Accession number:  
ANO

Identification number:  
INO

Document type: Monograph documentation  
DT

Type of record: Textual printed material  
TR

Contents code: PhD thesis  
CC

Author: mr Atila Bezdán  
AU

Mentor: Atila Salvai, PhD, Full Professor  
MN

Title: Water excess and water deficit risk assessment in land  
reclamation area  
TI

Language of text: Serbian  
LT

Language of abstract: Serbian / English  
LA

Country of publication: Republic of Serbia  
CP

Locality of publication: AP Vojvodina  
LP

Publication year: 2014  
PY

Publisher: Author's reprint  
PU

Publication place: Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg D. Obradovica 8  
PP

Physical description: 9 chapters / 176 pages / 26 tables / 74 figures / 146  
references / biography  
PD

Scientific field: Biotechnology  
SF

Scientific discipline: Water Resources Management  
SD

Subject, Key words: Water resources management, land reclamation, risk,  
SKW hazard, vulnerability, agricultural drought, excess water,  
geographic information system

UC 556.532:626.81(043.3)

Holding data: Library of the Faculty of Agriculture of the University of  
HD Novi Sad

Note: none  
N



Abstract:  
AB

Frequent changes of very dry and wet periods can cause significant adverse effects on agriculture, environment, economy and the whole society. Strict requirements of agricultural production and special characteristics of agro-climatic conditions of the Vojvodina region makes it very vulnerable to the occurrences of excess water or drought. A clearer understanding of the temporal and spatial occurrence of excess water or droughts and the risk assessment of their occurrence could lead to taking appropriate measures of preparedness and mitigation of negative impacts before the onset of hazardous events.

In this dissertation, methodologies of risk assessments of water excess and water deficit on the land reclamation areas in Vojvodina were created. Risk assessments were obtained by a combination of vulnerability assessments and hazard assessments, and they are based on the identification of key factors affecting the occurrence of water excess and water deficit, on their analysis and adequate evaluation and by using geographic information systems. Key factors were selected based on their impact on the occurrence or on mitigation of the effects of drought or excess water, on the basis of data availability and based on the research of numerous authors. Valuation of the vulnerability factors is made by objective method of entropy weighting. Hazard analyses were performed by using contemporary hydrometeorological stochastic methods that comprehensively perceive threats of drought or excess water. Assessments of vulnerability, hazard and risk are performed in GIS and results are presented in a form of thematic maps.

Methodologies for risk assessments of water excess and water deficit in land reclamation areas of Vojvodina region, created or modified in this dissertation, allows the creation of conditions for increasing preparedness to extreme hydro-meteorological events, improvement of land reclamation measures planning as well as improvement of selection and decision-making regarding management and investment in the irrigation and drainage systems, all in accordance with the principles of sustainable agriculture, water management and land reclamation.

Accepted on Scientific Board on: April, 1<sup>st</sup>, 2011.

AS

Defended:

DE

Thesis Defend Board:

DB

Atila Salvai, PhD, Full Professor  
Scientific Field - Water Management,  
Faculty of Agriculture, Novi Sad, Mentor:

---

Radovan Savić, PhD, Full Professor  
Scientific Field - Water Management,  
Faculty of Agriculture, Novi Sad, Member:

---

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

---

## SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. CILJ I SVRHA ISTRAŽIVANJA	4
3. HIPOTEZA	5
4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA	7
5. MATERIJAL I METODE RADA	16
5.1. PROCENA RIZIKA	16
5.2. OPIS ISTRAŽIVANOG PODRUČJA	19
Geografski položaj istraživanog područja	20
Klimatske odlike područja	21
<i>Temperatura vazduha</i>	21
<i>Padavine</i>	22
<i>Relativna vlažnost vazduha</i>	23
<i>Insolacija</i>	24
<i>Evapotranspiracija i vodni bilans</i>	24
Reljef i geomorfološke karakteristike Vojvodine	24
Pedološki pokrivač	28
<i>Drenažne klase</i>	30
<i>Irigabilne klase</i>	33
<i>Proizvodne osobine zemljišta</i>	36
<i>Vodna svojstva zemljišta</i>	37
Hidrografija	41
Podzemne vode	43
Zemljišni pokrivač	45
Sistemi za odvodnjavanje	47
Sistemi za navodnjavanje	48
5.3. ANALIZA HAZARDA	49
Standardizovani indeks padavina – SPI	50
Standardizovan index klimatskog vodnog bilansa – SPEI	56
Palfajev indeks suše (PaDI)	61
Vodni bilans područja kao pokazatelj pojave viška vode	64
Metode analize pokazatelja deficita i suficita vode	65
<i>Markovljevi lanci</i>	66
<i>Kriterijumi za odabir odgovarajućeg reda Markovljevih lanaca</i>	71
<i>Testiranje saglasnosti empirijskih i teorijskih distribucija verovatnoća -"fitovanje distribucija"</i>	72
<i><math>\chi^2</math> test</i>	73
<i>Kolmogorov-Smirnov test</i>	74
<i>Anderson-Darling test</i>	75
5.4. OBJEKTIVNO ODREĐIVANJE TEŽINA KRITERIJUMA	
METODOM ENTROPIJE	76
Metoda entropije	76
5.5. GEOGRAFSKI INFORMACIONI SISTEM (GIS)	79
Metod preklapanja slojeva u GIS-u	81
5.6. DALJINSKA DETEKCIJA (REMOTE SENSING)	84

Princip daljinske detekcije	84
Daljinska detekcija u proceni stanja vlažnosti zemljišta	88
6. REZULTATI RADA	94
6.1. PROCENA RIZIKA OD DEFICITA VODE NA MELIORACIONOM PODRUČJU VOJVODINE	94
Procena ranjivosti na sušu	94
<i>Karakteristike pedološkog pokrivača</i>	96
<i>Karakteristike reljefa</i>	100
<i>Način korišćenja zemljišnog pokrivača</i>	104
<i>Potrebe poljoprivrednih kultura za navodnjavanjem</i>	105
<i>Izgrađenost sistema za navodnjavanje</i>	109
<i>Određivanje vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti na poljoprivrednu sušu</i>	109
<i>Karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu</i>	111
Procena hazarda – opasnosti od suše	113
<i>Analiza suše indeksom PaDI</i>	114
<i>Karakterizacija suša u Vojvodini primenom Markovljevih lanaca na vremenske serije indeksa SPI3</i>	119
<i>Karta hazarda – opasnosti od suše</i>	124
Procena rizika od poljoprivredne suše	125
6.2. PROCENA RIZIKA OD SUFICITA VODE NA MELIORACIONOM PODRUČJU VOJVODINE	127
Procena ranjivosti na pojavu suvišne vode	127
<i>Karakteristike pedološkog pokrivača</i>	129
<i>Geomorfološke odlike područja</i>	130
<i>Dubina prve izdani u vanvegetacionom periodu</i>	131
<i>Definisanje područja potencijalno ugroženog viškom vode</i>	133
<i>Određivanje vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti na pojavu suviška vode</i>	133
<i>Karta ranjivosti na pojavu suviška vode</i>	134
Procena hazarda – opasnosti od pojave suviška vode	135
Procena rizika od pojave suviška vode	140
6.3. PRIMENA DALJINSKE DETEKCIJE U PROCENI RIZIKA OD SUFICITA I DEFICITA VODE NA MELIORACIONOM PODRUČJU VOJVODINE	142
Daljinska detekcija u analizi suše	143
Daljinska detekcija u analizi pojave viška vode	148
7. DISKUSIJA REZULTATA	154
Diskusija rezultata procene rizika od deficita vode na melioracionom području Vojvodine	154
Diskusija rezultata procene rizika od suficita vode na melioracionom području Vojvodine	158
Diskusija rezultata primene daljinske detekcije u analizi pojava suficita i deficita vode na melioracionom području Vojvodine	160
8. ZAKLJUČAK	162
9. LITERATURA	166
BIOGRAFIJA	176

## **1. UVOD**

Pojava ekstremnih hidrometeoroloških događaja sve je učestalija, kako u svetu tako i u našim krajevima. Zabeležene su česte smene veoma vlažnih i izuzetno sušnih perioda koje su prouzrokovale značajne negativne posledice na poljoprivredu, životnu sredinu, ekonomiju i na društvo u celini. Region Jugoistočne Evrope, gde se nalazi i Vojvodina, svrstava se u regione veoma ugrožene klimatskim promenama jer se prema trendovima klimatskih promena pored promena prosečnih vrednosti klimatskih elemenata očekuju i sve učestalije pojave klimatskih ekstrema. Kako je u agroklimatskim uslovima Vojvodine poljoprivredna proizvodnja ograničena količinom i raspodelom padavina, česta smena perioda suficita i deficita vode na melioracionom području ima veoma nepovoljan uticaj na uspešnost ove delatnosti.

Odvodnjavanje i navodnjavanje su hidromelioracione mere kojima se otklanjaju negativni uticaji viška i manjka vode. To su dve vodoprivredne delatnosti koje su najneposrednije vezane za zemljište i za poljoprivrednu proizvodnju. One su osnova veće proizvodnje hrane i razvoja poljoprivrede. Vojvodina spada u područja na kojima su melioracije zemljišta neophodne zbog čestih pojava viška vode u vanvegetacionom periodu i manjka vode u vegetacionom periodu. Neadekvatno upravljanje i loše održavanje melioracionih sistema mogu prouzrokovati višestruke štete a da bi se obezbedio razvoj poljoprivrede neophodno je podići stepen upravljanja i održavanja melioracionih sistema na zadovoljavajući nivo. Investiciona ulaganja u sisteme za odvodnjavanje i navodnjavanje su velika a operativni troškovi redovnog održavanja su takođe značajni. Jasnije sagledavanje vremenske i prostorne pojave viška i manjka vode i procena rizika od njihove pojave doprinosi racionalnijem planiranju meliorativnih mera, optimalnom izboru i donošenju pravilnijih odluka o ulaganjima u melioracione sisteme i unapređuje način njihovim upravljanjem.

Rizik od nastanka hazardnih događaja, kao što su pojava suficita i deficita vode, je kombinacija verovatnoće pojave i posledica ostvarenja

hazardnog događaja. Kako se na verovatnoću pojave hazardnih događaja teško može uticati, najveći efekat na smanjenje rizika se može postići smanjenjem ranjivosti. Brojni faktori utiču na ranjivost i osetljivost nekog regiona na pojavu suficita ili deficita vode. Pre svega to su klimatske karakteristike područja, naročito padavine i evapotranspiracija. Ako se posmatra negativan uticaj na poljoprivrednu proizvodnju, veoma su bitne i karakteristike zemljišta, način korišćenja zemljišta, pogodnost zemljišta za navodnjavanje ili odvodnjavanje, dostupnost vodozahvata odgovarajućeg kvaliteta, postojanje sistema za navodnjavanje ili odvodnjavanje, i drugo.

Identifikacijom ključnih faktora i njihovim adekvatnim vrednovanjem može se izvršiti klasifikacija i kartiranje ranjivosti i rizika od pojave suficita i deficita vode. Prostornu analizu ranjivosti i rizika najbolje i najefikasnije je sprovesti korišćenjem GIS-a (geografskog informacionog sistema). Metodologija procene rizika od pojave suficita i deficita vode bazirana na identifikaciji i prostornoj analizi ključnih faktora njihovog nastanka može da pomogne u ublažavanju mogućih neželjenih posledica unapređenjem pripravnosti na pojavu ekstremnih hidrometeoroloških događaja. Takođe, omogućuje se i unapređenje donošenja odluka prilikom planiranja hidromelioracionih mera i radova koji se pre svega odnose na dimenzionisanje sistema i na stepen i dinamiku održavanja sistema, a sve u skladu sa načelima održivog razvoja poljoprivrede, vodoprivrede i melioracija, najboljih praksi upravljanja i sličnih aktuelnih koncepata.

Problematika klimatskih promena, koja se manifestuje sve učestalijom pojavom suša i poplava sa sve izraženijim negativnim posledicama je prepoznata i u evropskom zakonodavstvu, u Okvirnoj direktivi o vodama (Water Framework Directive, WFD) u čijem sklopu se nalaze i direktive o poplavama i politike Evropske unije o suši i nestašici vode (European Commission, 2000; 2007a, 2007b, 2007c). Direktiva o vodama uspostavlja pravni okvir za integralno upravljanje vodnim resursima širom Evrope i osigurava održivo korišćenje vode zasnovano na dugoročnoj zaštiti raspoloživih vodnih resursa. Direktiva o poplavama predstavlja pravni okvir za procenu i upravljanje rizicima od poplava širom EU, u cilju smanjenja negativnih posledica poplava na zdravlje ljudi, životnu sredinu, kulturno nasleđe i privrednu aktivnost. Direktiva zahteva od država članica da kreiraju prve planove upravljanja rizikom od poplava u 2015. godini, koji treba da obezbede adekvatne i koordinirane mere za smanjenje rizika od poplava, što uključuje procene opasnosti i rizika od poplava, kreiranje mapa rizika i planova upravljanja rizikom od poplava. Sa

druge strane, politike Evropske unije o suši i nestašici vode imaju za cilj da dodatno razviju mere adaptacije na očekivano povećanje negativnih efekata nestašice vode i suše u narednim decenijama. One preporučuju izrade planova upravljanja sušama, uspostavljanje evropskog centra za monitoring suše koja treba da deluje kao sistem ranog upozorenja u cilju podizanja pripravnosti i uvođenje mogućnosti korišćenja evropskih fondova za zemlje pogođene dugotrajnim sušama. Ovim direktivama i politikama se podstiču države EU na integralni pristup upravljanja rizicima od poplava i suša kroz realizaciju planova upravljanja rečnim slivovima (River Basin Management Plan, RBMP). Istraživanja sprovedena u ovom radu su u skladu sa navedenim direktivama i politikama EU o vodnim resursima, i mogu biti od značaja prilikom njihove implementacije u našoj zemlji. Posebno mogu biti značajni rezultati procene rizika od poljoprivredne suše, koji su dobijeni istraživanjima sprovedenim i u okviru evropskog projekta "Centar za upravljanje sušom u Jugoistočnoj Evropi" (Drought Management Centre for South East Europe – DMCSEE).

## **2. CILJ I SVRHA ISTRAŽIVANJA**

Sve učestalija i izraženija manifestacija hidrometeoroloških ekstrema tokom prethodnih godina, kao i slične prognoze na globalnom planu za naredni period, nameću potrebu da se efekti ovakvih pojava sagledaju i analiziraju sa više aspekata. Od posebnog značaja, uz izražene negativne efekte, može biti pojava sušnih i prekomerno vlažnih perioda na dominantno poljoprivrednim područjima, kao što je to Vojvodina (preko 75% obradivog zemljišta). Strogi zahtevi poljoprivredne proizvodnje i specifičnosti samog područja čine ga veoma ranjivim na pojavu viška ili manjka vode.

Da bi se donele pravilne odluke prilikom planiranja hidromelioracionih mera potrebno je jasnije sagledati vremensku i prostornu pojavu viška i manjka vode. U tu svrhu predloženim istraživanjem je potrebno utvrditi mogućnosti i izvršiti izbor najprikladnijih postupaka za procenu rizika od pojave suficita i deficita vode koji bi omogućili unapređenje planiranja hidromelioracionih mera na području Vojvodine. Za realizaciju ciljeva potrebno je utvrditi i analizirati najznačajnije činioce koji utiču na ranjivost i rizik od suficita i deficita vode, odnosno utvrditi najznačajnije podatke koji treba da čine prostornu bazu podataka geografskog informacionog sistema i način njihove organizacije u skladu sa realnim zahtevima, podlogama i prethodnim analizama neophodnim za planiranje izbora najracionalnijih rešenja.

### **3. HIPOTEZA**

U dosadašnjoj hidromeliorativnoj praksi, rešavanje problema izazvanih pojavama kao što su poplave od unutrašnjih voda ili poljoprivredna suša, najčešće se svodilo na oporavak od već nastalih šteta a nedovoljno je usmerena pažnja na prevenciju, pripremljenost i rano upozorenje. Na osnovu analize i procene rizika mogle bi se preduzeti odgovarajuće mere pripreme i ublažavanja negativnih posledica i pre pojave hazardnog događaja.

Osnovna hipoteza je da se identifikacijom ključnih faktora koji utiču na pojavu suficita i deficita vode, njihovom analizom i adekvatnim vrednovanjem, uz korišćenje geografskog informacionog sistema može tačnije i sveobuhvatnije izvršiti procena rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području.

Procene rizika će se izvršiti na osnovu procene ranjivosti i procene hazarda. Ranjivost na deficit vode, odnosno ranjivost na sušu na melioracionom području će se proceniti na osnovu ključnih faktora, kao što su karakteristike pedološkog pokrivača, način korišćenja zemljišnog pokrivača, potrebe za navodnjavanjem poljoprivrednih useva i izgrađenosti sistema za navodnjavanje. Težinske vrednosti faktora ranjivosti odrediće se objektivnom metodom entropije. Opasnost od suše (hazard) će se proceniti na osnovu statističke analize meteoroloških pokazatelja suše. Koristiće se matematičke metode kao što su stohastički metod Markovljevih lanaca i metod prilagođavanja teorijske distribucije empirijskoj. Ranjivost na pojavu suficita vode, odnosno ranjivost na pojavu viška vode na melioracionom području će se proceniti na osnovu karakteristika pedološkog pokrivača, geomorfoloških odlika područja, dubine prve izdani u vanvegetacionom periodu i načina korišćenja zemljišnog pokrivača. Opasnost od suše (hazard) će se proceniti na osnovu statističke analize viška vode u zemljištu u vanvegetacionom periodu. Prikupljanje, čuvanje, obrada i prezentacija prostornih podataka koji će se koristiti u procenama rizika izvršiće se u GIS okruženju, a prostorni podaci će biti organizovani po slojevima.



Procena rizika od suficita i deficita vode izvršena na ovaj način doprinela bi racionalnijem planiranju meliorativnih mera, optimalnog izbora i donošenja pravilnijih odluka o ulaganjima u melioracione sisteme i unapređenje načina upravljanja.

## **4. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA**

Poslednjih decenija u svetu je zabeležena sve češća pojava izrazito ekstremnih hidroloških i meteoroloških događaja. Periodi sa velikim količinama padavina smenjivali su se sa sušnim periodima. Prema pojedinim scenarijima može se očekivati dalje zaoštavanje ovakve situacije. Projekcije globalnih klimatskih promena ukazuju da bi krajem 21. veka srednje globalne temperature vazduha mogle biti za 1,1 °C do 6,4 °C veće u odnosu na sadašnje stanje, (IPCC, 2007). Pored trenda rasta temperature vazduha, u regionu Jugoistočne Evrope očekuju se i učestalije pojave klimatskih ekstrema kao što su olujne nepogode praćene poplavama, poplave od spoljnih i unutrašnjih voda, ekstremno visoke temperatura vazduha i pojava suše. Određena neizvesnost i dalje postoji da li se fenomen pojave klimatskih ekstrema može smatrati kao kontinuirani trend ili su poslednje decenije samo jedno dugo razdoblje smenjivanja suvih i vlažnih godina. U suštini, sume godišnjih količina padavina se neznatno smanjuju a nedostatak vode u sušnim mesecima se uravnotežava ukupnim količinama vode tokom kratkih perioda intenzivnih padavina. Česta pojava ekstremnih hidroloških i meteoroloških događaja i česta smena sušnih i vlažnih godina može veoma negativno uticati na proizvodnju hrane, energije, vodosnabdevanje, ljudsko zdravlje i biološku raznovrsnost. Ovo je navelo naučnike da detaljnije istraže trend smene sušnih i vlažnih perioda u cilju poboljšanja njihove prognoze, što bi dovelo i do ublažavanja potencijalnih negativnih posledica (Batini i Benedini, 2000; Falvey i Garreaud, 2006; Kingtse i Schemm, 2008; Deni i sar., 2008; Deni i Jemain, 2009; Dodig i sar., 2006; WWF, 2012).

Proučavanje poplava od unutrašnjih voda od velikog je značaja za područje Vojvodine jer je u prošlosti bila veoma česta pojava plavljenja poljoprivrednog zemljišta. Ove pojave bile su nekad katastrofalnih razmera pa je plavljeno na više desetina i stotine hiljada hektara poljoprivrednih površina. Ovom problematikom su se u svojim radovima bavili brojni autori (Kolaković, 1998, 2003, 2006; Belić i sar., 1995; Škorić, 2000; Božinović i Savić, 2000; Savić, 2000; Milošev i Dedić, 2000; Belić i Zdravić, 2004; Bezdan i sar., 2012b,

Van Leeuwen i sar. 2012; Van Leeuwen i sar. 2013). 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. Pojave suvišnih i štetnih unutrašnjih voda su uslovljene pre svega ekstremnom količinom i neravnomernom vremenskom raspodelom padavina. Zemljišta Vojvodine nalaze se u ravnici na kojoj se problemi odvodnjavanja javljaju zbog slabog oticanja vode po površini terena, čiji ostatak delimično ispari, a najvećim delom se infiltrira u zemljište. Govoreći uopšteno, na području Vojvodine potreba za odvodnjavanjem javlja se na ravnim i plitkim zemljištima, na onim koja leže na nepropusnim slojevima, na plitkim depresijama gde se zadržava voda, na zemljištima na koja dolazi voda sa viših terena podzemnim ili površinskim doticajem, na zemljištima pored reka gde voda za vreme visokih vodostaja filtrira iz reke u priobalje.

Obim i trajanje plavljenja unutrašnjim vodama zavisi od (Milošev i Dedić, 2000) :

- meteoroloških i hidroloških prilika u prethodnim godinama i u godini plavljenja;
- visinskog položaja ugroženog terena - veličine i dubine depresija;
- stepena izgrađenosti sistema za odvodnjavanje;
- svojstava zemljišta;
- načina obrade zemljišta – naročito teška mehanizacija ima nepovoljan uticaj, jer pogoršava vodni režim zemljišta i vremenom se formira takozvani "plužni đon" koji slabo propušta vodu i drugo.

Štetno dejstvo suvišnih unutrašnjih voda odražava se na poljoprivrednu proizvodnju, ali i štete u naseljima, infrastrukturnim i drugim objektima mogu biti takođe vrlo značajne. Plavni tereni mogu dovesti i do pogoršanja higijensko-zdravstvenih uslova za ljude i životinje (povećanje brojnosti štetnih insekata, zagađuju se podzemne vode, izlivaju se septičke jame i sl.).

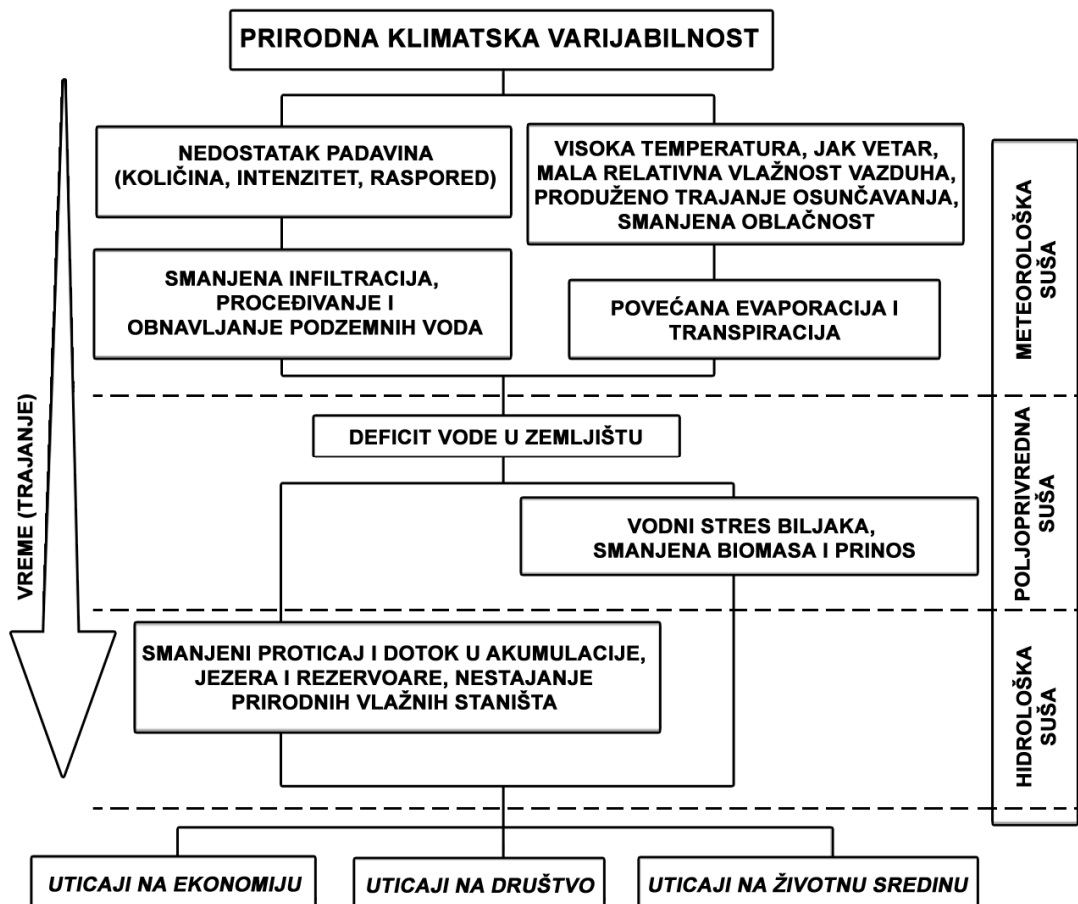
Sa druge strane, suša je u svetskim okvirima prirodna nepogoda koja direktno pogađa najveći broj ljudi. Suša je normalna klimatska pojava ali sve je učestalija pojava sušnih perioda koji imaju značajne negativne posledice na poljoprivredu, životnu sredinu, svetsku ekonomiju i na društvo u celini (Kogan 1997; Wilhelmi i Wilhte, 2002; Wilhite, 2005). Prema dosadašnjim rezultatima

istraživanja, područje Srbije je izloženo čestim pojavama suše (Dragović, 2001; Spasov, 2003; Dodik i sar., 2006). Analizom vremenskih serija godišnjih i sezonskih padavina u Srbiji, utvrđen je trend opadanja godišnjih i prosečnih padavina u vegetacionom periodu. Takođe, prema istraživanjima (Berić i Salvai, 1995; Savić i Salvai, 1997; Savić i sar., 1997; Salvai i Savić 2000; Savić i sar., 2000; Rajić, 2004; Bezdan i sar., 2009; Rajić i Bezdan, 2011; Rajić i Bezdan, 2012; Bezdan i Salvai, 2012) i u Vojvodini se uočava sve učestalija pojava sušnih godina.

Postoji mnogo definicija suše. U suštini, suša je normalna prirodna pojava koja se periodično javlja u gotovo svim klimatskim podnebljima. Javlja se u područjima i sa velikim i sa malim visinama padavina. Suša je privremeno odstupanje od normale za razliku od aridnosti koje je stalna ili dugoročna karakteristika klime i vezana je za oblasti sa malim količinama padavina. Složena međuzavisnost između klimatskih, hidroloških, geoloških, geomorfoloških, ekoloških i socio-ekonomskih faktora čine da se fenomen suše veoma teško može u potpunosti opisati samo jednom univerzalnom definicijom (Pereira i Paulo, 2003). Odsustvo precizne i univerzalno prihvaćene definicije može ponekad stvoriti konfuziju da li suša uopšte postoji i ako postoji kojeg je intenziteta. U praksi, suša je prirodna pojava koja se mora posmatrati prostorno (regionalno), sa više aspekata i razmatrati u više naučnih disciplina. Svako podneblje ima svojstvene klimatske karakteristike tako da se i karakteristike suše razlikuju od regiona do regiona. Suša obično zahvata široka prostranstva ali posledice su različite po pojedinim rejonima. Takođe, pojava suše ima drugačije značenje i prouzrokuje različite efekte posmatrano iz ugla vodoprivrede, poljoprivrede, hidroenergetike, ekologije i dr. Čak u okviru jedne privredne oblasti uticaji suše se mogu znatno razlikovati. Na primer smanjenje prinosa poljoprivrednih kultura usled suše nije podjednako za sve kulture jer ono zavisi od potreba biljaka za vodom, stepena njihove otpornosti na sušu, od nivoa primenjene agrotehnike i vodnog režima zemljišta. Suša se razlikuje od drugih prirodnih katastrofa u tome što je njen početak spor i teško ga je detektovati a njeni efekti se akumuliraju polako tokom znatnog perioda vremena. Suša sama po sebi ne predstavlja katastrofu, a da li će preći u katastrofalni događaj zavisi od njenog uticaja na ljude i životnu sredinu. Dakle, ključ za razumevanje suše je u razumevanju njene prirodne i socio-ekonomske dimenzije. S obzirom na kompleksnost pojave suše, Wilhite i Svoboda (2000) dele definicije suše u dve kategorije, konceptualne i operativne definicije suše. Konceptualne definicije formulišu sušu u opštem smislu i one mogu biti važne u

uspostavljanju politike ublažavanja posledica od suše. Operativne definicije teže da preciznije opišu karakteristike suše kao što su početak suše, trajanje, intenzitet, učestalost pojave u višegodišnjem periodu i druge. Do ovakvih definicija se obično dolazi upoređivanjem trenutnog stanja sa višegodišnjim prosekom. Wilhite i Glantz (1985) klasifikuju sušu na četiri glavna tipa, slika 1:

- meteorološka suša,
- hidrološka suša,
- poljoprivredna suša i
- socio-ekonomska suša.



Slika 1. Veza između različitih vrsta suše (Wilhite i Glantz, 1985)

Prohaska (2006) navodi da se u meteorologiji pod pojmom meteorološka suša podrazumevaju dugotrajni vremenski periodi kada su padavine znatno manje od višegodišnjeg proseka, odnosno kada su te padavine na donjoj granici obezbeđenosti. Pod hidrološkom sušom se podrazumevaju periodi vremena sa

izrazito malim proticajima reka i niskim vodostajima u akumulacijama i jezerima koji dugo traju. U poljoprivredi se pod sušama podrazumevaju periodi u toku kojih je vlažnost zemljišta znatno ispod prosečne i nedovoljna za razvoj poljoprivrednih kultura. U ekonomiji se pod sušom nazivaju periodi izrazito niskih mogućnosti vodosnabdevanja koji ostavljaju značajne negativne posledice na privrednu aktivnost i društveni razvoj.

Kompleksna pojava suše može pojednostavljeno da se prikaže pomoću indeksa suše. Pošto ne postoji jedinstvena definicija suše, nema ni univerzalnog indeksa suše za merenje njene jačine i trajanja. Meteorolozi i hidrolozi razvili su brojne indekse suše, koji se zasnivaju na hidro-meteorološkim parametrima ili na verovatnoći pojave. Indeks suše je numerička vrednost bez dimenzija, ponekad veštačka mešavina vrednosti različitih promenljivih i indikatora, vezana za anomalije padavina i/ili stanje vodnih resursa u izdanima. Postoji težnja za razvojem posebnih indeksa za različite vrste suše i različite klimatske regione i iz tog razloga postoji dosta indeksa, ali nijedan od njih ne može da se koristi univerzalno. Indeksi variraju od sasvim jednostavnih koje koriste samo podatke o padavinama, do složenijih indeksa koji uključuju procenu raspoložive energije za evapotranspiraciju i raspoložive količine vode. Složenost može da se poveća upotrebom parametara koji ne spadaju u meteorološke, poput podataka o zemljištu. Zemljište je jedan od najvećih delova klimatskog sistema za skladištenje vode, pa je stoga važno uključiti ga u analizu suše. Glavni problem vezan za parametre zemljišta jeste njihova velika prostorna promenljivost i nedostatak pouzdanih metoda za prostornu interpolaciju. Indeksi koji se danas u svetu najčešće primenjuju su Palmerov indeks jačine suše (PDSI), Procentualno odstupanje od normale (percentili, PNR), Standardizovani indeks padavina (SPI) i drugi (Hayes, 2004; Benka i sar., 2010; Benka i sar., 2011). U novije vreme, u čestoj su upotrebi i indeksi koji se baziraju na savremenoj tehnologiji daljinske detekcije, kao što su Indeks normalizovane razlike vegetacije (NDVI), Indeks normalizovane razlike vode (NDWI), Indeks stanja vegetacije (VCI), Poboļjšani vegetacioni indeks (EVI), (Nemani i sar. 1997; Ceccato i sar., 2002a, 2002b; Gu, 2007; Karneli i sar., 2010).

Standardizovani indeks padavina (SPI) postao je jedan od najčešće korišćenih "alata" za praćenje suše širom sveta (DMCSEE, 2012). Iako je razvijen u skorije vreme (McKee i sar., 1993), danas je najzastupljeniji u praksi praćenja suše. SPI se zasniva na statističkim tehnikama pomoću kojih se može

odrediti stanje vlažnosti na više vremenskih skala. 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. Obično se u obzir uzimaju padavine tokom 1, 3, 6, 12 ili 24 meseca i porede sa klimatološkim podacima o padavinama. 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).

Veoma je teško prognozirati kada će nastati sušni ili prekomerno vlažni periodi, koliko će biti njihovo trajanje i intenzitet. Od pouzdanosti i uspešnosti prognoze suše ili viška vode u značajnoj meri zavisi planiranje ulaganja i opravdanosti uvođenja sistema za navodnjavanje, dimenzionisanje melioracionih sistema, dimenzionisanje crpnih stanica, određivanje gustine kanalske mreže, planiranje i stepen mera redovnog održavanja i dr. U svojim radovima Weiss (1964), Lohani i sar. (1998), Dobi-Wantuch i sar. (2000), Ochola i Kerkides (2003), Steinemann (2003), Cancellieri i sar. (2006), Paulo i Pereira (2007), Moreira i sar. (2008), Bezdan i sar. (2011) proučavali su primenu pojedinih stohastičkih modela, kao što su Loglinear model i Markovljevi lanci u cilju prognoze nastanka sušnih i prekomerno vlažnih perioda za potrebe sistema rane najave i analize rizika. U ovim radovima upotreba Loglinear modela imala je za cilj modeliranje očekivanih prelaznih verovatnoća između određenih klasa odnosno stanja vlažnosti. Homogenim i nehomogenim Markovljevim lancima proračunavane su verovatnoće pojave različitih stanja vlažnosti, povratni periodi stanja vlažnosti, vreme trajanja određenog stanja vlažnosti i trajanje prvog prelaza u stanje normalne vlažnosti. U nehomogenoj formulaciji Markovljevih lanaca prelazne verovatnoće između stanja zavise od posmatranog meseca dok se u homogenoj formulaciji prelazne verovatnoće procenjuju na osnovu cele serije, bez razlike u mesecima.

Koncept rizika, hazarda i ranjivosti proučavali su brojni autori, Blaikie i sar. (1994), Knutson i sar. 1998, Wilhite (2005), Greiving i sar. (2006), Kumpulainen (2006), Petronijević i sar. (2010) i drugi. Jedna od najjednostavnijih definicija pojma rizika ističe da je rizik proizvod stepena štete uzrokovane određenim događajem i verovatnoće njegovog pojavljivanja. Stepem rizika je mera opasnosti koja se pojavljuje u nekoj situaciji. Prema Thywissen (2006) rizik od nastanka hazardnih događaja je kombinacija verovatnoće pojave i posledica ostvarenja hazardnog događaja i u opštem slučaju se može izraziti kao prostorna funkcija niza kompleksnih parametara (Slika 2):

Rizik = f (Hazard, Ranjivost, Izloženost, Otpornost)



Slika 2. Rizik prikazan kao funkcija 4 parametra (Thywissen, 2006)

Postoji više metoda procene rizika, a jedna od najčešće korišćenih se bazira na tome da je rizik jednak proizvodu hazarda i ranjivosti (Blaikie i sar., 1994).

Hazard se definiše kao potencijalno štetan fizički događaj, pojava ili ljudska aktivnost koji može da prouzrokuje gubitak života, povredu, oštećenje imovine, socijalne ili ekonomske promene ili degradaciju životne sredine (UN/ISDR, 2004). Hazard može biti prirodnog porekla ili prouzrokovan ljudskim aktivnostima nastalih najčešće usled ljudskog nemara. I ranjivost je izuzetno važan parametar koji se koristi u analizi rizika a ukazuje na potencijalnu štetu i na posledice od mogućih neželjenih događaja. Da bi se ublažile moguće negativne posledice hazarda potrebno je unaprediti razumevanje same opasnosti (hazarda) i faktora koji utiču na ranjivost i osetljivost nekog regiona. Cilj analize rizika je da se utvrde preventivne mere i strategije koje će ublažiti negativne posledice budućih štetnih događaja. Strategije ublažavanja posledica najčešće se baziraju na metodologijama analize rizika, koje se sastoje iz dve komponente, procene rizika i upravljanje rizikom. Procena rizika se dalje može podeliti na analizu hazarda i analizu ranjivosti.

Ciklus upravljanja prirodnim katastrofama, slika 3, podrazumeva skup aktivnosti i mera koje se preduzimaju pre i nakon prirodnih nepogoda u cilju oporavljanja, ublažavanja posledica i smanjenja potreba za intervencijom u budućnosti (UNDP, 1992; Wilhite i Svoboda, 2000; Wilhite i sar., 2005).



Aktivnosti koje spadaju u fazu pre pojave prirodne katastrofe su podizanje pripremljenosti, izrada planova ublažavanja posledica, prognoza i rana najava. Aktivnosti koje spadaju u fazu nakon prirodne katastrofe su procena uticaja, brzo reagovanje, mere oporavka i rekonstrukcija.



Slika 3. Ciklus upravljanja prirodnim katastrofama (Wilhite & Svoboda, 2000)

Jedan od glavnih aspekata strategija ublažavanja posledica od suše je procena ranjivosti (Knutson i sar., 1998; Wilhite i Svoboda, 2000; Wilhite, 2005). Cilj procene ranjivosti je da se identifikuju odgovarajuće mere da bi se smanjila ranjivost pre nastanka potencijalne štete od suše. Kartiranje ranjivosti i osetljivosti na sušu je složen i izazovan zadatak, zbog složene prirode pojave suše.

Brojni autori su istraživali procenu ranjivosti na sušu. Autori Wilhelmi i Wilhte (2002) su procenu ranjivosti na sušu na području Nebraske (SAD) bazirali na osnovu načina korišćenja zemljišnog pokrivača, pedoloških karakteristika kao što su dubina soluma (dubina sloja zemljišta iznad matičnog supstrata) i vodna svojstva zemljišta, verovatnoće pojave deficita vlažnosti za potrebe poljoprivrednih biljaka i na osnovu dostupnosti sistema za navodnjavanje. U svojim istraživanjima Bella i sar. (2005) su za područje Mađarske izvršili procenu ranjivosti na sušu korišćenjem faktora kao što su pedološke karakteristike (tip i tekstura zemljišta, sadržaj organske materije, dubina soluma, vodna svojstva), prosečne sume padavina, nivoa podzemnih voda, načina korišćenja zemljišta i karakteristika reljefa (pad terena i ekspozicija). Autori Pandey i sar. (2010b) su za područje centralne Indije izvršili

procenu ranjivosti na sušu na osnovu karakteristika reljefa, načina korišćenja zemljišta, tipa pedološkog pokrivača, raspoloživosti podzemnih i površinskih voda, zahteva za vodom i na osnovu padavinskog režima na istraživanom području. Za područje zapadne Slovenije, autori Slejko i sar. (2010) izvršili su procenu ranjivosti na sušu korišćenjem faktora kao što su količina primljene Sunčeve radijacije, vodnih svojstava zemljišta, načina korišćenja zemljišta, izgrađenost sistema za navodnjavanje i referentne evapotranspiracije. Za područje Vojvodine, autori Bezdan i sar. (2012a) su izvršili procenu ranjivosti na poljoprivrednu sušu na osnovu verovatnoće pojave deficita padavina, karakteristike reljefa (pad terena i ekspozicija), načina korišćenja zemljišta, karakteristika pedološkog pokrivača (količina akumulirane vode, irigabilne klase zemljišta i proizvodne osobine zemljišta) i dostupnosti sistema za navodnjavanje. Pomenuti autori su u svojim istraživanjima proučavali metodologije za procenu ranjivosti od poljoprivredne suše, bazirane na izradi karata ranjivosti korišćenjem GIS (geografski informacioni sistem) tehnologija. Iako su pomenuti radovi prevashodno namenjeni proceni rizika od poljoprivredne suše, metodologije koje su korišćene mogu se primeniti i na procenu rizika od poplava od unutrašnjih voda i biti osnova za planiranje svih meliorativnih mera (O'Brien i sar., 2004; Pandey i sar., 2010a; Chen i sar., 2010).

GIS i daljinska detekcija (Remote Sensing) omogućavaju da se unapredi monitoring poljoprivredne suše i monitoring poplava od unutrašnjih voda. Karte rizika bazirane na GIS-u i daljinskoj detekciji omogućavaju donosiocima odluka, poljoprivrednim proizvođačima i drugima da bolje sagledaju opasnost od suše i prekomerne vlage i da na taj način donesu odgovarajuće odluke koje će ublažiti potencijalne štete (Davies i sar., 1998; Wilhelmi i Wilhte, 2002; Wu & Wilhte, 2004; Huang i sar., 2008).

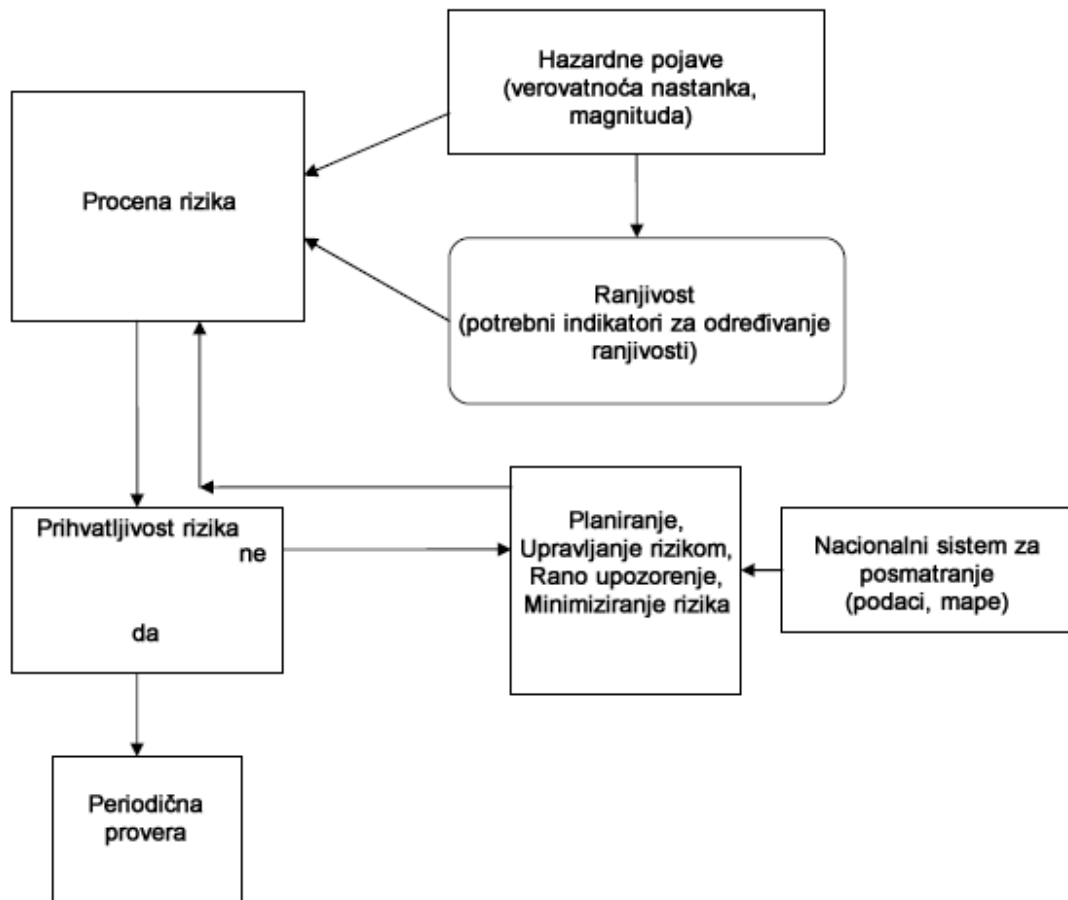
## **5. MATERIJAL I METODE RADA**

### **5.1. PROCENA RIZIKA**

Rizik nastanka određenog događaja (pa tako i prirodnog hazarda) može se definisati kao produkt verovatnoće događaja i posledica koje se javljaju u slučaju nastanka događaja. Verovatnoća događaja zavisi od jačine prirodnog hazarda. Što je jačina prirodnog hazarda veća, to je verovatnoća njegovog pojavljivanja manja. Posledice koje se javljaju u slučaju nastanka hazardnog događaja predstavljaju štete koje se javljaju za ljude i njihovu imovinu. U opštem slučaju rizik se može izraziti kao prostorna funkcija niza kompleksnih parametara kao što su hazard, ranjivost, izloženost, izdržljivost i otpornost. Dakle, rizik zavisi od verovatnoće ostvarenja kao i intenziteta posledica ostvarenja određenog događaja. Mogućnost nastanka rizika može biti učestalo, često, retko ili nikakvo a posledice ispoljavanja rizika mogu biti katastrofalne, kritične, male ili minorne.

Rizik uvek podrazumeva predstavu o mogućnosti da se nešto desi. To znači da informacija "kada" ili "koliko često" ukazuje na to da je reč o riziku. Ovo može biti obuhvaćeno stalnom vezom između štete i učestalosti, ili samo u definiciji povratnog perioda za scenario određenog događaja. Rizik takođe pruža informaciju o tome koliko često ili sa kojom verovatnoćom se može očekivati takav scenario (Thywissen, 2006).

Da bi se adekvatno procenio rizik, moraju se pre svega prikupiti podaci o hazardnim pojavama koje se posmatraju. Za svaku hazardnu pojavu potrebno je imati što veći broj merenja (istorijskih praćenja) da bi se verovatnoća nastanka mogla što tačnije predvideti. Sa druge strane kao važan parametar za procenu rizika jeste analiza ranjivosti. Veoma je važno identifikovati parametre koji utiču na povećanje ranjivosti nekog regiona na hazardne događaje. Na osnovu toga procena rizika odvija se prema dijagramu toka datog na slici 4 (Ćosić, 2010).



Slika 4. Dijagram toka procene rizika (Ćosić, 2010)

Postoji više metoda procene rizika, a jedna od najčešće korišćenih se bazira na formuli koju su predložili Blaikie i sar. (1994) gde je rizik jednak proizvodu hazarda i ranjivosti:

$$\text{Rizik} = \text{Hazard} \times \text{Ranjivost}$$

Da bi se ublažile moguće negativne posledice od budućih štetnih događaja razvijaju se strategije ublažavanja posledica bazirane na metodologijama analize rizika. Kako se procena rizika vrši na osnovu analize hazarda i analize ranjivosti potrebno je unaprediti razumevanje same opasnosti (hazarda) i faktora koji utiču na ranjivost i osetljivost nekog regiona.

Hazard se definiše kao potencijalno štetan fizički događaj, pojava ili ljudska aktivnost koji može da prouzrokuje gubitak života, povredu, oštećenje imovine, socijalne ili ekonomske promene ili degradaciju životne sredine (UN/ISDR, 2004). Hazard može biti različitog porekla: prirodnog porekla ili

prouzrokovan ljudskim aktivnostima nastalih najčešće usled ljudskog nemara. Prirodni hazardi nastaju usled prirodnih fenomena i mogu se podeliti na (UN/ISDR, 2004):

- geološke hazarde (zemljotresi, klizišta, cunami, itd.);
- hidrometeorološke hazarde (poplave, suše, oluje, cikloni, uragani, itd.) i
- biološke hazarde (zagađenje životne sredine, epidemije, napadi štetočina, itd.).

U hazarde prouzrokovane ljudskim aktivnostima spadaju:

- hemijske, industrijske i nuklearne nesreće
- hazardi povezani sa nesrećama (saobraćajne / brodske / železničke nesreće, urušavanje zgrada, šumski požari, itd.)

Treba napomenuti da se pojam "rizika" često poistovećuje sa pojmom "hazard". Na primer, pojava dugog beskišnog perioda u vegetacionoj sezoni može dovesti do realizacije potencijalnih šteta u poljoprivrednoj proizvodnji. Rizik je u ovom slučaju verovatnoća ili šansa da će prirodna opasnost direktno izazvati štetu. Međutim, ukoliko se pravovremeno reaguje izgradnjom sistema za navodnjavanje i primenom odgovarajuće agrotehnike, rizik da će doći do suše može biti manji. Iz prethodno navedenog primera jasno se potvrđuje činjenica da je rizik zavisi od hazarda. Očigledno je da se u vezi hazarda ne može puno učiniti, ali rizici koje hazardi nose u sebi mogu se umanjiti njihovom pravilnom procenom koju bi trebalo da vrše stručnjaci iz različitih oblasti procene rizika.

Ranjivost je izuzetno važan parametar koji se koristi u proceni rizika. Postoje različita tumačenja i definicije pojma ranjivosti u zavisnosti u kom kontekstu se koristi. Ranjivost ukazuje na potencijalnu štetu i promenljiva je koja je usmerena ka napred, i u tom smislu ranjivost omogućava prognozu šta se može desiti određenoj populaciji u uslovima određenog rizika i hazarda (Cannon i sar., 2005). Odrediti ranjivost znači postaviti pitanje šta će se desiti ako određeni događaj utiče na elemente koji su izloženi riziku. U opštem smislu, ranjivost se može definisati kao stepen do koga će sistem verovatno biti oštećen zbog svoje izloženosti hazardu, pritiscima ili stresorima različitog porekla (Turner, 2003). S druge strane, ranjivost se može shvatiti kao interni faktor rizika, matematički izražen verovatnoćom da će posmatrani sistem ili

subjekt biti pogođeni fenomenom koji karakteriše opasnost. Ranjivost ima više dimenzija (fizičku, društvenu, ekonomsku, faktora sredine, institucionalnu i ljudsku) i mnoge od njih se ne mogu lako kvantitativno odrediti. Kompleksnost ranjivosti nije određena samo mnoštvom dimenzija već i činjenicom da je ona zavisna od lokacije i da joj se parametri menjaju sa geografskim parametrima (Ćosić, 2010). Procena ranjivosti se radi u odnosu na različite vrste hazardnih pojava. Broj metoda za procenu ranjivosti je mali, tako da neki sociolozi idu čak i tako daleko da tvrde da se ranjivost uopšte ne može meriti već da se može samo indirektno iskazati (Ćosić, 2010). U većini slučajeva istraživači širom sveta rade na razvoju i testiranju metoda za procenu ranjivosti. U kontekstu globalnih promena (Polsky, 2007) predložena je procena ranjivosti u osam koraka:

- definisanje područja od interesa;
- razumevanje područja od interesa i njegove sadržaje;
- pretpostaviti ko je ranjiv u odnosu na šta;
- razviti uzročni model ranjivosti;
- pronaći indikatore koji će predstavljati komponente ranjivosti;
- odrediti težinske faktore i kombinovati indikatore;
- proceniti buduću ranjivost i
- objaviti rezultate.

## **5.2. OPIS ISTRAŽIVANOG PODRUČJA**

Procena rizika od suficita i deficita vode sprovedena je na melioracionom području Vojvodine. Poznavanje prirodnih uslova područja, kao i poznavanje određenih antropogenih uticaja je veoma značajno za proučavanje pojave suficita i deficita vode. Prirodni uslovi područja Vojvodine, značajni sa aspekta analize ranjivosti, hazarda i rizika, čine pre svega:

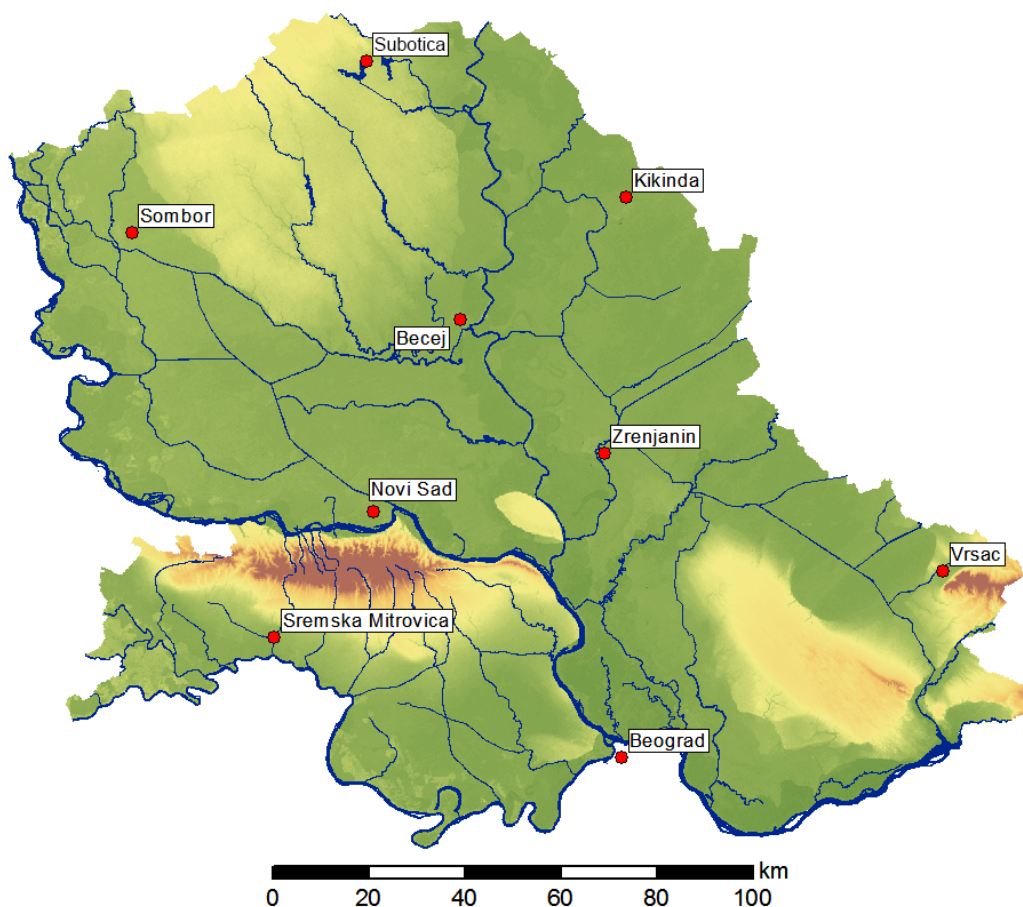
- klimatske karakteristike područja;
- pedološki pokrivač, odnosno svojstva zemljišta;
- stanje zemljišnog pokrivača područja;
- reljef;
- geomorfološke karakteristike područja i
- hidrografske i hidrološke karakteristike.

Najvažniji antropogeni činioci područja Vojvodine značajni sa aspekta analize ranjivosti, hazarda i rizika od pojave suficita i deficita vode čine:

- sistemi za odvodnjavanje i
- sistemi za navodnjavanje

### **Geografski položaj istraživanog područja**

Istraživanjima u ovom radu obuhvaćeno je područje Vojvodine koje se prostire približno između  $18^{\circ} 49'$  i  $21^{\circ} 34'$  istočne geografske dužine i između  $44^{\circ} 37'$  i  $46^{\circ} 11'$  severne geografske širine. Po Gauss–Krüger-ovoj cilindričnoj projekciji je u 6. i 7. sistemu. Obuhvata Bačku, Banat, Srem i jedan deo Mačve oko Mačvanske Mitrovice. Granice istraživanog područja u ovom radu predstavljaju granice digitalne pedološke karte Vojvodine (Benka i Salvai, 2005; Benka i Salvai, 2006). Kako se ona sa južne strane prostire do Save i Dunava, istraživano područje ne sadrži deo teritorije Mačve oko Mačvanske Mitrovice, a sadrži područje Pančevačkog rita u Banatu i područje Novi Beograd – Zemun u Sremu, slika 5. Ukupna površina istraživanog područja iznosi  $22.212 \text{ km}^2$ .



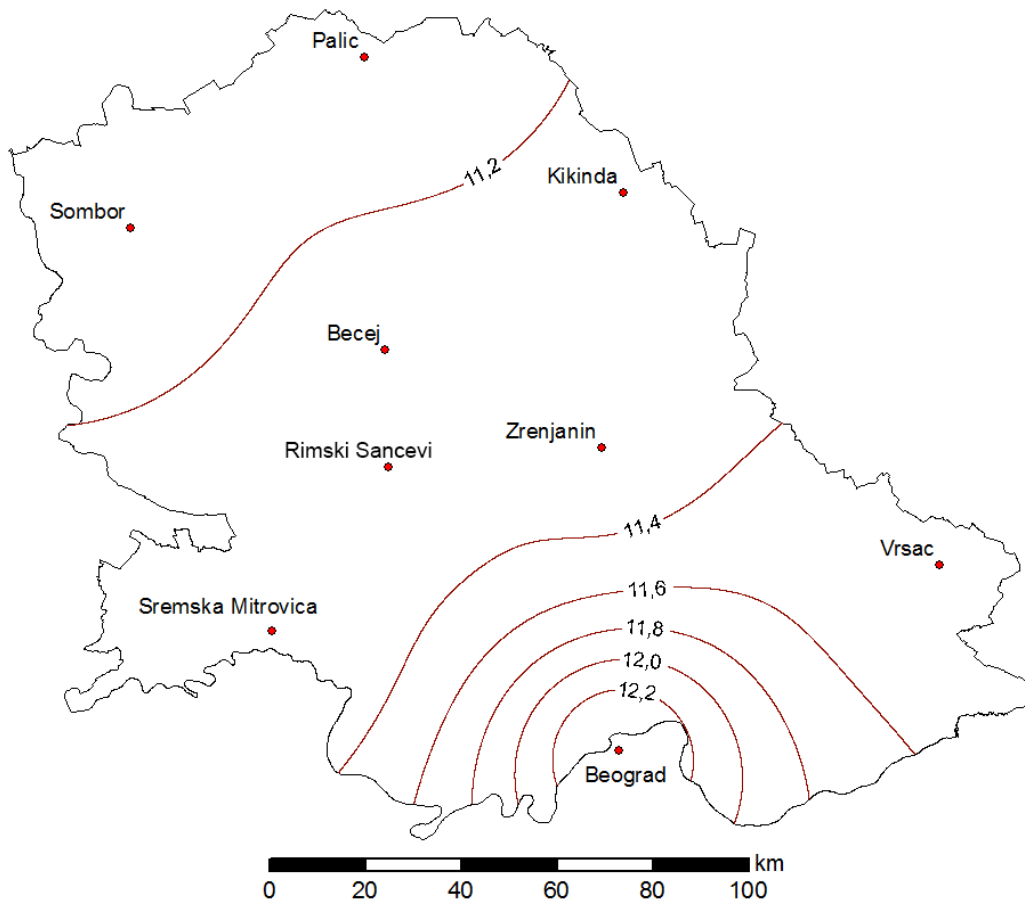
*Slika 5. Istraživano područje Vojvodine*

## Klimatske odlike područja

Klimatske odlike Vojvodine su analizirane na osnovu meteoroloških podataka sa devet meteoroloških stanica Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije. Osam meteoroloških stanica se nalazi na teritoriji Vojvodine (Bečej, Kikinda, Palić, Rimski Šančevi, Sremska Mitrovica, Sombor, Vršac i Zrenjanin) a deveta stanica je meteorološka stanica Beograd. Analiziran je period od 1971. do 2011. godine. Na području Vojvodine vlada umereno kontinentalna klima. Odlike ovakve klime su topla leta i hladne zime, sa godišnjim kolebanjem prosečne mesečne temperature vazduha od 21,5°C (januar – jul). Klimu Vojvodine karakteriše jesen toplija od proleća i oštrij prelaz od zime ka letu nego od leta ka zimi (Salvai i Bezdan, 2012).

## Temperatura vazduha

Na slici 6 prikazana je karta rasporeda prosečnih godišnjih temperatura vazduha. Najniže temperature se javljaju u severnim i severozapadnim krajevima i postepeno se povećavaju ka jugu i jugoistoku Vojvodine.



Slika 6. Prosečne temperature vazduha (°C)



Prosečno najhladniji mesec je januar, sa srednjom temperaturom vazduha u pojedinim mestima od  $-0,4^{\circ}\text{C}$  (Palić) do  $1,4^{\circ}\text{C}$  (Beograd) i prosekom za Vojvodinu od  $0,2^{\circ}\text{C}$ . Najniža srednja mesečna temperatura je  $-9,3^{\circ}\text{C}$  (Vršac, januar 1981. godine). Prosečno najtopliji mesec je jul, sa srednjom temperaturom vazduha od  $21,2^{\circ}\text{C}$  (Vršac) do  $22,6^{\circ}\text{C}$  (Beograd) i prosekom za Vojvodinu od  $21,7^{\circ}\text{C}$ . Najviša srednja mesečna temperatura je  $26,8^{\circ}\text{C}$  (Beograd, avgust 1992. godine).

U vanvegetacionom periodu prosečna temperatura se kreće od  $4,1^{\circ}\text{C}$  (Palić) do  $5,8^{\circ}\text{C}$  (Beograd), i prosekom za Vojvodinu od  $4,6^{\circ}\text{C}$ . U vegetacionom periodu najniža prosečna temperatura je  $17,8^{\circ}\text{C}$  (S. Mitrovica, Sombor), a najviša  $19,0^{\circ}\text{C}$  (Beograd), dok je prosečna vrednost  $18,1^{\circ}\text{C}$ .

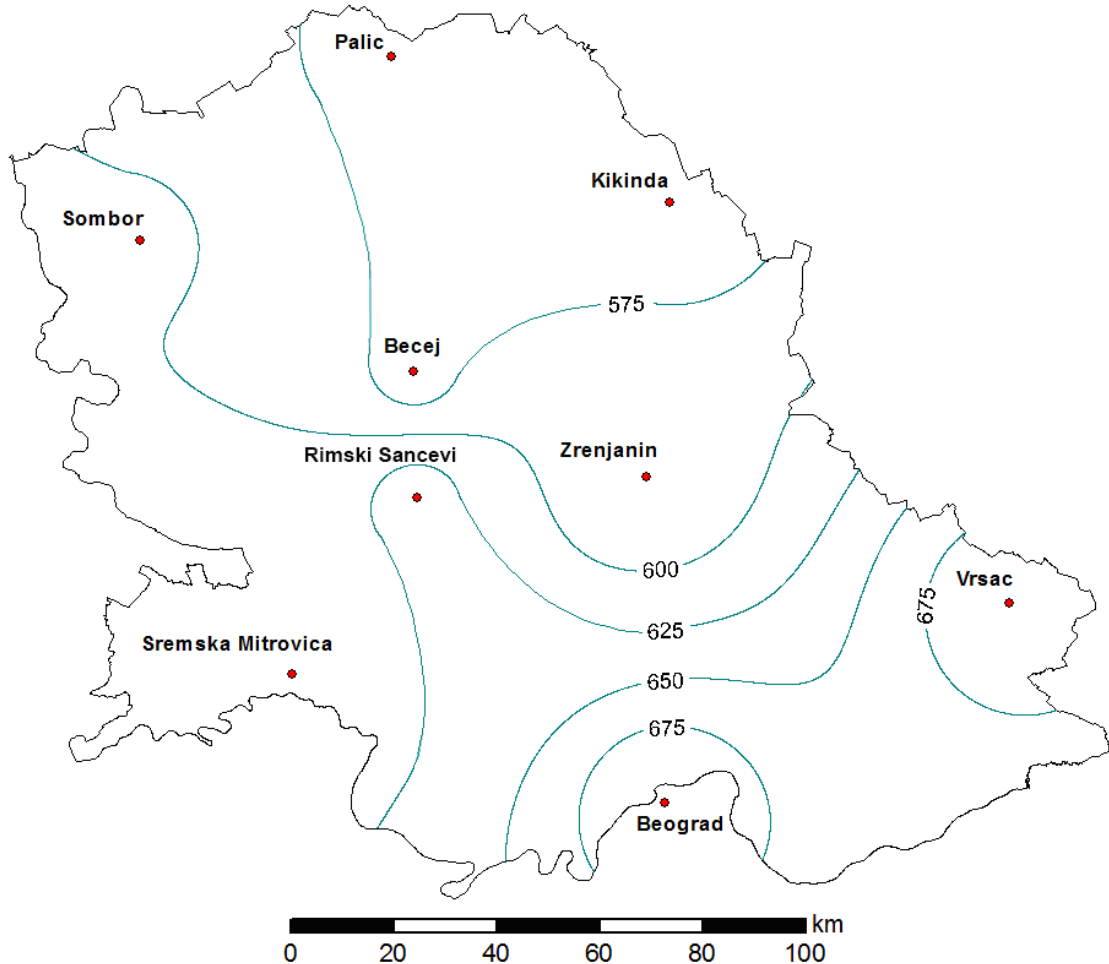
Najniža prosečna godišnja temperatura vazduha je  $11,0^{\circ}\text{C}$  (Palić) a najviša  $12,4^{\circ}\text{C}$  (Beograd). Prosečna godišnja temperatura vazduha u posmatranom periodu za područje Vojvodine iznosi  $11,3^{\circ}\text{C}$ .

### ***Padavine***

Prosečno najviše padavina ima u junu, od 76 mm (Palić) do 98 mm (Beograd), a prosek iznosi 85 mm. Na području Vojvodine može da padne i do 326 mm u julu (Vršac, 1992. godine). Najmanje padavina ima u februaru, od 27 mm (Kikinda) do 41 mm (Beograd), a za celo područje prosek iznosi 32 mm. U Vojvodini mogu da se jave meseci i bez padavina, kao što su april 2007. godine (R. Šančevi, S. Mitrovica), oktobar 1995. godine (S. Mitrovica, Bečej, Beograd), novembar 2011. godine (Bečej, Kikinda, Palić, Vršac) i decembar 1972. godine (Bečej, Kikinda, Palić, Sombor i Zrenjanin).

U vanvegetacionom periodu najmanja prosečna suma padavina je 222 mm (Kikinda), a najveća 294 mm (Beograd), dok je prosek za celo područje 248 mm, ali se javlja u pojedinim godinama i do 533 mm (Beograd, 2009/10. godine), a u minimumu svega 94 mm (Bečej, 1971/72. godine). U vegetacionom periodu prosečna suma padavina varira od 335 mm (Kikinda) do 404 mm (Beograd), a prosečno iznosi 362 mm. U tom periodu može da se javi na nekom lokalitetu i svega 117 mm (Kikinda, 2000. godine), a u maksimumu 742 mm (R. Šančevi, 2001. godine). Prosečna visina godišnjih padavina za Vojvodinu iznosi 608 mm, dok je najmanja 556 (Kikinda), a najveća 696 (Beograd).

Na slici 7 prikazana je karta prosečnih godišnjih visina padavina. Višegodišnji minimum padavina od 223 mm javio se u Kikindi 2000. godine, a maksimum se javio 1999. godine u Beogradu i iznosio je 1051 mm.



*Slika 7. Prosečne godišnje visine padavina (mm)*

### **Relativna vlažnost vazduha**

Relativna vlažnost vazduha je u prolećnim i letnjim mesecima najniža, u aprilu prosečno iznosi 66%, u maju 65%, u julu 66% i avgustu 67%. Najniža srednja mesečna relativna vlažnost od 43% zabeležena je u Somboru juna 2000. godine. Najveća relativna vlažnost je u decembru 85% i januaru 84%, a maksimalna srednja mesečna vlažnost iznosi 95% (Zrenjanin, januar 1995. godine). U vanvegetacionom periodu prosečna vlažnost vazduha je 79%, u vegetacionom 67%, a prosek za celu godinu iznosi 73%.

### ***Insolacija***

Najduže prosečno trajanje Sunčevog sjaja se javlja u letnjim mesecima (jul, 290 časova). Maksimalno trajanje osunčanosti od 392 časova je zabeleženo u Vršcu avgusta 1994. godine. Najkraće trajanje Sunčevog sjaja je u zimskim mesecima (decembar, 59 časa). Najmanja prosečna osunčanost od svega 3 časa je zabeležena novembra 1978. godine na Paliću. Prosečna osunčanost u toku godine iznosi 2077 časova, u vanvegetacionom periodu je 625 časova, a u vegetacionom periodu 1452 časova.

### ***Evapotranspiracija i vodni bilans***

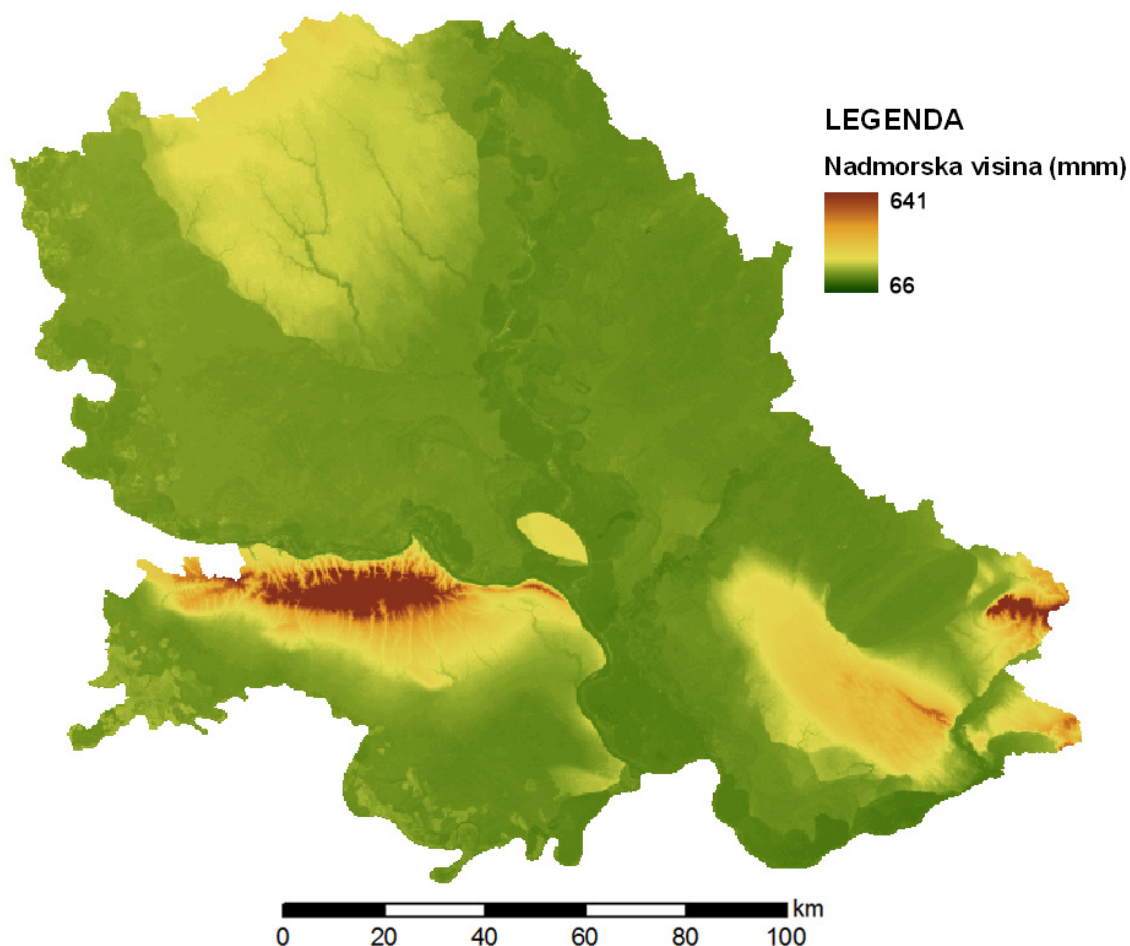
Evapotranspiracija je prikazana kao potencijalna, računata po jednačini Thornthwaite–a. Potencijalna evapotranspiracija (ETP) je u proseku u Vojvodini najniža u januaru, svega 2 mm, a u nekim godinama u januaru, februaru, novembru i decembru jednaka je nuli (na svim stanicama). Prosečna mesečna evapotranspiracija je najveća u julu, 141 mm, a najveća mesečna je 174 mm (Beograd, jul 2007. godine). U vanvegetacionom periodu prosečna ETP na području Vojvodine iznosi 94 mm, u vegetacionom 627 mm, a za celu godinu 721 mm. Veličina prosečne ETP po mesecima i periodima na pojedinim stanicama je veoma ujednačena, a prosečne godišnje vrednosti se kreću od 708 mm (Sombor) do 754 mm (Beograd).

Vodni bilans je računat kao razlika padavina i potencijalne evapotranspiracije. U većem delu godine vodni bilans je negativan. Najveći deficit vlage se javlja u letnjem periodu, u julu 76 mm i avgustu 71 mm. Pozitivan bilans se javlja u zimskom periodu, najveći je u decembru 42 mm. U vanvegetacionom periodu bilans je pozitivan i za područje Vojvodine prosečno iznosi 155 mm, dok je u vegetacionom periodu negativan sa prosečnim nedostatkom padavina od 263 mm. Za celu godinu prosečno se javlja manjak od 109 mm.

### ***Reljef i geomorfološke karakteristike Vojvodine***

Teritoriju Vojvodine, većim delom čini dno nekadašnjeg Panonskog mora. Iz tog razloga reljef Vojvodine je izrazito ravničarski i na niskoj nadmorskoj visini. Današnji reljef Vojvodine je rezultat nabiranja, rasedanja, periodičnog navejavanja lesa, erozivnog procesa reka i padavina (Tomić i sar.,

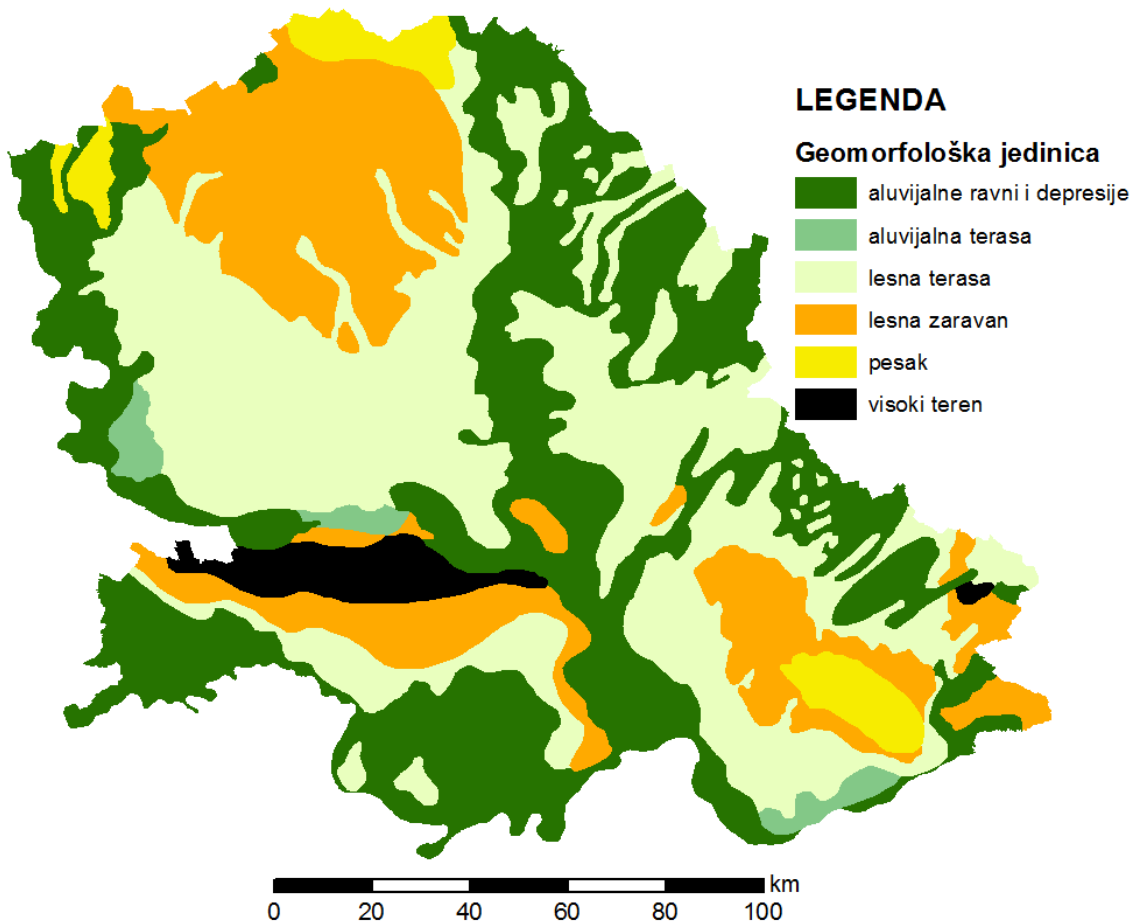
2002). Na slici 8 prikazan je reljef Vojvodine dobijen na osnovu digitalnog modela reljefa SRTM3 (Shuttle Radar Topography Mission, <http://srtm.usgs.gov>) čija je rezolucija oko 90 m.



*Slika 8. Reljef Vojvodine (<http://srtm.usgs.gov>)*

Vojvodina se u reljefnom pogledu ali i sa aspekta stvaranja i odvođenja suvišnih voda deli na sledeće geomorfološke jedinice, slika 9, (VOV, 1985; Mijatović i sar., 1995):

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



Slika 9. Geomorfološke jedinice na području Vojvodine

**Aluvijalne terase i ravni** su hipsometrijski najniži delovi terena u Vojvodini, sa prosečnim nadmorskim visinama ispod +85 m. Glavno hidrografsko obeležje Vojvodine daju rečni tokovi Dunava, Save, Tise, Begeja i Tamiša sa svojim pritokama. Ti vodotoci su u periodu svoje morfološke evolucije menjali korita prosecajući nova, gradeći terase i prostrane aluvijalne ravni. Aluvijalna ravan Dunava je najniža geomorfološka jedinica Vojvodine. Granice prema lesnoj ili aluvijalnoj terasi jasno su izražene. Sava ima razvijenu aluvijalnu ravan, bez rečnih terasa duž leve obale. Duž Tise nema jasno izražene aluvijalne terase. Ravan je vrlo široka i naročito razuđena duž leve obale Tise nastala erodiranjem Banatske lesne terase. Na severu Banata aluvijalna ravan je naročito proširena na ušćima levih pritoka Moriša, Zlatice i Begeja u Tisu. Tamiš nema široku aluvijalnu ravan i ona je jasno odvojena terasnim odsekom visine 2–3 m. Begej nema razvijenu aluvijalnu ravan. Aluvijalne ravni Dunava, Tise, Save, Tamiša, Begeja i drugih manjih vodotoka čine oko 30% područja Vojvodine a sistemima za odvodnjavanje je pokriveno

oko 93% tih površina. Aluvijalne terase se prostiru na oko 2% područja Vojvodine a odvodnjava se 98% površina (VOV, 1985; Mijatović i sar., 1995).

**Lesne terase** Bačke, Banata i Srema zauzimaju oko 37% teritorije Vojvodine (VOV, 1985; Mijatović i sar., 1995). Lesna terasa Bačke je u velikoj meri celovita, u Banatu je isprekidana aluvijonom, a u Sremu predstavlja ostrva između potoka koji silaze sa Fruške gore i aluvijalne ravni Save. Debljina lesa je 2–6 m. Sem na melioracionom području "Severna Bačka", na svim drugim područjima sistemi za odvodnjavanje se nalaze u celini ili delom na lesnim terasama. Oko 94% površine lesnih terasa se odvodnjava.

**Lesne zaravni** Bačke, Banata i Srema zauzimaju oko 25% površine teritorije Vojvodine (VOV, 1985; Mijatović i sar., 1995). Područje, sem u depresijama i dolinama vodotoka (Čik i Krivaja) ne traži intervenciju u pogledu uklanjanja suvišnih voda. Međutim, lesne zaravni daju vodu niželežecim površinama obuhvaćenim odvodnjavanjem, pa se na svim melioracionim područjima (oko 44% ukupne površine) izuzev "Dunava" i "Gornjeg Banata", nalazi u sistemima za odvodnjavanje, odnosno čini deo njihovog sliva.

**Peščare** – Subotičko-Horgoška i Deliblatska peščara zauzimaju oko 3% teritorije Vojvodine (VOV, 1985; Mijatović i sar., 1995). Na melioracionim područjima "Severna Bačka" i "Senta" nalaze se delovi Subotičko-Horgoške peščare obuhvaćeni sistemima za odvodnjavanje, a na melioracionom području "Podunavlje" i "Južni Banat" delovi Deliblatske peščare. Delove Subotičko-Horgoške peščare karakteriše plitak nivo prve izdani dok je na Deliblatskoj peščari ona duboka, pa je na njoj pojava suvišnih voda neizražena.

**Visoki teren** zauzima površinu od oko 4% teritorije Vojvodine (VOV, 1985; Mijatović i sar., 1995). U prostranoj ravničarskoj oblasti Vojvodine izdvajaju se dve planine, čije visine jedva prelaze gornje granice bregova. Fruška gora je planina dužine 78 km, širine 12,5 km i površine oko 500 km<sup>2</sup>, sa najvišom nadmorskom visinom, Crveni čot 539 m. Vršačke planine, u jugoistočnom Banatu su relativno malog prostranstva (172 km<sup>2</sup>), sa najvišom nadmorskom visinom, Gudurički vrh 641 m. Na visokom terenu se ne nalaze sistemi za odvodnjavanje.

## **Pedološki pokrivač**

Struktura pedološkog pokrivača Vojvodine je i pored ravničarskog karaktera njene površine prilično heterogena. Opšta podela zemljišta u Vojvodini se zasniva na karakteru prirodnog vlaženja njegovog profila što je veoma važno se aspekta primene hidromeliorativnih (odvodnjavanje i navodnjavanje) i agromeliorativnih mera. Strukturu pedološkog pokrivača Vojvodine sačinjavaju sledeće velike grupe – redovi zemljišta (VOV, 1985):

**Automorfni red** obuhvata zemljišta čiji se profil vlaži isključivo atmosferskim padavinama pri čemu je proceđivanje vode slobodno, bez dužeg zadržavanja suvišne vode. Prostiru se na oko 51% površine teritorije Vojvodine. Ovu veliku grupu sačinjavaju sledeće podgrupe zemljišta: černoze, gajnjača, humusno-silikatno zemljište (ranker), inicijalna zemljišta, kiselo smeđe zemljište, rendzine i pararendzine, smeđe stepsko zemljište na pesku i smonice terestrične.

**Semihidromorfni red** obuhvata zemljišta koja se prostiru na oko 17% površine teritorije Vojvodine. Ovde spadaju livadske crnice čiji se gornji deo profila vlaži vodom padavina, a donji relativno visokim nivoom podzemnih voda. Ovakav režim podzemne vode pretežno je karakterističan za lesnu terasu, pri čemu se u zoni oscilacije nivoa, na dubini od oko 120 cm od površine terena, javlja glej sivomaslinaste boje.

**Hidromorfni red** obuhvata zemljišta čiji se profil (pretežno u celini) prevlažuje povremeno ili stalno suvišnim vodama atmosferskog, poplavnog i slivnog porekla, a vrlo često uz dodatno vlaženje i podzemnim vodama koje nisu mineralizovane – slane. Pri takvom stanju vlaženja, odnosno prevlaživanja sve su pore ispunjene vodom, što je posledica stagnacije vode u profilu. Hidromorfni red sačinjavaju sledeći tipovi zemljišta: aluvijalna zemljišta, deluvijalna zemljišta, močvarno-glejno zemljište, pseudoglej, tresetno zemljište, ritska crnica i ritska smonica. Prostiru se na oko 27% teritorije Vojvodine.

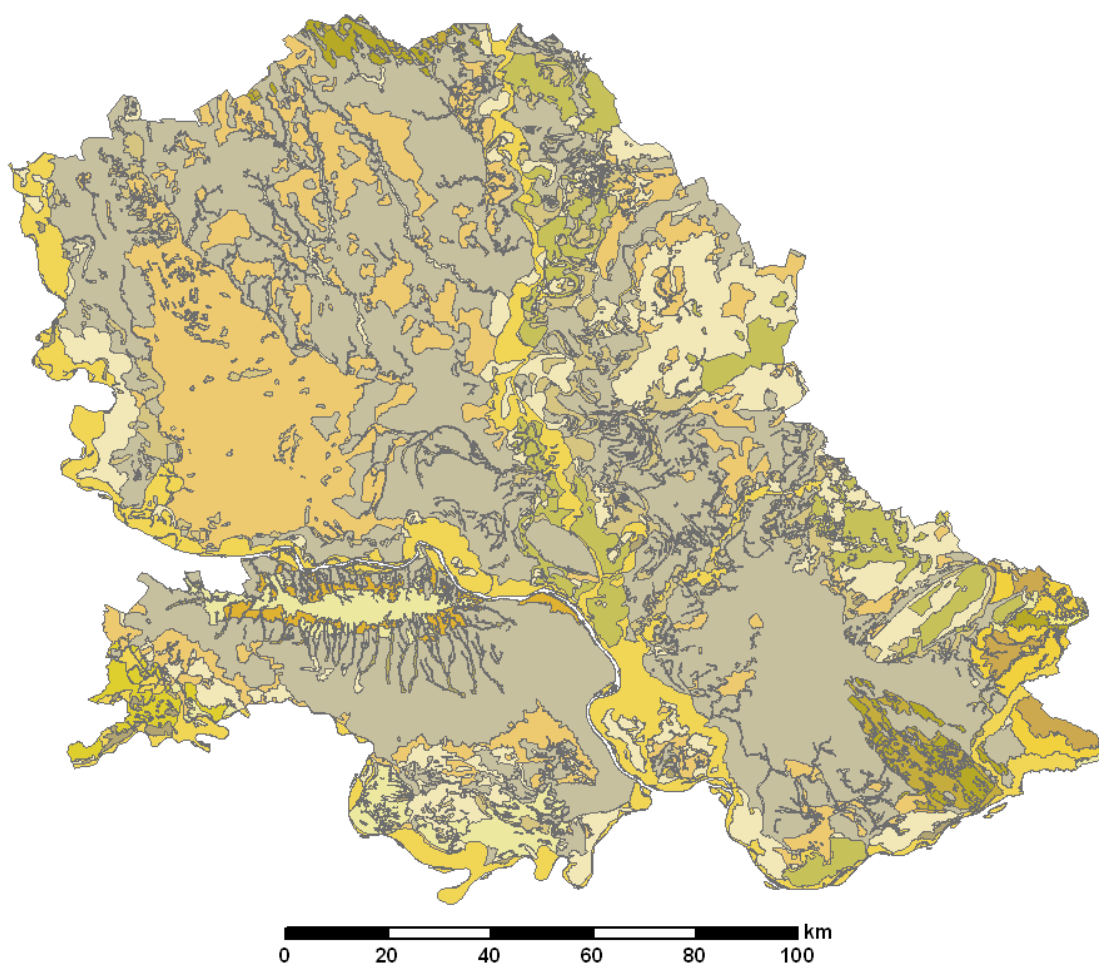
**Halomorfni red (slatine)** obuhvata zemljišta čiji se profil dopunski vlaži slanim i alkalizovanim podzemnim, ređe površinskim vodama. Halomorfni red sačinjavaju: solončak, solonjec i solod. Prostiru se na oko 5% teritorije Vojvodine.

U ovom radu je za potrebe analize ranjivosti i hazarda korišćena digitalna pedološka karta Vojvodine (Benka i Salvai, 2005; Benka i Salvai, 2006) digitalizovana na osnovu Pedološke karte Vojvodine u razmeri 1:50000, izdate od strane Instituta za poljoprivredna istraživanja u Novom Sadu 1971. godine. Digitalizacijom granica tipova zemljišta dobijeno je 3417 poligona sa površinama od 1 do 134.401 ha. Uz poligone je formirana i baza podataka u koju su uneti oznaka, red, naziv tipa, podtipa ili varijeteta zemljišta, drenažna klasa i irigabilna klasa zemljišta. Za potrebe ovog rada, pored pomenutih atributa u bazi podataka, unete su i sledeće karakteristike zemljišta: debljina soluma, tekstura zemljišta (% peska, praha i gline), vodne konstante (poljski vodni kapacitet, tačka venjenja, pristupačna voda, akumulirana voda) i proizvodna vrednost zemljišta. Na pedološkoj karti Vojvodine (slika 10) i u tabeli 1 dat je sažet prikaz vrlo heterogene strukture pedološkog pokrivača.

*Tabela 1. Zastupljenost tipova zemljišta na teritoriji Vojvodine*

Tip zemljišta	Površina (ha)	%
Aluvijalno zemljište	186555	8,4
Černozemi	964700	43,6
Deluvijalno zemljište	16036	0,7
Gajnjača	53697	2,4
Humusno-silikatno zemljište (ranker)	25	0,0
Inicijalna zemljišta	26494	1,2
Kiselo smeđe zemljište	1380	0,1
Livadske crnice	386517	17,4
Močvarno glejno zemljište	15884	0,7
Pseudoglej - lesive	14085	0,6
Rendzine i Pararendzine	16409	0,7
Ritska smonica	107381	4,8
Ritske crnice	253738	11,5
Slatine	114251	5,2
Smeđe stepsko zemljište na pesku	20673	0,9
Smonica na tercijernim glinama	14533	0,7
Smonica na tercijernim glinama ogajnjačena	22252	1,0
Tresetno zemljište (niski treset)	400	0,0





### LEGENDA

#### Tipovi zemljišta

Aluvijalno zemljište	Pseudoglej-lesive
Černozemi	Rendzine i Pararendzine
Deluvijalno zemljište	Ritska smonica
Gajnjača	Ritske crnice
Humusno-silikatno zemljište (ranker)	Slatine
Inicijalna zemljišta	Smeđe stepsko zemljište na pesku
Kiselo smeđe zemljište	Smonica na tercijernim glinama
Livadske crnice	Smonica na tercijernim glinama ogajnjacena
Močvarno glejno zemljište	Tresetno zemljište (niski treset)

Slika 10. Tipovi zemljišta na teritoriji Vojvodine (Živković i sar., 1972)

### 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). Dobro primarno (prirodno) drenirana zemljišta su ona koju vodu padavina raspoređuju unutar svog preseka, bez znatnog uticaja na smanjenje uslova aeracije, pri čemu se zemljište kao porozna sredina oslobađa od zasićenja ili delimičnog zasićenja vodom. Konceptcija dreniranosti zemljišta je vrlo široka i potrebno je uzeti u obzir i njene uže aspekte:

- Površinsko oticanje – spoljna dreniranost zemljišta je u korelaciji sa stepenom i dužinom nagiba terena;
- Interna (unutrašnja) dreniranost zemljišta – svojstvo koje omogućava silazno kretanje suvišne vode, odnosi se na učestalost i trajanje perioda zasićenja zemljišta vodom;
- Vodopropustljivost.

Podela zemljišta je izvršena na osnovu prosečnih graničnih vrednosti njihovih vodni konstanti kao i glavnih hemijskih parametara (Miljković, 2005). Zemljišta u Vojvodini su podeljena na pet drenažnih klasa (slika 11).

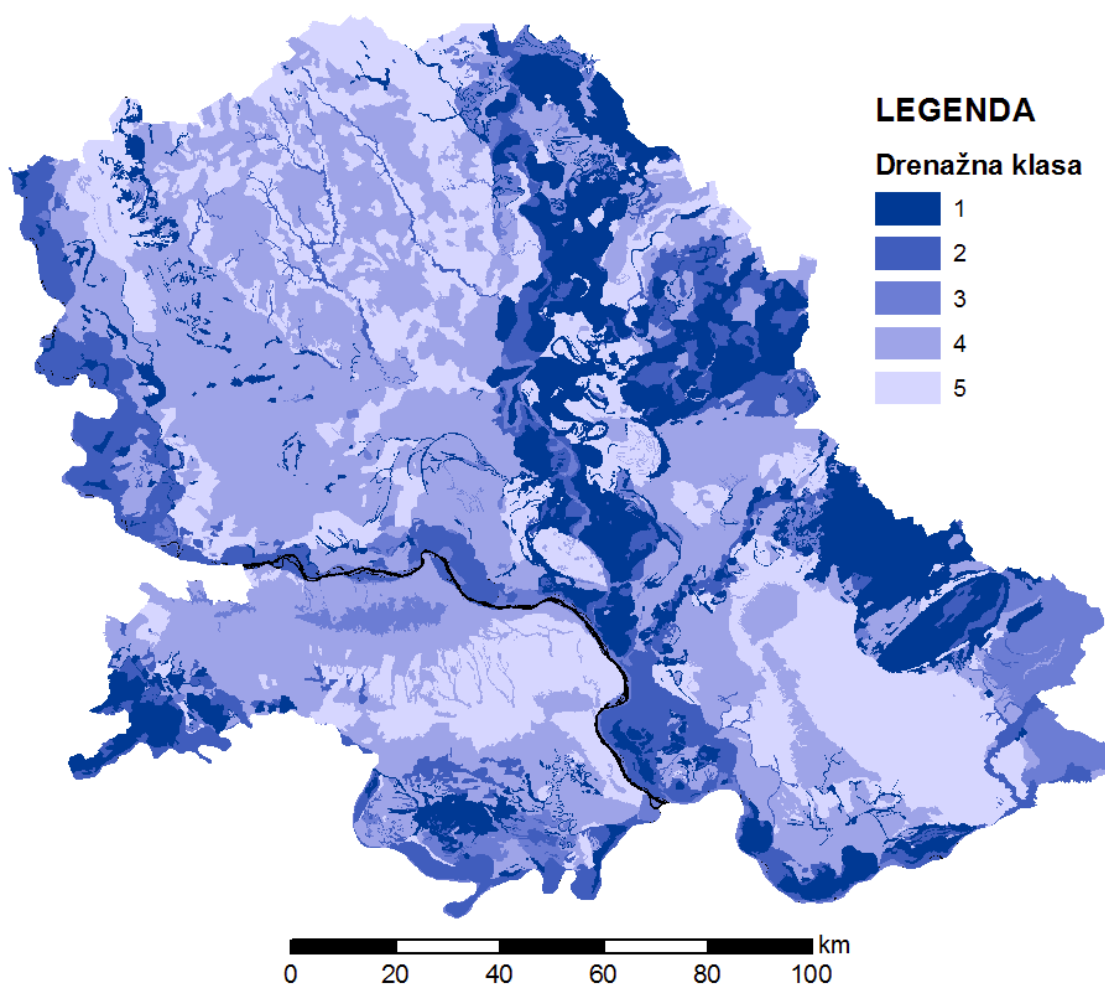
**I drenažna klasa** obuhvata zemljišta koja su prirodno vrlo slabo drenirana, stoga su njihove površine visokog stepena ugroženosti od suvišnih voda. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: solončak, solonjec, ritska crnica (zaslanjena, alkalizovana, beskarbonatna), močvarno-glejno zemljište i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

**II drenažna klasa** obuhvata zemljišta koja su prirodno slabo drenirana, stoga su njihove površine srednjeg stepena ugroženosti od suvišnih voda. 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, stoga su njihove površine umerenog stepena ugroženosti od suvišnih voda. 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, stoga su njihove površine niskog stepena ugroženosti od suvišnih voda. 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, stoga njihove površine nisu ugrožene od suvišnih voda i ne zahtevaju odvodnjavanje (po pravilu su niske kanalisanosti – uglavnom tranzitni kanali). U ovu grupu spadaju černozemi i inicijalna zemljišta. V drenažna klasa se prostire na oko 25% teritorije Vojvodine.



Slika 11. Drenažna sposobnost zemljišta na teritoriji Vojvodine (Miljković, 2005)

### **Irigabilne klase**

Navodnjavanjem se nadoknađuje nedostatak vlage u zemljištu i na taj način se najneposrednije utiče na rast i razvoj biljaka. Efekti navodnjavanja zavise od niza prirodnih uslova, topografskih, hidroloških, hidrohemijskih a posebno od zemljišnih uslova. Faktori koji utiču na irigabilnost i vodni režim zemljišta mogu se ukratko sumirati (Miljković, 2005):

- dubina soluma (u zavisnosti od topografije) koja obezbeđuje određeno vodosnabdevanje u korenovoj zoni i kontrolu erozije u uslovima navodnjavanja;
- uslojenost vertikalnog preseka zemljišta i matičnog supstrata, s obzirom na izotropno i anizotropno kretanje vode;
- prisustvo kompaktnog, masivno-bestrukturnog i/ili cementiranog sloja u profilu.

U cilju detaljnijeg tretmana podele zemljišta prema irigabilnosti navode se svojstva od direktnog i indirektnog uticaja.

**Svojstva direktnog uticaja** su: brzina infiltracije vode, permeabilitet (propustljivost) zemljišta, poljski vodni kapacitet, pristupačna (lako u ukupna) 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 ( $\text{CaCO}_3$ ) u preseku, pH vrednost, prisustvo vodorastvornih soli i adsorbovanog  $\text{Na}^+$  jona u zemljištu i matičnom supstratu.

Zemljište se na osnovu uticajnih faktora može podeliti prema njihovoj pogodnosti za navodnjavanje na:

- irigabilna – zemljišta pogodna za navodnjavanje, čija uža podela sledi;
- neirigabilna – zemljišta koja su apsolutno nepogodna za navodnjavanje. Ovde spadaju plitka zemljišta, na nagibu i/ili u veoma dubokim depresijama, skeletna, kamenita i stenovita zemljišta, često bez biljnog pokrivača. U ovu grupu spadaju:

kamenjar – litosol, rendzine, rankeri, smonica erodirana, gajnjača erodirana, smeđe-šumsko kiselo zemljište, crvenice na erodibilnim položajima. Prostiru se na oko 1% teritorije Vojvodine.

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 navodnjavanjem 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.

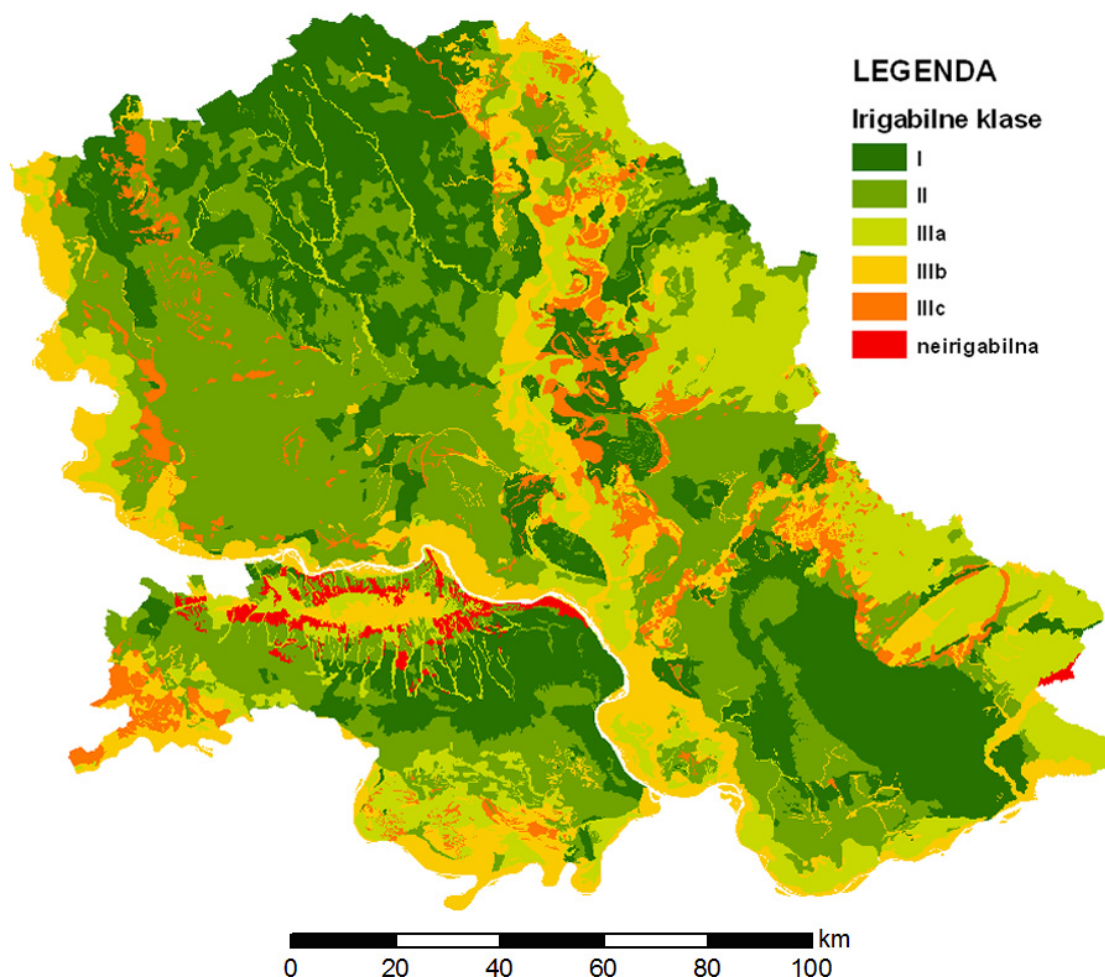
**IIIa klasa** – zemljišta duboka (pretežno hidromorfnog karaktera), koja zahtevaju prethodno odgovarajuće odvodnjavanje otvorenim kanalima ili cevnom drenažom i dubinsko rastresanje nepovoljnih slojeva u profilu. U ovu grupu spadaju sledeći tipovi zemljišta: smonica, gajnjača, aluvijalno zemljište, 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 12 prikazuje pogodnost zemljišta za navodnjavanje na teritoriji Vojvodine.



*Slika 12. Pogodnost zemljišta za navodnjavanje na teritoriji Vojvodine (Miljković, 2005)*

### **Proizvodne osobine zemljišta**

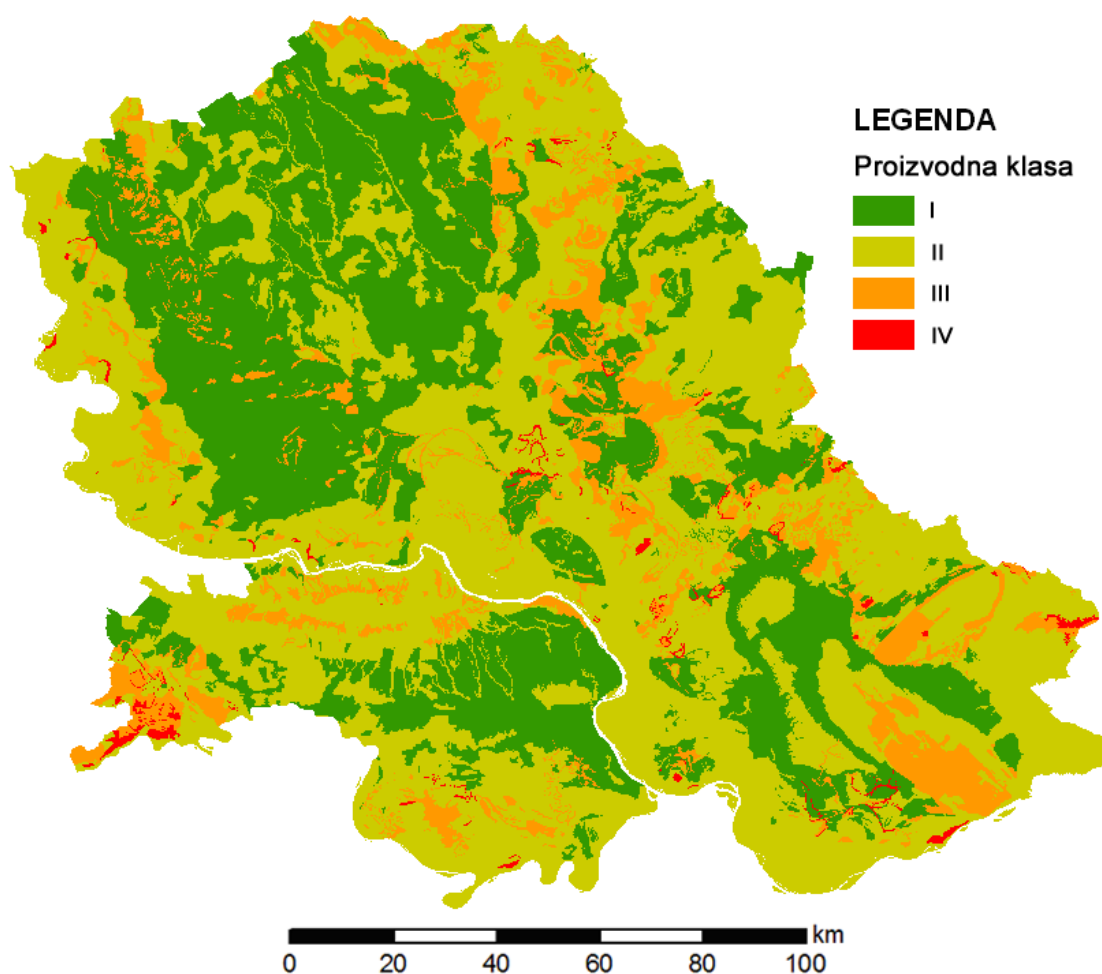
Produktivnost, odnosno plodnost zemljišta je sposobnost zemljišta da daje određenu visinu prinosa. Prema Živkoviću i sar. (1972) produktivnost zemljišta zavisi od sledećih činilaca: osobine zemljišta, klime, sorte kulturne biljke, kvaliteta agrotehnike, organizacije poljoprivredne proizvodnje i drugo.

Kada su klimatske karakteristike, sorte, kvalitet agrotehnike i organizacija proizvodnje jednaki tada produktivnost zavisi samo od osobine zemljišta. Za visoke prinose poljoprivrednih biljaka zemljište treba da zadovoljava tri uslova: da sadrži optimalnu količinu lako pristupačnih hranljivih sastojaka, da ima optimalan udeo vode i da raspolaže optimalnim udelom vazduha. Zadovoljavanje prvog uslova nalazi se u današnje vreme potpuno u mogućnostima čoveka jer se pristupačne hranljive materije, ako ih zemljište nema dovoljno, dodaju u obliku mineralnih đubriva ili stajnjaka. Snabdevanje vodom i vazduhom zavisi samo od osobina zemljišta. Danas su poljoprivredna zemljišta u dobroj meri snabdevena lako pristupačnom biljnom hranom i visina prinosa na njima zavisi od vodno-vazdušnih (fizičkih) osobina zemljišta, a ove zavise od tipa, podtipa, varijeteta i forme zemljišta.

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 kriterijum je za potrebe ovog rada izvršena klasifikacija zemljišta prema proizvodnim osobinama, gde su zemljišta podeljena u četiri klase (slika 13):

- **I klasa** – zemljišta sa najstabilnijom i najvišom proizvodnom vrednošću;
- **II 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 klasa** – zemljišta slabe proizvodne vrednosti, najviše se koriste se za voćnjake, vinograde, pašnjake i šume;
- **IV klasa** – zemljišta vrlo niske plodnosti gde preduzimanje meliorativnih mera nema značaja za biljnu proizvodnju, koriste se za pašnjake ili šume.





Slika 13. Proizvodne osobine zemljišta Vojvodine (Živković i sar., 1972)

### **Vodna svojstva zemljišta**

Zemljište kao porozni sistem ima sposobnost da prima, zadržava i da obezbedi kretanje vode kroz vertikalni presek. Voda je u zemljištu dinamički činilac i podleže prilivu i gubicima. Sposobnost zemljišta da reguliše stanje vlažnosti u odnosu na potrebe i zahteve biljaka naziva se vodni režim zemljišta (Molnar i Milošev, 1995). Vodni režim zemljišta je kompleksna pojava i obuhvata različite procese kao primanje vode od padavina, oticanje vode, infiltraciju, filtraciju, zadržavanje vode, pristupačnost vode, kretanje, isparavanje, kondenzacija vodene pare, priliv iz podzemne vode i sl.

Biljke se snabdevaju vodom iz zemljišta koje se javlja kao posrednik između biljke i klime. Važno je da zemljište obezbedi ravnomerno pritanje vode za potrebe biljaka. Sa agronomskog stanovišta veoma je bitno u kojoj meri



zemljište može da obezbedi stalnost u snabdevanju biljaka vodom. Povoljna su ona zemljišta koja imaju takav vodni režim koji i pri neurednom primanju vode mogu da obezbede ravnomerno snabdevanje biljaka vodom.

Osnovni oblici vode u zemljištu su: hemijski vezana voda, higroskopna, opnena, kapilarna, gravitaciona i voda u obliku vodene pare. Izdvajanje svih kategorija i oblika vlage u zemljištu zasniva se na činjenici da svaka od njih gradi određene međudnose sa čvrstom fazom zemljišta. Stoga se kod čvrste faze poroznih sredina zemljišta i podloge razlikuje niz vodnih svojstava koja se mogu kvantitativno karakterisati. Kvantitativna karakteristika vodnih svojstava predstavlja vodne konstante zemljišta (Miljković, 2005). Voda u zemljištu, njeno zadržavanje, kretanje i pristupačnost biljkama može da se izrazi vodnim konstantama. Pri jednoj vodnoj konstanti u zemljištu je uspostavljena određena ravnoteža vlažnosti, tj. odgovarajuća snaga držanja vode. Međutim, količina vode nije ista kod različitih zemljišta pri istoj vodnoj konstanti. Ona zavisi od svojstava zemljišta, prvenstveno od mehaničkog sastava, sadržaja humusa kao i primenjene agrotehlike i dr. Vodne konstante pokazuju sadržaj određenih kategorija vode u zemljištu i njene kvantitativne karakteristike u određenim uslovima uspostavljene ravnoteže (Bošnjak, 1999). Postoje brojne vodne konstante ali se u praksi najčešće koriste poljski vodni kapacitet, vlažnost venjenja i lentokapilarna vlažnost.

**Poljski vodni kapacitet (PVK)** je najveća količina vode koju jedno zemljište može da sadrži u sebi, posle ocedivanja gravitacione slobodne vode, pod uslovom da je nivo podzemne vode dubok i da nema kapilarnog vlaženja. PVK predstavlja gornju granicu vlažnosti zemljišta i osnova je za sprovođenje racionalnog zalivnog režima u praksi navodnjavanja. Služi za obračun norme zalivanja, tj. količinu vode koju treba dati jednim zalivanjem da bi se predzalivna vlažnost zemljišta u sloju aktivne rizosfere podigla na nivo PVK. Osnova je za određivanje tehničkog minimuma vlažnosti, tj. donje granice optimalne vlažnosti zemljišta za pojedine biljne vrste, koja se izražava u procentima u odnosu na PVK. U zavisnosti od fizičkih svojstava zemljišta PVK varira u širokim granicama kod peska i peskovitih zemljišta 4-10%, peskuša 10-20%, lakših i srednjih ilovača 20-30% i težih ilovača i gline 30-40%. Organska i tresetna zemljišta imaju znatno veće vrednosti 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.

**Lentokapilarna vlažnost** odvaja lako pokretnu od teže pokretne vode u zemljištu. Kod lentokapilarne vlažnosti voda se drži snagom od oko 6,25 bara. Od ove vlažnosti naniže prestaje normalo snabdevanje biljaka vodom. Ako nedostatak vode potraje duže u zavisnosti od faza razvića dolazi do manjeg ili većeg smanjenja prinosa.

Vodne konstante zemljišta se najrealnije određuju na terenu u poljskim uslovima ili laboratorijskim metodama. Međutim, na osnovu brojnih istraživanja autori Saxton i sar. (1986) izveli su formule pedotransfera koje omogućavaju određivanje vodnih konstanti na osnovu fizičkih karakteristika zemljišta. Formule pedotransfera za snagu držanja vode u zemljištu u opsegu od 10 - 1500 kPa glase:

$$\psi = A\Theta^B$$

$$A = e^{\left[ -4,396 - 0,0715(\%C) - 0,000488(\%S)^2 - 0,00004285(\%S)^2(\%C) \right]} \cdot 100$$

$$B = -3,14 - 0,00222(\%C)^2 - 0,00003484(\%S)^2(\%C)$$

gde su:

$\psi$  - snaga držanja vode u zemljištu (kPa);

$\Theta$  - sadržaj vode u zemljištu ( $m^3/m^3$ );

$A, B$  - koeficijenti;

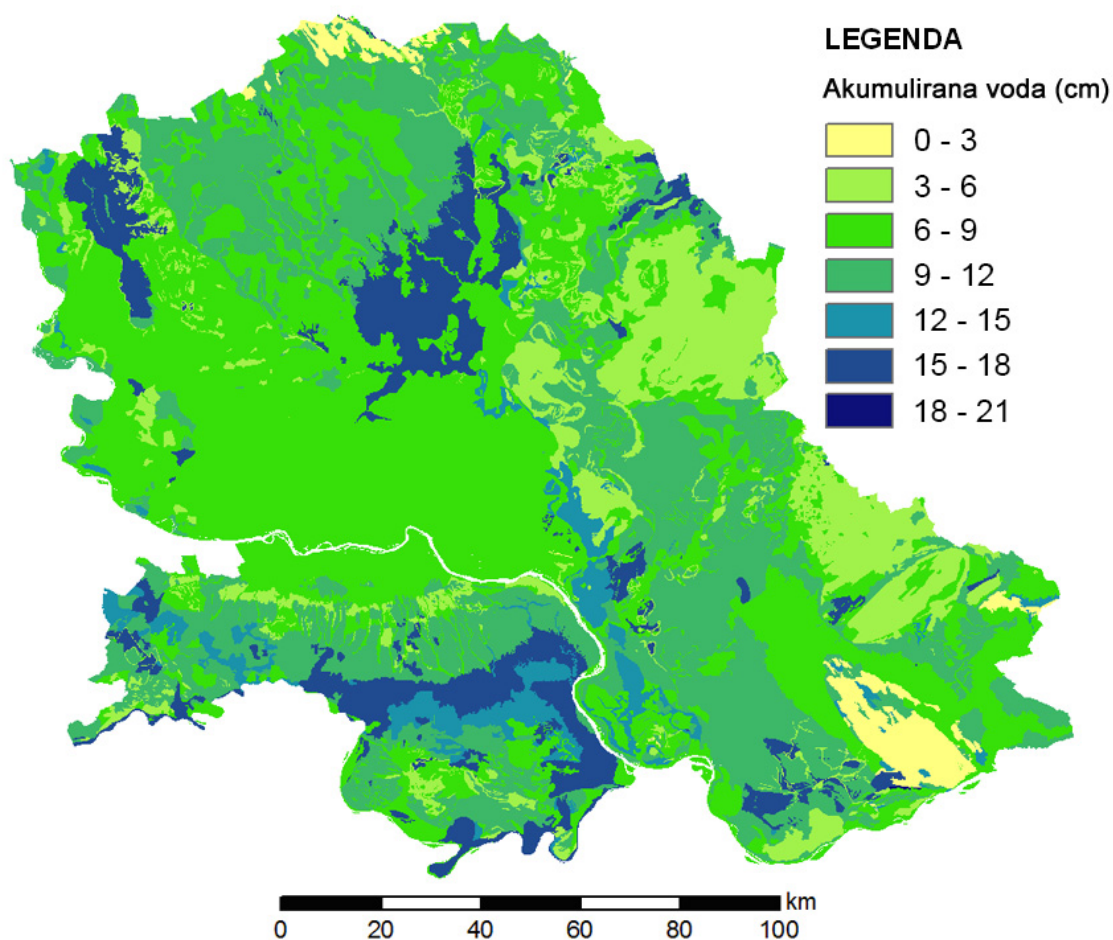
(%S) - procentualni sadržaj peska;

(%C) - procentualni sadržaj gline.

Sa agronomskog stanovišta najvažnija je voda koju biljka može da usvaja, a to je pristupačna voda odnosno akumulirana voda. 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. Ilovače, zemljišta uravnotežene strukture imaju najveći sadržaj pristupačne i akumulirane vode i na njima usevi manje trpe od posledica suše, čak i u uslovima lošije agrotehnike.

Za potrebe ovog rada, vrednosti vodnih konstanti PVK i tačke venjenja određene su 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 preuzeti iz literature (Živković i sar., 1972) a kreću se u opsegu od 10 cm do 150 cm. Na karti na slici 14 prikazane su količine akumulirane vode po tipovima zemljišta na teritoriji Vojvodine.



*Slika 14. Količina akumulirane vode (cm) po tipovima zemljišta na teritoriji Vojvodine*

## **Hidrografija**

Vojvodina je bogata površinskim i podzemnim vodama. Prema gustini rečne mreže i proticaju, Vojvodina se nalazi u samom vrhu Srbije i Evrope. Ona ima 3 velike reke, 20 manjih reka, blizu 50 potoka na Fruškoj gori, preko 20 potoka na Vršačkim planinama kao i kanalsku mrežu hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav (DTD). Pored toga, Vojvodina ima više jezera, veći broj mrtvaja, bara i močvara.

Uloga vodotoka, naročito velikih, u vodnom režimu je velika. Svojim vodostajima i protocima utiču na poplave, plovidbu, snabdevanje vodom, na prvu izdan i drugo. Delovanjem na prvu izdan utiču i na zemljište, a taj uticaj se ogleda ili na položaj nivoa prve izdani i njegove promene ili preko količina vode koje se kreću iz vodotoka u prvu izdan i obrnuto. Uticaj vodotoka je naročito dominantan na hidrološki režim priobalja u rečnim ritovima. To je takođe imalo presudan uticaj na formiranje tipova zemljišta i njihovih svojstava, kao i na promene režima prve izdani.

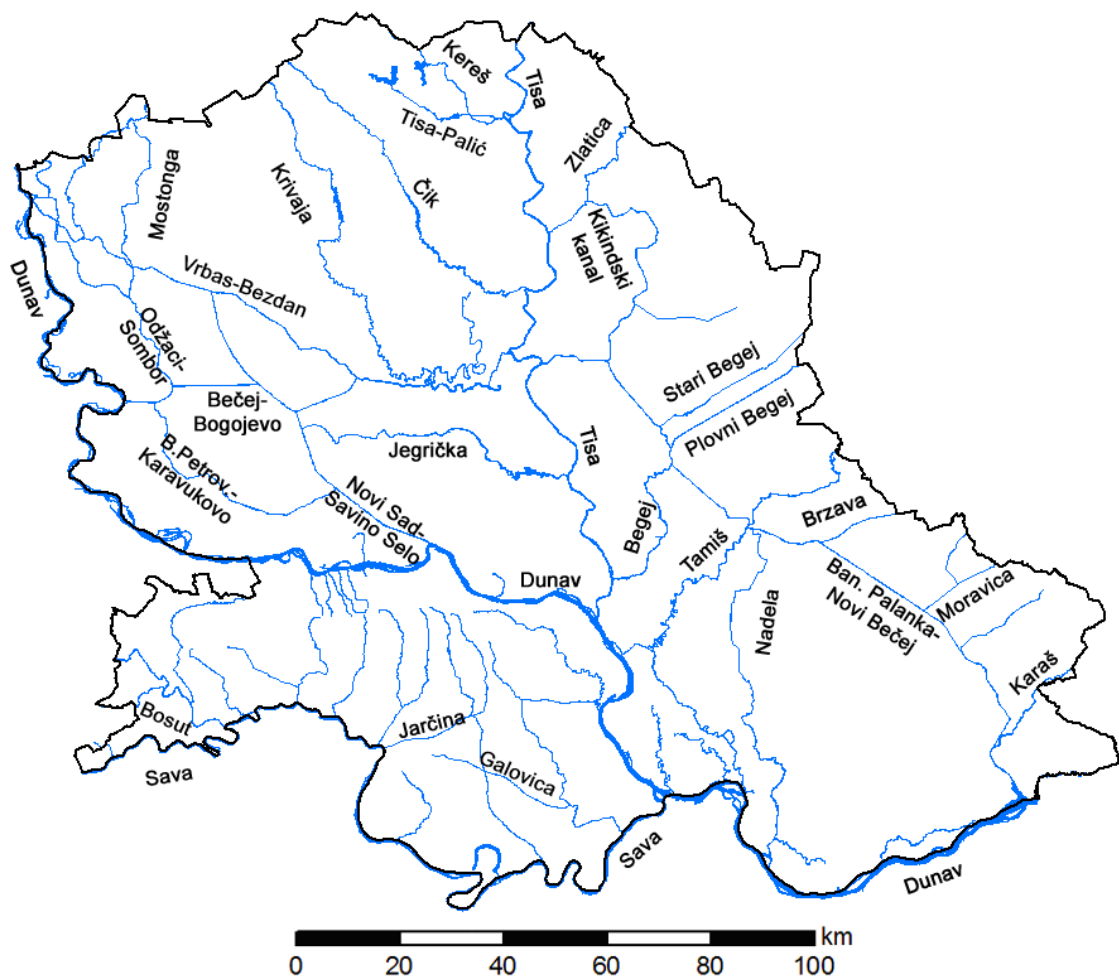
Hidrografiju Vojvodine karakterišu prirodni vodotoci – velike i male reke, potoci i jezera i veštački vodotoci – OKM HS DTD, kanali DKM i akumulacije na Dunavu i Tisi i male akumulacije na Fruškoj gori i severu Bačke (slika 15).

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. Mnogi od ovih vodotoka izmenili su svoj prirodni režim uključenjem u hidrosistem Dunav–Tisa–Dunav. Svi vodotoci su recipijenti suvišnih voda, a Dunav i Tisa predstavljaju izvorišta za snabdevanje vodom sistema kanala DTD. Opšta karakteristika vodotokova Vojvodine je mali pad, miran tok sa povremenim visokim vodostajem i proticanjem.

Osnovna kanalska mreža hidrosistema Dunav-Tisa-Dunav (OKM HS DTD), je koncipirana tako da jedinstveno rešava vodoprivredne probleme srednje i južne Bačke i Banata. Usvojena je koncepcija nisko položene kanalske mreže, koja je izgrađena na niskim mestima reljefa. Ovako postavljena trasa kanala velikih dimenzija treba da omogući što veće odvodnjavanje područja gravitacijom i da utiče povoljno na nivo prve izdani. Ukupna dužina magistralnih kanala iznosi 930 km, od čega je u Bačkoj 421 km i u Banatu 509 km, zajedno

sa delovima prirodnih vodotoka koji su regulacionim radovima izgubili karakter prirodnih reka (Zlatica, Jegrička i druge). Sistem kanala podeljen je tako da se u pojedinim delovima sistema, bazenima, održava dirigovani vodni režim, u pogledu proticaja i vodostaja. Ukupno ima 12 bazena, a međusobno su odvojeni ustavama.

Hidrografiju površinskih voda dopunjuju i jezera. To su: Paličko, Ludoško, Belocrkvansko, Carska bara i Obedska bara, akumulacija Krivaja kod Bačke Topole, Provala kod Vajske, Borkovačka akumulacija kod Rume i druga.



Slika 15. Hidrografska karta Vojvodine (JVP "Vode Vojvodine")

## **Podzemne vode**

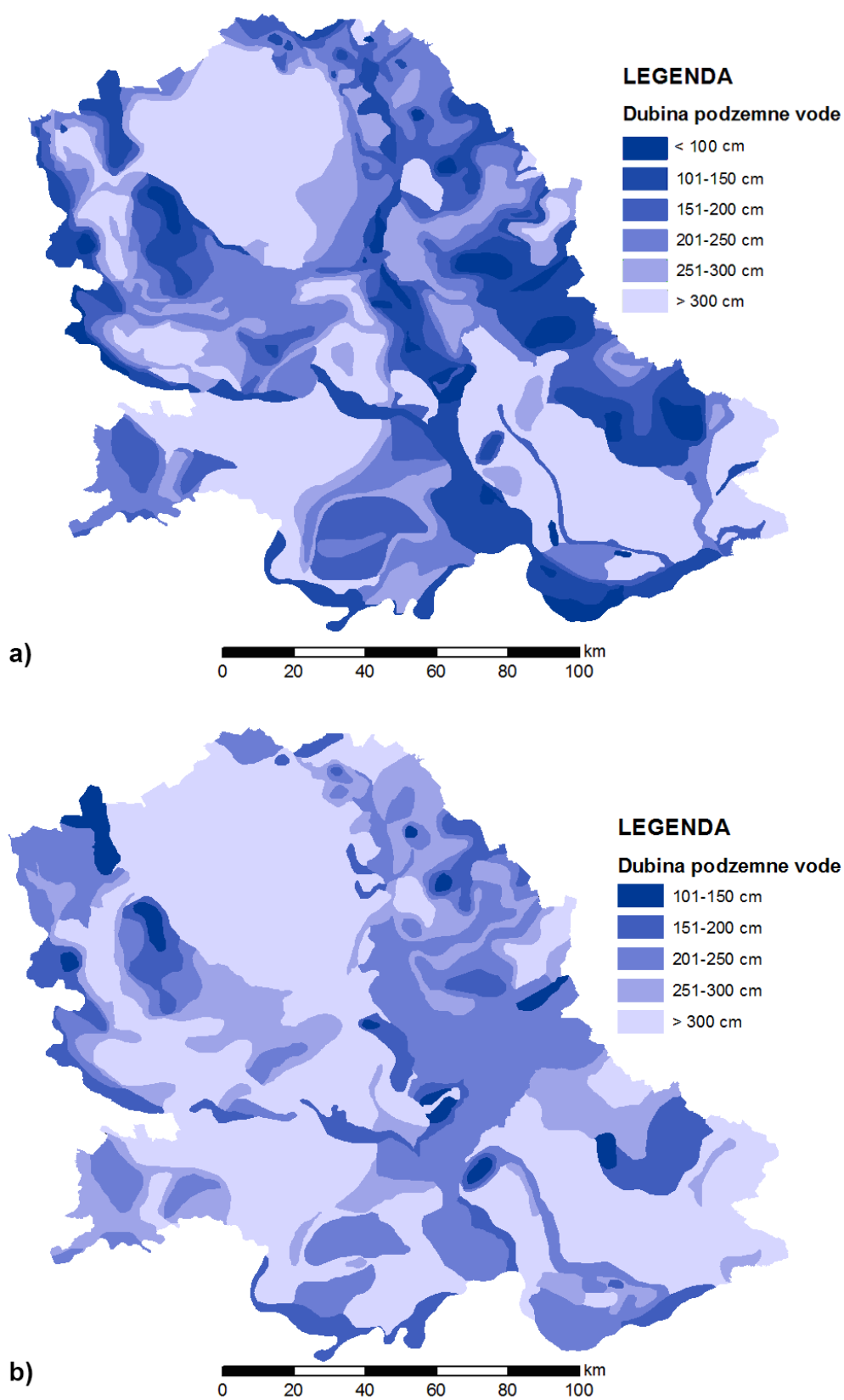
Podzemne vode su sastavni deo ukupnih vodnih resursa (Putarić, 1994). Izdani su formirane u hidrogeološkim kompleksima koje čine kolektori i izolatori. Najplića izdan je prva izdan koja se nalazi u kvartarnim tvorevinama i aluvijalnim sedimentima među kojima se u litološkom pogledu izdvajaju: šljunak, pesak, lesoidi, les, eolski pesak i sedimenti aluvijalnih ravni reka. Položaj i promene nivoa prve izdani na području Vojvodine razlikuju se po njenim geomorfološkim jedinicama.

Hidrogeološki odnosi su složeni i bitno različiti na pojedinim delovima terena. Prve izdani u dolinama reka Dunava, Save, Tise i Nere formirane su u pesku i peskovitom šljunku. Debljina vodonosnih sredina je različita i kreće se od 5-10 m u dolini Tise, do preko 50 m u zapadnom Sremu i delovima južnog Banata.

Režim prve izdani u zavisnosti od činilaca, prirodnih ili veštačkih, može se svrstati u više tipova (VOV, 1985):

- klimatski tim (najuticajniji su klimatski činiooci) nalazi se na lesnoj terasi i lesnoj zaravni, pa i u peščarama;
- hidrološki tip (u neposrednoj blizini velikih vodotoka) javlja se na aluvijalnoj ravni u branjenom delu terena;
- klimatsko-hidrološki tip (na prelazu uticaja klimatskih i hidroloških činilaca) nalazi se na aluvijalnoj ravni, aluvijalnoj terasi i na prelazima iz jedne u drugu geomorfološku jedinicu;
- klimatsko-antropogeni ili hidrološko-antropogeni javljaju se (u svim geomorfološkim jedinicama) pod uticajem izvršenih radova na vodotocima i na zemljištu (melioracioni i drugi).

Režim podzemnih voda prve izdani u Vojvodini formira se praktično pod uticajem pojedinih klimatskih i hidroloških faktora. Kvantitativne veličine pojedinih faktora (klimatski i hidrološki) u zavisnosti su od lokalnih hidroloških karakteristika terena. Prosečne dubine prve izdani na teritoriji Vojvodine u vegetacionom i vanvegetacionom periodu su prikazane na slikama 16a i 16b. Podzemne vode prve izdani su hidraulički povezane sa prvim izdanima u području rečnih dolina i na 80% teritorije Vojvodine direktno je pod uticajem klimatskih faktora (Putarić, 1994).



Slika 16. Dubine prve izdani na teritoriji Vojvodine u (a)vegetacionom i (b)vanvegetacionom periodu, prosek od 20 god. (1965 – 1985), Putarić (1994)

## Zemljišni pokrivač

Raznovrsnost prirodnih uslova u Vojvodini pruža različite mogućnosti korišćenja zemljišta kao prirodnog resursa. Inventar zemljišnog pokrivača postaje sve značajnija informacija u vremenu u kome se naglo podiže svest o ograničenosti životne sredine i prirodnih resursa. U ovom radu korišćeni su podaci CORINE Land Cover 2006 (CLC2006) prostorne baze podataka o zemljišnom pokrivaču.

Evropska Komisija (European Commission) je CORINE programom - Koordinacija informacija o životnoj sredini (Coordination of Information on the Environment) razvila informacioni sistem o stanju životne sredine u Evropi (CORINE sistem). U okviru tog informacionog sistema, 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, pri čemu su na prvom nivou pet klasa: veštačke površine, poljoprivredna područja, šume i polušumska područja, vlažna područja i vodene površine. CORINE land cover se koristi za prostorne i teritorijalne analize na različitim nivoima radi procene stanja životne sredine (Nestorov i Protić, 2006). Na teritoriji Vojvodine postoji 25 klasa zemljišnog pokrivača, prikazani u tabeli 2 i na slici 17.

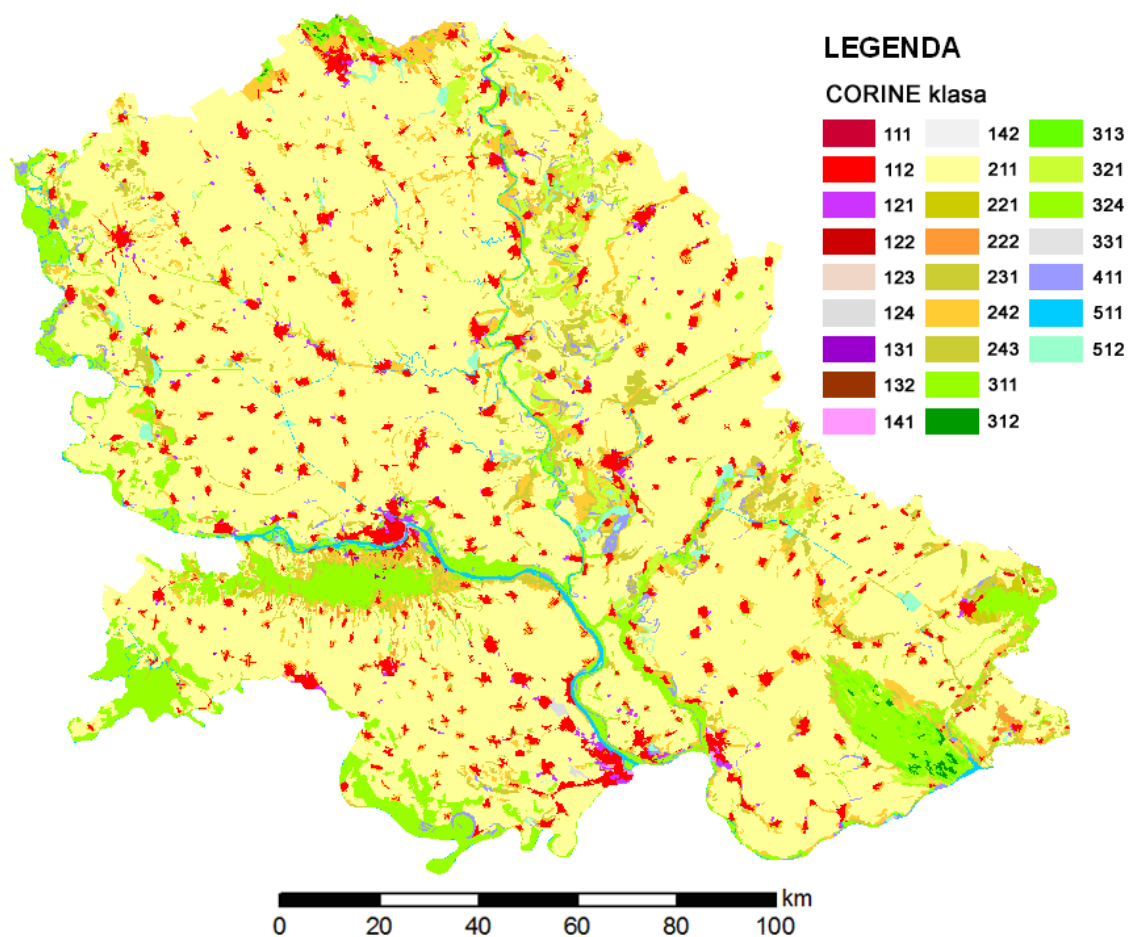
Tabela 2. CORINE land cover klase zemljišnog pokrivača na teritoriji Vojvodine

Naziv	CLC kod	Površina (ha)	%
Celovita gradska područja	111	25	0,001
Necelovita gradska područja	112	105807	4,76
Industrijske ili komercijalne jedinice	121	11036	0,50
Putna i železnička mreža i pripadajuće zemljište	122	466	0,02
Lučke površine	123	126	0,01
Aerodromi	124	1230	0,06
Mesta eksploatacije mineralnih sirovina	131	1286	0,06
Odlagališta otpada	132	110	0,005
Gradske zelene površine	141	1296	0,06
Sportsko rekreativni objekti	142	1034	0,05
Nenavodnjavano obradivo zemljište	211	1573944	70,86
Vinogradi	221	5334	0,24
Plantaže voćaka i znatog voća	222	4160	0,19
Pašnjaci	231	58333	2,63
Kompleks kultivisanih parcela	242	118249	5,32



Nastavak tabele 2

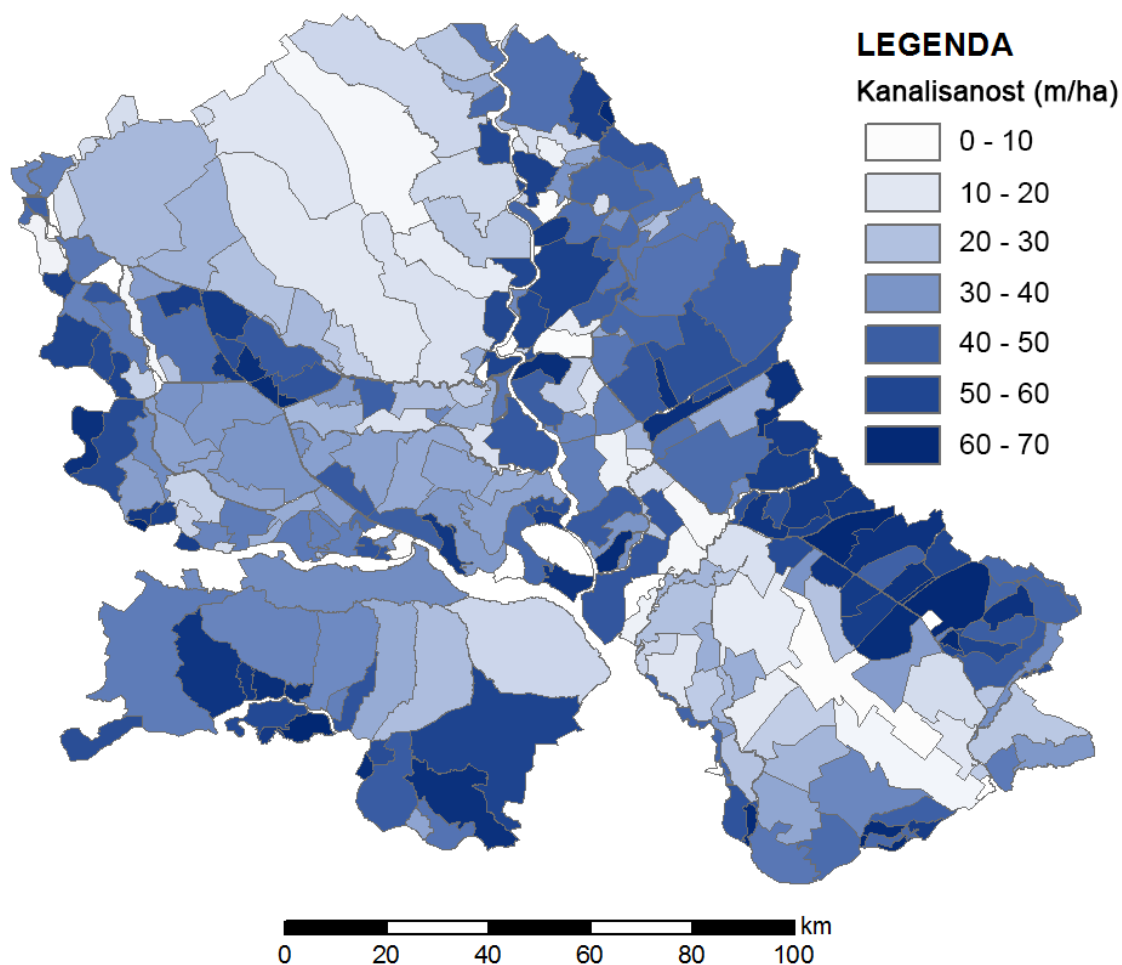
Naziv	CLC kod	Površina (ha)	%
Pretežno poljoprivredna zemljišta s većim područjima prirodne vegetacije	243	40733	1,83
Šume listopadne	311	134490	6,05
Četinarske šume	312	2465	0,11
Mešane šume	313	5086	0,23
Prirodni travnjaci	321	36486	1,64
Prelazno područje šume i makije	324	61057	2,75
Plaže, dine, peščare	331	98	0,004
Kopnene močvare	411	19943	0,90
Vodotoci	511	20403	0,92
Vodene površine	512	18084	0,81



Slika 17. CORINE land cover klase zemljišnog pokrivača na teritoriji Vojvodine

## Sistemi za odvodnjavanje

Sistemi za odvodnjavanje obezbeđuju odvođenje suvišnih voda sa svog sliva. Prema podacima JVP "Vode Vojvodine" u Vojvodini postoji 303 sistema za odvodnjavanje. Ovi sistemi neposredno odvodnjavaju višak vode sa 1.630.648 ha a delimična intervencija se vrši na 209.423 ha. Ukupna dužina kanala detaljne kanalske mreže iznosi 20.094 km. Gustina kanalske mreže na melioracionom području zavisi od topografskih, zemljišnih, hidroloških i klimatskih uslova, tako da se gustina mreže, odnosno kanalisnost kreće u vrlo širokim granicama, od 0 pa do oko 70 m/ha, u proseku 12,5 m/ha (slika 18). Na sistemima sa odvodnjavanje postoji 159 crpnih stanica sa ukupnim instalisanim nominalnim kapacitetom od oko 437 m<sup>3</sup>/s. Posmatrajući vodoprivredna – melioraciona područja, mogućnosti odvodnjavanja crpnih stanica se kreću u granicama od 2 – 11 mm/dan (Belić i Savić, 2005).



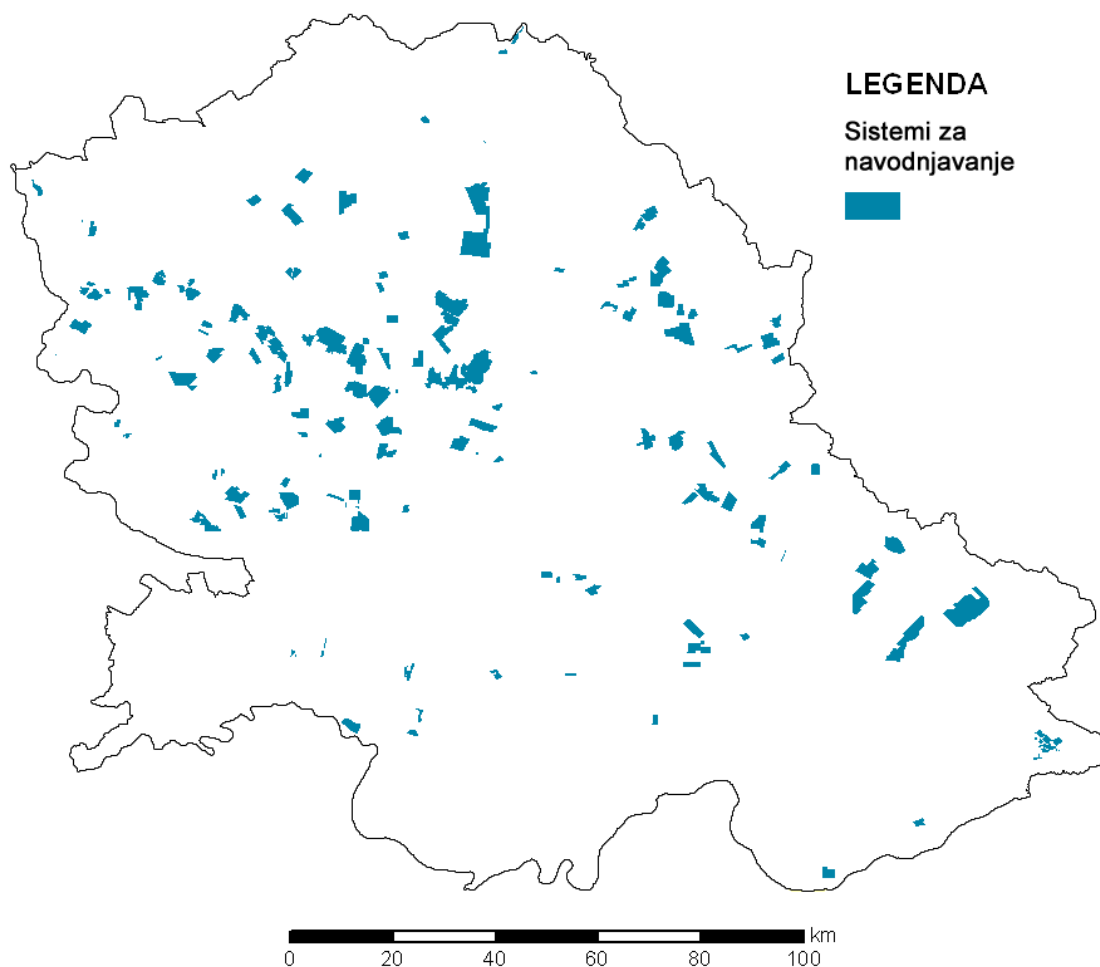
Slika 18. Kanalisnost sistema za odvodnjavanje u Vojvodini

## **Sistemi za navodnjavanje**

Navodnjavanje je melioraciona mera koja se može koristiti u različite svrhe. Osnovna namena je vlaženje zemljišta u cilju poboljšanja uslova za biljnu proizvodnju, a druge namene su fertirigacija, ispiranje slatina, zaštita od mraza, fitosanitetska zaštita, purifikacija i kolmacija (Škorić i sar., 1995). Vojvodina ima povoljne uslove za intenzivan razvoj navodnjavanja, prvenstveno zbog visokog boniteta zemljišta, geografskog položaja i prisustvo 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).

Navodnjavanje je vrlo značajna mera u poljoprivrednoj proizvodnji, a posebno dolazi do izražaja gde je već regulisan problem suvišnih voda. U Vojvodini često se primenjuju dve hidromelioracione mere odvodnjavanje i navodnjavanje, jer se na taj način uklanja višak vode koji se javlja u zimskom periodu i nadoknađuje nedostatak vode koji se javlja u vegetacionom periodu, odnosno reguliše vodni režim zemljišta (Škorić i sar., 1995). Vojvodina sa prosečnom godišnjim 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. Zbog toga je neophodno primeniti navodnjavanje. Pravilna primena navodnjavanja dovodi do planske, visoke, sigurne i stabilne proizvodnje, a proizvodi su kvalitetni. Tek u uslovima navodnjavanja se može govoriti o intenzivnom sistemu biljne proizvodnje. Pored toga primenom navodnjavanja omogućeno je da se na istim površinama primeni i druga žetva, moguća je i promena strukture setve u korist industrijskog bilja, povrća i krmnog bilja, a u vezi sa tim i unapređuje stočarstvo i razvoj agroindustrije.

Ukupne površine pod sistemima za navodnjavanje, prema podacima JVP "Vode Vojvodine", iznose 90.278 ha (Bačka 50.204 ha, Banat 34.440 ha, Srem 5.634 ha). Od toga u funkcionalnom ili delimično funkcionalnom stanju je 47.226 ha (Bačka 26.429 ha, Banat 19.763 ha, Srem 1.074 ha), a koristi se svega 30.657 ha (Bačka 16.534 ha, Banat 13.414 ha, Srem 709 ha). Na karti na slici 19. prikazane su površine pod izgrađenim sistemima za navodnjavanje u Vojvodini.



Slika 19. Sistemi za navodnjavanje u Vojvodini (JVP "Vode Vojvodine")

### 5.3. ANALIZA HAZARDA

Kao što je već rečeno, hazard je potencijalno štetan fizički događaj ili pojava koja može da prouzrokuje brojne negativne posledice. U proučavanju rizika od suficita i deficita vode na nekom području, hazard se može posmatrati kroz hidrometeorološke parametre.

Kompleksna pojava suše ili viška vode se često pojednostavljeno prikazuje pomoću brojnih indeksa uslova vlažnosti. Postoje jednostavni indeksi koji koriste samo podatke o padavinama, pa do veoma kompleksnih koji uključuju evapotranspiraciju, raspoložive količine vode, podatke o zemljištu i dr. U ovom radu korišteni se indeksi uslova vlažnosti koji se u novije vreme u svetu i u regionu najčešće koriste i za čije izračunavanje postoje pouzdani ulazni podaci. To su SPI, SPEI i PaDI, koji će detaljno biti prikazani u nastavku. Za

njihovo izračunavanje potrebni su višegodišnji podaci o srednjim mesečnim temperaturama vazduha i mesečnim količinama padavina, kojima raspolaže Republički hidrometeorološki zavod Srbije. Takođe, kao pokazatelj uslova vlažnosti zemljišta koristiće se rezultati proračuna vodnog bilansa poljoprivrednog zemljišta. U nastavku, prikazaće se i model Markovljevih lanaca koji je korišćen za karakterizaciju, praćenje i prognozu promene stanja vlažnosti.

### **Standardizovani indeks padavina – SPI**

Standardizovani indeks padavina (SPI) je razvijen za potrebe definisanja i osmatranja suše (McKee i sar., 1993). Za njegovo određivanje koriste se samo podaci o količini padavina. Njegova osnovna karakteristika 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). Osobina SPI koja omogućava da se posmatraju različiti vremenski intervale omogućava da se suša pravovremeno registruje i prati tokom trajanja.

Računanje SPI za određeni vremenski period na bilo kojoj lokaciji zahteva najmanje 30-to godišnji niz mesečnih podataka o količini padavina. Funkcija raspodele verovatnoća je određena iz dugogodišnjih podataka. Raspodela kumulativnih verovatnoća se transformiše, koristeći jednaku verovatnoću kumulativnih verovatnoća, u normalnu raspodelu sa srednjom vrednošću jednakom 0 i standardnom devijacijom 1, tako da su vrednosti SPI zapravo izražene u standardnim devijacijama. Ukupna količina padavina za određeni vremenski period se onda povezuje sa određenim vrednostima SPI, u skladu sa vrednostima kumulativne verovatnoće. Pozitivne vrednosti SPI pokazuju da je količina padavina u određenom vremenskom periodu veća od medijane dobijene iz višegodišnjih merenja količina padavina, dok negativne vrednosti SPI pokazuju da je količina padavina u određenom vremenskom periodu manja od medijane. Magnituda razmaka od 0 pokazuje verovatnoću pojave. Zbog toga što raspodela SPI odgovara normalnoj raspodeli, vrednosti SPI su u opsegu od +1 do -1 u 68% slučajeva, između +2 i -2 u 95% slučajeva i između +3 i -3 u 99% slučajeva.

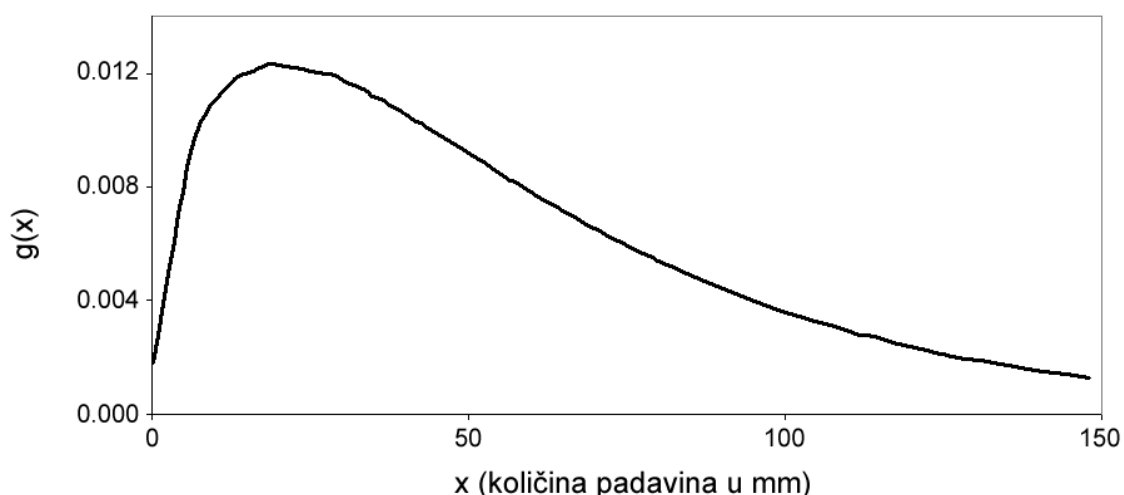
Prethodna istraživanja (Hughes i Saunders, 2002) su pokazala da padavine u Evropi podležu zakonu 2-parametarske gama raspodele i da je ona pogodna za računanje SPI. Gama raspodela (slika 20) je određena funkcijom verovatnoća. Funkcija verovatnoća je definisana za  $X > 0$  :

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

Gde je  $\alpha$  parametar oblika ( $\alpha > 0$ ),  $\beta$  je parametar skale ( $\beta > 0$ ) i  $x$  je količina padavina.

$\Gamma(\alpha)$  je gama funkcija i definisana je izrazom:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy$$



Slika 20. Funkcija verovatnoće za gama raspodelu ( $\alpha=1,532$  i  $\beta=38,413$ ). Parametri su određeni za avgust mesec za stanicu Rimski Šančevi, kalibracioni period od 1971. do 2000. god.

Prilikom proračuna SPI neophodno je da se odredi teorijska funkcija verovatnoća gama raspodele koja dobro opisuje raspodelu učestalosti količina padavina. Parametri oblika i skale se procenjuju metodom maksimalne verodostojnosti iz višegodišnjih nizova podataka o količinama padavina. Parametri  $\alpha$  i  $\beta$  se procenjuju sledećim formulama:

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right)$$
$$A = \ln(x_{sr}) - \frac{\sum \ln(x_i)}{n}$$
$$\hat{\beta} = \frac{x_{sr}}{\hat{\alpha}}$$

Gde je  $x_{sr}$  srednja vrednost količina padavina,  $n$  je broj merenja,  $x_i$  je količina padavina u nizu podataka ( $i=1,2,3\dots n$ ).

Nakon proračuna parametara gama raspodele sledi proračun kumulativne verovatnoće gama raspodele za izmerenu vrednost količine padavina ( $x$ ). Kumulativna verovatnoća se računa pomoću izraza:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$$

Funkcija verovatnoća gama raspodele nije definisana za  $x = 0$ . Zato se mogućnost da je količina padavina jednaka 0 mm, tj. da nije bilo padavina, uključuje u proračun pomoću izraza:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

Gde je  $q$  verovatnoća da je količina padavina jednaka nuli.

Ako je  $m$  broj slučajeva (u višegodišnjem nizu podataka) kada je podatak za količinu padavina jednak 0 mm, a  $n$  je ukupan broj podataka, tada se  $q$  računa pomoću izraza:

$$q = \frac{m}{n}$$

Nakon određivanja kumulativne verovatnoće  $H(x)$ , sledi transformacija vrednosti  $x$  (količina padavina) u vrednost SPI. Transformacija prvog podatka (količina padavina) iz neke raspodele (gama raspodele) u drugi podatak (SPI) sa različitim raspodelom (normalnom raspodelom) može se sprovesti ako je zadovoljena jednakost kumulativnih verovatnoća prve i druge raspodele

(Panofsky i Brier, 1958), tj., verovatnoća da je prvi podatak  $x$  manji od neke vrednosti  $x_0$  jednaka je verovatnoći da je SPI manji od neke vrednosti  $SPI_0$ .

Transformacija količine padavina u SPI se najčešće izvodi upotrebom aproksimacije (Abramovitz i Stegun, 1965):

$$SPI = - \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{za } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$SPI = + \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{za } 0,5 < H(x) \leq 1,0$$

Promenljiva  $t$  je funkcija teorijske kumulativne verovatnoće:

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad \text{za } 0 < H(x) \leq 0,5$$

$$t = \sqrt{\ln \left( \frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} \quad \text{za } 0,5 < H(x) \leq 1,0$$

$c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$  su koeficijenti i njihove vrednosti su:

$$\begin{array}{lll} c_0 = 2,515517; & c_1 = 0,802853; & c_2 = 0,010328; \\ d_1 = 1,432788; & d_2 = 0,189269; & d_3 = 0,001308. \end{array}$$

Prostorna i vremenska dimenzija suše predstavljaju problem kod stvaranja indeksa suše, zato što anomalija mora biti normalizovana ne samo za osmatračku stanicu, već i u odnosu na vreme. SPI ispunjava oba uslova. SPI je normalizovan u odnosu na osmatračku stanicu (prostorno) zato što proračun SPI uključuje raspodelu učestalosti količine padavina za svaku stanicu. Takođe, u odnosu na vreme, SPI je normalizovan zato što nezavisno od položaja stanice u prostoru ili od vremenskog intervala proračuna, postoji veza između kumulativne verovatnoće i SPI, (tabela 3) u odnosu na referentni vremenski razmak iz kojeg su procenjeni parametri gama raspodele.



Tabela 3. Povezanost SPI i kumulativne verovatnoće

SPI	Kumulativna verovatnoća H(x)
-3,0	0,0014
-2,5	0,0062
-2,0	0,0228
-1,5	0,0668
-1,0	0,1587
-0,5	0,3085
0	0,5000
+0,5	0,6915
+1,0	0,8413
+1,5	0,9332
+2,0	0,9772
+2,5	0,9938
+3,0	0,9986

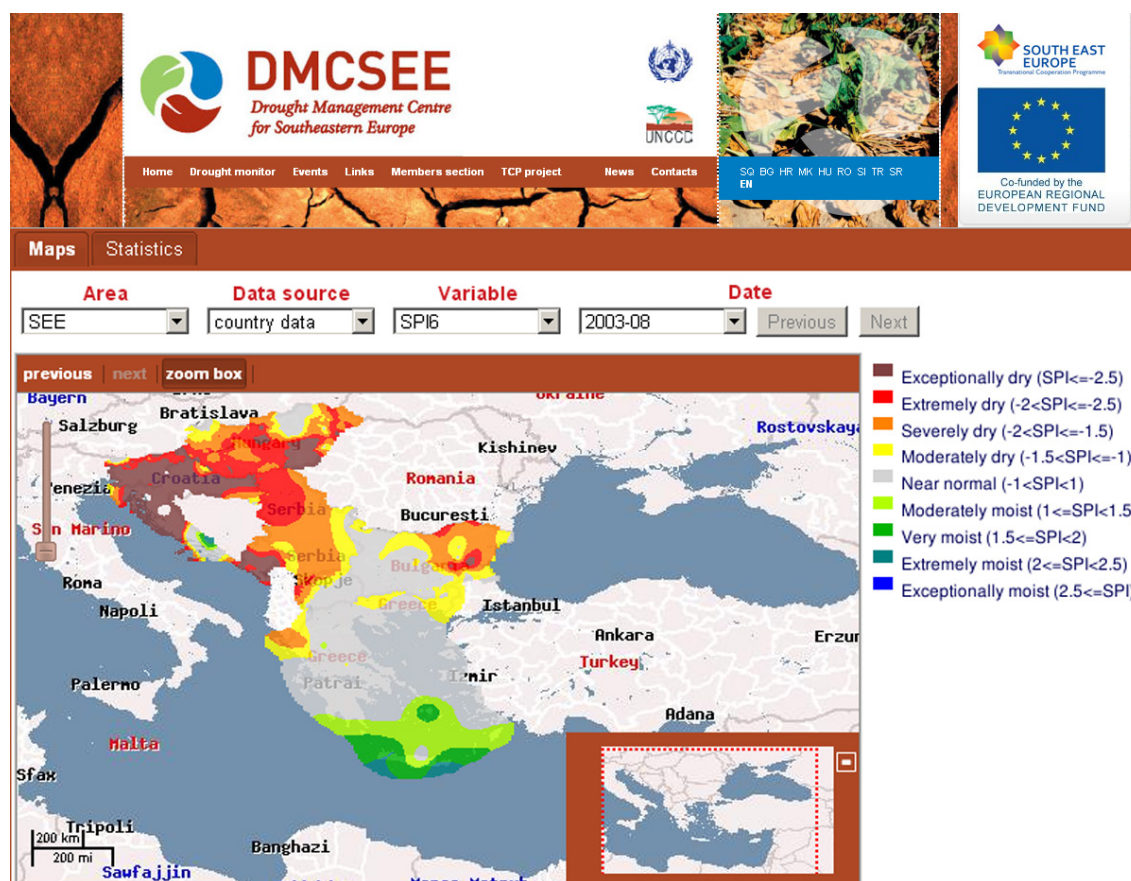
SPI ima nekoliko dobrih osobina, ali i nedostataka. Prva prednost SPI nad drugim indeksima je jednostavnost, bazira se samo na podacima o količini padavina. Drugo, SPI je moguće proračunati na bilo kojoj vremenskoj skali, što daje mogućnost da se posmatra kako odstupanje količine padavina u različitim vremenskim intervalima utiče na agronomsku i hidrološku sušu. Ova osobina SPI je važna i za praćenje dinamike suše, što je teško pratiti pomoću drugih indeksa. Treća prednost SPI je da je zbog normalne raspodele, učestalost ekstremnih i jakih suša konzistentna za svako mesto i za svaku vremensku skalu. McKee i sar. (1993) je predložio skalu za SPI, tabela 4. Za ispravnu interpretaciju vrednosti SPI potrebno je poznavati klimatologiju područja koje se posmatra.

Tabela 4. Kategorizacija uslova vlažnosti na osnovu SPI, McKee i sar. (1993)

Vrednost SPI	Klase	Kumulativna verovatnoća H(x)
$2,0 \leq \text{SPI}$	ekstremno kišno	$H(x) < 0,023$
$1,5 \leq \text{SPI} \leq 1,99$	vrlo kišno	$0,023 < H(x) \leq 0,067$
$1,0 \leq \text{SPI} \leq 1,49$	umereno kišno	$0,067 < H(x) \leq 0,159$
$-0,99 \leq \text{SPI} \leq 0,99$	u granicama normale	$0,159 < H(x) \leq 0,841$
$-1,0 \leq \text{SPI} \leq -1,49$	umereno sušno	$0,841 < H(x) \leq 0,933$
$-1,5 \leq \text{SPI} \leq -1,99$	vrlo sušno	$0,933 < H(x) \leq 0,977$
$\text{SPI} \leq -2,0$	ekstremno sušno	$0,977 < H(x)$

Nedostatak SPI je što vrednosti SPI zavise od vremenskog intervala iz kojeg su izračunati parametri gama raspodele. Takođe, za neke podatke nije moguće aproksimirati empirijsku raspodelu sa teorijskom raspodelom (odnosi se na ekstremno sušna područja). Treći nedostatak je da može posmatrati samo promene u padavinskom režimu nekog područja.

Treba napomenuti da su u ovom radu korišćeni podaci i rezultati vezani za proračun indeksa SPI koji su dobijeni istraživanjima sprovedenim i u okviru evropskog projekta "Centar za upravljanje sušom u Jugoistočnoj Evropi" (Drought Management Centre for South East Europe – DMCSEE), slika 21, a da je softver za računanje SPI dobijen od strane Agencije za životnu sredinu republike Slovenije (<http://www.arso.gov.si>).



Slika 21. Primer karte indeksa SPI6 za mesec avgust 2003. godine za Jugoistočnu Evropu (DMCSEE, <http://www.dmcsee.org/GISapp/>)

## **Standardizovan index klimatskog vodnog bilansa – SPEI**

Standardizovan indeks klimatskog vodnog bilansa (Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, SPEI) je razvijen za potrebe kvantifikovanja stanja suše na posmatranom području (Vicente-Serrano i sar., 2010). Za njegovo određivanje koriste se dugogodišnji nizovi (najmanje 30-to godišnji niz) mesečnih podataka o količini padavina i srednjim mesečnim temperaturama vazduha. Korišćenje podataka o temperaturi vazduha pored podataka o padavinama, za razliku od standardizovanog indeksa padavina (SPI) koji koristi samo podatke o padavinama, omogućava kompletnije sagledavanje efekata globalnog zagrevanja i klimatskih promena na pojavu suše. SPEI, slično kao i SPI se može izračunati za različite vremenske intervale (1, 3, 6, 9, 12, 24 i 48 meseci) omogućavajući praćenje kratkoročnih rezervi vode (bitno za poljoprivredu) i dugoročnih rezervi (bitno za hidrologiju).

SPEI se zapravo bazira na mesečnim vrednostima klimatskog vodnog bilansa računata po metodi Thornthwaite (1948) gde se vodni bilans računa kao razlika padavina i potencijalne evapotranspiracije. Procedura proračuna SPEI se zasniva na originalnoj proceduri proračuna SPI. Funkcija raspodele verovatnoća određuje se iz niza dugogodišnjih podataka. Prethodna istraživanja (Vicente-Serrano i sar., 2010) su pokazala da vrednosti klimatskog vodnog bilansa podležu zakonu 3-parametarske Log-logističke raspodele i da je ona pogodna za računanje SPEI. Raspodela kumulativnih verovatnoća se transformiše, koristeći jednaku verovatnoću kumulativnih verovatnoća, u normalnu raspodelu sa srednjom vrednošću 0 i standardnom devijacijom 1, tako da su vrednosti SPEI zapravo izražene u standardnim devijacijama. Vrednost klimatskog vodnog bilansa za određeni vremenski period se onda povezuje sa određenim vrednostima SPEI, u skladu sa vrednostima kumulativne verovatnoće. Pozitivne vrednosti SPEI pokazuju da je vrednost klimatskog vodnog bilansa u određenom vremenskom periodu veća od medijane dobijene iz višegodišnjih vrednosti klimatskog vodnog bilansa, dok negativne vrednosti SPEI pokazuju da je vrednost klimatskog vodnog bilansa u određenom vremenskom periodu manja od medijane.

U prvom koraku određivanja vrednosti SPEI, potrebno je izračunati potencijalnu evapotranspiraciju. Ona se proračunava metodom Thornthwaite (1948):

$$ETP = 16 \cdot \left[ \frac{10 \cdot T}{I} \right]^a \cdot k$$

gde su:

*ETP* – potencijalna evapotranspiracija (mm/mesec),

*k* – korekcionni koeficijent za geografsku širinu,

*T* – srednja mesečna temperatura vazduha (°C),

*I* – godišnji termički indeks, obračunava se sumom mesečnih termičkih indeksa (*i*),

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

Mesečni termički indeks se obračunava pomoću srednje mesečne temperature vazduha, sledećom formulom:

$$i = \left[ \frac{T}{5} \right]^{1,514}$$

Eksponecijalni koeficijent *a* se obračunava formulom:

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,792 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

Korekcionni koeficijent za geografsku širinu se obračunava sledećim formulama:

$$k = \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{NDM}{30} \right)$$

$$N = \left( \frac{24}{\pi} \right) \omega$$

$$\omega = \arccos(-\tan \varphi \tan \delta)$$

$$\delta = 23,45 \frac{\pi}{180} \sin \left[ 2\pi \left( \frac{284 + n}{365,25} \right) \right]$$

gde su:

$N$  - maksimalni broj sunčanih sati,

$NDM$  - broj dana u posmatranom mesecu,

$\omega$  - časovni ugao izlaska Sunca,

$\varphi$  - geografska širina u radijanima,

gš u radijanima = gš u stepenima \*  $\pi / 180$ ,

$\delta$  - solarna deklinacija u radijanima,

$n$  - redni broj dana u godini (uzima se sredina posmatranog meseca).

Nakon proračuna potencijalne evapotranspiracije, vrednost klimatskog vodnog bilansa  $D$  se računa kao razlika padavina  $P$  i potencijalne evapotranspiracije  $ETP$  za mesec  $i$ :

$$D_i = P_i - ETP_i$$

Kao što je već rečeno, prethodna istraživanja (Vicente-Serrano i sar., 2010) su pokazala da vrednosti klimatskog vodnog bilansa dobro podležu zakonu 3-parametarske log-logističke raspodele i da je ona pogodna za računanje SPEI.

Funkcija verovatnoća 3-parametarske log-logističke raspodele definisana je izrazom:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left( 1 + \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2}$$

gde su  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  parametri skaliranja, oblika i lokacije, a domen funkcije je  $\gamma \leq x < +\infty$ .

Parametri skaliranja, oblika i lokacije se procenjuju metodom  $L$  momenata:

$$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2}$$

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)}$$

$$\gamma = w_0 - \alpha\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)$$

gde je  $\Gamma(\beta)$  gama funkcija  $\beta$ .

Verovatnosni težinski momenti  $w_s$  reda  $s$  se računaju:

$$w_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - F_i)^s D_i ,$$

gde je  $F_i$  estimator frekvencije koji se računa:

$$F_i = \frac{i - 0.35}{N} ,$$

gde je  $i$  redni broj opservacije u rastućem nizu a  $N$  ukupan broj podataka.

Kumulativna verovatnoća klimatskog vodnog bilansa  $D$  se računa pomoću izraza:

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1}$$

Nakon određivanja kumulativne verovatnoće  $F(x)$ , sledi transformacija vrednosti  $x$  (klimatskog vodnog bilansa) u vrednost SPEI. Transformacija se najčešće izvodi upotrebom aproksimacije (Abramovitz i Stegun, 1965):

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} ,$$

gde je:

$$W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad \text{za } P \leq 0,5 ,$$

a  $P$  je verovatnoća pojave vrednosti klimatskog vodnog bilansa  $D$ ,  $P = 1 - F(x)$ . Ako je  $P > 0,5$   $P$  se zamenjuje sa  $1 - P$  a znak rezultujuće vrednosti SPEI se menja. Vrednosti koeficijenata  $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$  su:

$$c_0 = 2,515517; c_1 = 0,802853; c_2 = 0,010328;$$

$$d_1 = 1,432788; d_2 = 0,189269; d_3 = 0,001308.$$

SPEI je standardizovana promenljiva tako da se može upoređivati sa drugima vrednostima SPEI u toku vremena i u prostoru. Vrednost SPEI od 0 odgovara 50% verovatnoći pojave vrednosti klimatskog vodnog bilansa prema log-logističkoj raspodeli. Dakle, SPEI kao i SPI je normalizovan u odnosu na osmatračku stanicu (prostorno) zato što proračun SPEI uključuje raspodelu učestalosti vrednosti klimatskog vodnog bilansa za svaku stanicu. Takođe, u odnosu na vreme, SPEI je normalizovan zato što nezavisno od položaja stanice u prostoru ili od vremenskog intervala proračuna, postoji veza između kumulativne verovatnoće i SPEI u odnosu na referentni vremenski razmak iz kojeg su procenjeni parametri log-logističke raspodele. Kategorizacija uslova vlažnosti na osnovu SPEI je preuzeta od McKee i sar. (1993) koji su predložili kategorizacija uslova vlažnosti na osnovu SPI, tabela 5.

*Tabela 5. Kategorizacija uslova vlažnosti na osnovu SPEI*

Vrednost SPEI	Klase	Kumulativna verovatnoća F(x)
$2,0 \leq \text{SPEI}$	ekstremno vlažno	$F(x) < 0,023$
$1,5 \leq \text{SPEI} \leq 1,99$	vrlo vlažno	$0,023 < F(x) \leq 0,067$
$1,0 \leq \text{SPEI} \leq 1,49$	umereno vlažno	$0,067 < F(x) \leq 0,159$
$-0,99 \leq \text{SPEI} \leq 0,99$	u granicama normale	$0,159 < F(x) \leq 0,841$
$-1,0 \leq \text{SPEI} \leq -1,49$	umereno sušno	$0,841 < F(x) \leq 0,933$
$-1,5 \leq \text{SPEI} \leq -1,99$	vrlo sušno	$0,933 < F(x) \leq 0,977$
$\text{SPEI} \leq -2,0$	ekstremno sušno	$0,977 < F(x)$

### Palfajev indeks suše - PaDI

Palfajev indeks aridnosti (Palfai Aridity Index - PAI) je razvijen u Mađarskoj za korisnike iz oblasti poljoprivrede i upravljanja vodama. Počeo je da se koristi za numeričku karakterizaciju suše početkom 80-tih godina prošlog veka. Ovaj indeks opisuje jačinu suše tokom poljoprivedne godine jednom numeričkom vrednošću, koja korespondira sa lošim stanjem useva.

Računanje osnovne vrednosti PAI indeksa u suštini je jednostavno, budući da zahtevi za podacima mogu lako da budu ispunjeni. Za izračunavanje ovog indeksa neophodno je imati samo podatke o srednjoj mesečnoj temperaturi i sumi padavina. Međutim, u formuli PAI indeksa teško je odrediti tri korekciona faktora zasnovana na dnevnim vrednostima temperature i padavina, kao i na nivou podzemnih voda. Radi lakše praktične upotrebe razvijen je novi, jednostavniji metod izračunavanja tih faktora, zasnovan na srednjoj mesečnoj temperaturi vazduha i mesečnoj sumi padavina, (Palfai i Herceg, 2011; Herceg, 2012).

Jednačina za proračun osnovne vrednosti tog modifikovanog indeksa, nazvanog Palfajev indeks suše (Palfai's Drought Index - PaDI), glasi:

$$PaDI_0 = \frac{\left[ \sum_{i=apr}^{aug} T_i \right]}{c + \sum_{i=oct}^{sep} (P_i w_i)}$$

gde su:

$PaDI_0$  – osnovna vrednost indeksa suše ( $^{\circ}C/100$  mm);

$T_i$  – srednja mesečna temperatura od aprila do avgusta ( $^{\circ}C$ );

$P_i$  – mesečna suma padavina od oktobra do septembra (mm);

$w_i$  – težinski koeficijent;

$c$  – konstanta (10 mm)



Vrednosti težinskih koeficijenata su: 0,1 za oktobar; 0,4 za novembar i decembar; 0,5 za mesece od januara do aprila; 0,8 za maj; 1,2 za jun; 1,6 za jul; 0,9 za avgust i 0,1 za septembar.

Palfajjev indeks suše (PaDI) se računa sledećom formulom:

$$PaDI = PaDI_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$$

gde je  $k_1$  korekcionni faktor temperature a  $k_2$  i  $k_3$  su korekcionni faktori padavina.

Korekcionni faktor temperature  $k_1$  predstavlja odnos između ispitivane i prosečne višegodišnje letnje temperature i računa se sledećom formulom:

$$k_1 = \frac{\frac{(T_{jun} + T_{jul} + T_{aug})}{3}}{\frac{(\bar{T}_{jun} + \bar{T}_{jul} + \bar{T}_{aug})}{3}}$$

gde su:

$T_{jun,jul,avg}$  - srednje mesečne temperature vazduha za mesece jun, jul i avgust za posmatranu godinu (°C)

$\bar{T}_{jun,jul,avg}$  - srednje mesečne temperature vazduha za mesece jun, jul i avgust u višegodišnjem periodu, npr. 1971-2000 (°C)

Korekcionni faktor  $k_2$  predstavlja odnos količina padavina u letnjim mesecima koje su određene na osnovu dugogodišnjeg niza podataka i odgovarajućih vrednosti zabeleženih u posmatranoj godini i računa se sledećom formulom:

$$k_2 = \sqrt[4]{\frac{2 \cdot \bar{P}_{summer}^{\min}}{\text{MIN}(P_{jun}, P_{jul}, P_{aug}) + \bar{P}_{summer}^{\min}}}$$

gde su:

$\bar{P}_{summer}^{min}$  - najniža vrednost sume padavina za tri letnja meseca (jun, jul i avgust) u višegodišnjem periodu (mm)

$MIN(P_{jun}, P_{jul}, P_{aug})$  - najniža vrednost sume padavina za tri letnja meseca (jun, jul i avgust) u posmatranoj godini (mm)

Korekcionni faktor  $k_3$  karakteriše padavine u prethodnih 36 meseci i računa sledećom formulom:

$$k_3 = \sqrt[n]{\frac{\bar{P}}{\bar{P}_{36m}}}$$

gde su:

$\bar{P}$  - prosečna višegodišnja suma padavina za period oktobar – septembar (mm)

$\bar{P}_{36m}$  - prosečna suma padavina za period oktobar - septembar u prethodne 3 godine (mm)

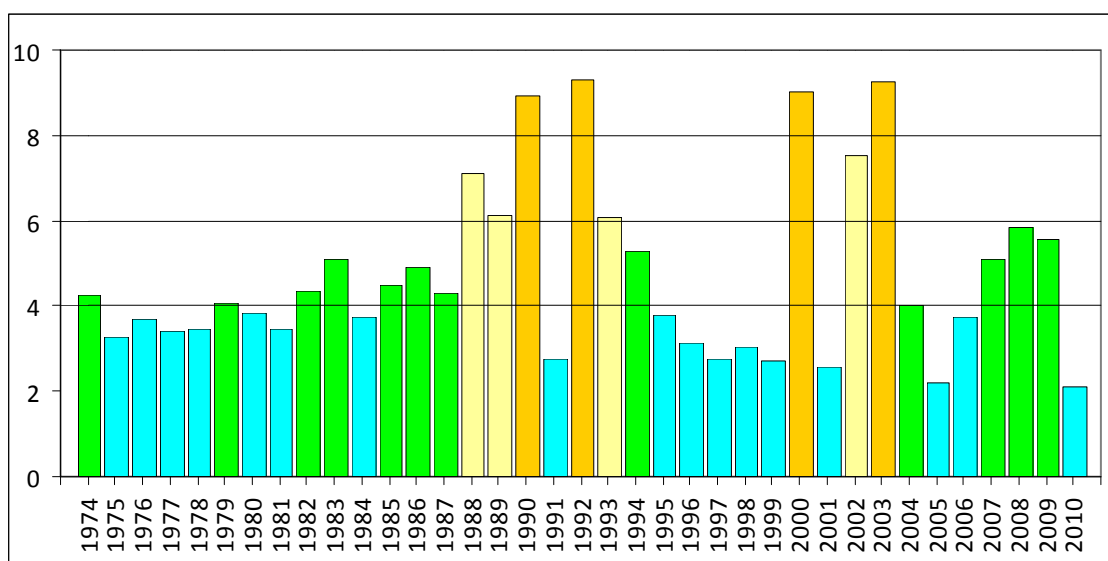
n - eksponent, u ravničarskim krajevima n = 3, u brdovitim i planinskim krajevima n = 5

Klasifikacija suše po jačini prema indeksu PaDI obuhvata više kategorija i data je u tabeli 6.

Tabela 6. Klasifikacija suše po jačini prema indeksu PaDI

PaDI (°C/100 mm)	Opis	
< 4	godina bez suše	
4 - 6	blaga suša	
6 - 8	umerena suša	
8 - 10	umereno jaka suša	
10 - 15	jaka suša	
15 - 30	vrlo jaka suša	
> 30	ekstremna suša	

Na dijagramu (slika 22) prikazane su vrednosti PaDI za meteorološku stanicu Rimski Šančevi za period 1974. – 2012., (Herceg, 2012).



Slika 22. Vrednosti PaDI, Rimski Šančevi, 1974. – 2012., (Herceg, 2012)

### Vodni bilans područja kao pokazatelj pojave viška vode

Klimatski i hidrološki uslovi koji vladaju na području Vojvodine, dugogodišnje praktično iskustvo i opsežan naučni rad u ovoj oblasti doprineli su da se kao merodavna vrednost za dimenzionisanje elemenata sistema za odvodnjavanje koristi višak vode zimskog perioda (Belić i sar., 1995). Kod bilansiranja voda na području uglavnom se koristi najjednostavniji oblik jednačine vodnog bilansa u kojoj su prihodna komponenta padavine 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);
- $\Delta$  – 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 tj. kada su rezerve vode potrošene. 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  $\Delta$  dobija negativan predznak. Stvarna evapotranspiracija je jednaka potencijalnoj sve dok se ne utroše rezerve vode iz zemljišta. U datom primeru 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. Primer obračuna vodnog bilansa je prikazan u tabeli 7.

Tabela 7. Obračun vodnog bilansa za hidrološku godinu 2007/08 za meteorološki stanicu Rimski Šančevi

mesec	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	$\Sigma$
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
$\Delta$	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

### Metode analize pokazatelja deficita i suficita vode

U istraživačkom radu često se javlja potreba da se ispita kako se stanje nekog sistema menja u vremenu. Na primer stanje uslova vlažnosti može da se opiše vrednostima indeksa padavina ili vodnog bilansa a praćenje i prognoza promene stanja vlažnosti može biti od značajne koristi za poljoprivrednu, vodoprivredu i druge oblasti. Ako stanje sistema predstavlja vrednost slučajne promenljive, to znači da se želi ispitati promena slučajne promenljive u zavisnosti od vremena. Tada se ponašanje posmatranog sistema opisuje stohastičkim procesom. U nastavku, prikazaće se neki od matematičkih modela i testova koji su korišćeni u ovom radu za analizu stanja vlažnosti, odnosno za analizu hazarda.

### **Markovljevi lanci**

Poseban oblik stohastičkog procesa je Markovljev proces odnosno Markovljev lanac. Markovljevi procesi su oni stohastički procesi čije buduće stanje zavisi samo od trenutnog stanja. To svojstvo zove se svojstvo odsustva pamćenja (memoryless property). Markovljevi procesi mogu imati diskretan ili kontinuiran skup stanja. Proces i sa diskretnim stanjima nazivaju se lanci.

Stohastički (slučajni) proces je skup slučajnih promenljivih  $\{X_t : t \in T\}$ . U svakom momentu  $t$  nekog vremenskog intervala  $T$  veličina  $X_t$ , koja nije unapred određena već se realizuje slučajno, predstavlja stanje sistema u posmatranom trenutku  $t$ . Ako je skup  $T$  interval, tada je stohastički proces kontinualan, a u slučaju da je skup  $T$  prebrojiv tj.  $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots\}$  tada je stohastički proces diskretan. Takođe, slučajne promenljive stohastičkog procesa mogu biti diskretne ili neprekidne.

Stohastički procesi se mogu podeliti na stacionarne i nestacionarne. Stacionarni su oni procesi kod kojih su verovatnosne osobine invarijantne u odnosu na pomake vremenskog parametra, dok se kod nestacionarnih procesa te osobine mogu menjati. Preciznije, stohastički proces  $\{X_t : t \in T\}$  je stacionaran ako za svaki prirodni broj  $n$ , svaki mogući izbor  $t_1, t_2, \dots, t_n \in T$  i svaki realan broj  $u$  za koji je  $t_1+u, t_2+u, \dots, t_n+u \in T$ , slučajni vektori  $(X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n})$  i  $(X_{t_1+u}, X_{t_2+u}, \dots, X_{t_n+u})$  imaju identične distribucije verovatnoća (Winston, 2003; Wilks, 2006). Stohastički proces  $\{X_t : t \in T\}$  je Markovljev ako za proizvoljan izbor vremenskih trenutaka  $t_1 < t_2 < \dots < t_n \in T$ , i proizvoljne vrednosti  $x_1, x_2, \dots, x_n$  važi:

$$P[X_{t_n} \leq x_n \mid X_{t_{n-1}} = x_{n-1}, \dots, X_{t_1} = x_1] = P[X_{t_n} \leq x_n \mid X_{t_{n-1}} = x_{n-1}]$$

Gornja relacija izražava tzv. Markovljevo svojstvo koje opisuje činjenicu da raspodela verovatnoća slučajne promenljive  $X_t$  u momentu  $t = t_n$  zavisi samo od vrednosti  $x_{n-1}$  procesa u trenutku  $t_{n-1}$ , a ne zavisi od vrednosti procesa u ranijim momentima i takav Markovljev lanac se naziva lanac prvog reda (Winston, 2003; Wilks, 2006). Markovljev lanac se može posmatrati kao sistem stanja koji opisuju svaku slučajnu promenljivu. Promene stanja sistema se nazivaju tranzicijama ili prelazima a verovatnoće vezane za promene stanja se nazivaju prelaznim verovatnoćama. Stanja i prelazne verovatnoće u potpunosti

opisuju Markovljev lanac. Prelazna verovatnoća  $p_{ij}$  je verovatnoća prelaza iz trenutnog stanja  $i$  u buduće stanje  $j$  za određeni vremenski korak.

**Homogeni Markovljevi lanci** imaju svojstvo stacionarnosti, odnosno njihove prelazne verovatnoće ne zavise od vremenskog koraka i vremenskog trenutka  $t_n$  (Winston, 2003; Wilks, 2006). Prelazne verovatnoće homogenih Markovljevih lanaca se matematički mogu izraziti kao:

$$P = [p_{ij}] = P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} \quad \forall i, j \in S, t \in T$$

gde je  $p_{ij}$  prelazna verovatnoća iz stanja  $i$  u stanje  $j$ ,  $S$  je skup mogućih stanja a  $T$  je vremenski interval.

Prelazne verovatnoće se mogu odrediti prebrojavanjem koliko puta je stanje sistema prelazilo iz stanja  $i$  u stanje  $j$ :

$$\hat{p}_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_i}$$

gde je  $\hat{p}_{ij}$  prelazna verovatnoća,  $n_{ij}$  je broj prelaza iz stanja  $i$  u stanje  $j$  a  $n_i$  je ukupan broj javljanja stanja  $i$ .

Prelazne verovatnoće se najčešće prikazuju matricom prelaznih verovatnoća  $P$  (Winston, 2003; Wilks, 2006). Matrica prelaznih verovatnoća homogenog Markovljevog lanca prvog reda je:

$$P = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1j} & \cdots \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2j} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \\ p_{i1} & p_{i2} & \cdots & p_{ij} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots \end{pmatrix}$$

Suma elemenata u svakom redu matrice prelaznih verovatnoća  $P$  iznosi 1, i svi elementi matrice su pozitivni. Matrice sa takvim svojstvom nazivaju se stohastičke matrice. Broj elemenata matrice prelaznih verovatnoća zavisi od broja stanja. U ovom radu je modelom Markovljevih lanaca analizirana stohastička priroda pojave stanja vlažnosti zemljišta. Markovljevi lanci su korišćeni za:

- proračun stacionarnih verovatnoća pojave pojedinih stanja vlažnosti;
- za određivanje povratnih perioda stanja vlažnosti;
- proračun očekivanog vremena trajanja određenog stanja vlažnosti;
- proračun trajanja prvog prelaza iz stanja vlažnosti  $i$  u stanje  $j$ .

Stacionarne verovatnoće pojave stanja su dugoročne verovatnoće pojave svakog stanja sistema i one su nezavisne od početnog stanja Markovljevog lanca. Stacionarne verovatnoće homogenog Markovljevog lanca  $\pi_j$  se dobijaju izračunavanjem nenegativnih rešenja sistema linearnih jednačina (Winston, 2003; Wilks, 2006):

$$\pi_j = \sum_{k=1}^S \pi_k P_{kj} \quad , \quad \sum_{j=1}^S \pi_j = 1 \quad , \quad \forall k, j \in S$$

gde je  $\pi_j$  stacionarna verovatnoća pojave stanja  $j$  a  $S$  je broj mogućih stanja.

Povratni period,  $t_{ii}$ , je prosečno vreme trajanja prelaza iz stanja  $i$  ponovo u stanje  $i$ , a određuje se na osnovu stacionarne verovatnoće  $\pi_i$ :

$$t_{ii} = \frac{1}{\pi_i}$$

Verovatnoća neprekidnog vremena boravka u stanju  $i$ , odnosno proračun očekivanog vremena trajanja stanja  $i$  se računa (Winston, 2003; Wilks, 2006):

$$\begin{aligned} &P(X_1 = i | X_0 = i)P(X_2 = i | X_1 = i) \cdots P(X_{m-2} = i | X_{m-1} = i)P(X_m \neq i | X_{m-1} = i) = \\ &= P_{ii}^{m-1}(1 - P_{ii}) \end{aligned}$$

$$E(T_i | X_0) = \sum_k k P(m = k | X_0 = 1)$$

gde je  $m$  vremenska jedinica, npr. mesec.

Očekivano trajanje prvog prelaza,  $t_{ij}$ , je prosečno vreme potrebno da sistem iz stanja  $i$  prvi put pređe u stanje  $j$ , a dobija se određivanjem nenegativnih rešenja sistema linearnih jednačina:

$$t_{ij} = 1 + \sum_{k \neq j} p_{ik} t_{kj}, \quad \forall i, j \in S$$

**Nehomogeni Markovljevi lanci** imaju svojstvo nestacionarnosti, odnosno njihove prelazne verovatnoće zavise od vremenskog koraka i početnog vremenskog trenutka  $t_n$ . Prelazne verovatnoće nehomogenih Markovljevih lanaca se matematički mogu izraziti kao (Lohani i sar., 1998):

$$P = [p_{ij}^{(t,t+1)}] = P\{X_{t+1} = j | X_t = i\}$$

Prelazne verovatnoće se mogu odrediti prebrojavanjem koliko puta je stanje sistema prelazilo iz stanja  $i$  u stanje  $j$  (Lohani i sar., 1998):

$$\hat{p}_{ij}^{(t,t+1)} = \frac{n_{ij}^{(t,t+1)}}{n_i^{(t)}}$$

gde je  $\hat{p}_{ij}^{(t,t+1)}$  verovatnoća prelaza iz stanja  $i$  u trenutku  $t$  u stanje  $j$  u trenutku  $t+1$ ,  $n_{ij}^{(t,t+1)}$  je broj prelaza iz stanja  $i$  u trenutku  $t$  u stanje  $j$  u trenutku  $t+1$  a  $n_i^{(t)}$  je ukupan broj javljanja stanja  $i$  u trenutku  $t$ .

Stacionarne verovatnoće nehomogenog Markovljevog lanca  $\pi^{t,\infty}$  se dobijaju proizvodom niza matrica prelaznih verovatnoća  $P_t$  (Lohani i sar., 1998):

$$\pi^{(t,\infty)} = \prod_t^{\infty} P_t$$

Rezultujuća matrica je stohastička matrica u kojoj su svi redovi jednaki. U praksi, npr. ako se analiziraju stanja vlažnosti zemljišta na mesečnom nivou, tada se stohastičke matrice sa identičnim redovima za pojedine mesece računaju (Lohani i sar., 1998):

$$\pi^{(jan)} = \{[P_{jan}][P_{feb}] \cdots [P_{nov}][P_{dec}]\} \cdot \{[P_{jan}][P_{feb}] \cdots [P_{nov}][P_{dec}]\} \cdots$$

$$\pi^{(feb)} = \pi^{(jan)} P^{(jan)}, \quad \pi^{(mar)} = \pi^{(feb)} P^{(feb)}, \quad \dots, \quad \pi^{(dec)} = \pi^{(nov)} P^{(nov)}$$



Verovatnoća neprekidnog vremena boravka u stanju  $i$  u trajanju od  $t$  vremenskih perioda se definiše kao:

$$\{X_1 = i = X_2 = \dots = X_{t-1} | X_0 = i\}$$

Na primer, verovatnoća neprekidnog trajanja stanja  $i$  od jednog meseca ( $t = 1$ ) sa početkom u mesecu januaru se u nehomogenoj formulaciji Markovljevihi lanaca izražava:

$$P[X_{feb} \neq i | X_{jan} = i] = P[t = 1 | X_{jan} = i] = 1 - p_{ii}^{jan,feb}$$

gde je  $p_{ii}^{jan,feb}$  verovatnoća prelaza iz stanja  $i$  u januaru u isto stanje  $i$  u februaru. Prethodna jednačina govori o tome da je npr. vlažnost zemljišta bila u stanju  $i$  u januaru mesecu (trajalo je jedan mesec) i da je u februaru vlažnost zemljišta prešla u neko drugo stanje  $j$  koje je različito od  $i$ . Verovatnoća neprekidnog trajanja stanja  $i$  od dva meseca ( $t = 2$ ) sa početkom u mesecu januaru se izražava:

$$P[t = 2 | X_{jan} = i] = p_{ii}^{jan,feb} (1 - p_{ii}^{feb,mar})$$

Verovatnoća neprekidnog trajanja stanja  $i$  od 12 meseca ( $t = 12$ ) sa početkom u mesecu januaru je:

$$P[t = 12 | X_{jan} = i] = p_{ii}^{jan,feb} p_{ii}^{feb,mar} \dots p_{ii}^{okt,nov} p_{ii}^{nov,dec} (1 - p_{ii}^{dec,jan})$$

Očekivano vreme neprekidnog trajanja stanja  $i$ ,  $E[T_i]$ , se računa (Lohani i sar., 1998):

$$E[T_i | X_0] = \sum_k k P[m = k | X_0]$$

gde je  $m$  vremenska jedinica, npr. mesec a  $X_0$  je početni mesec.

Kod nehomogenih Markovljevihi lanaca očekivano trajanje prvog prelaza,  $t_{ij}^{(n)}$ , vreme potrebno da sistem prvi put pređe u stanje  $j$  iz početnog stanja  $i$  u mesecu  $n$ , se dobija rešavanjem sistema linearnih jednačina (Lohani i sar., 1998):

$$t_{ij}^{(n)} = 1 + \sum_{k \neq j} p_{ik}^{(n,n+1)} t_{kj}^{(n+1)}$$

Na primer, za  $n = 1$  (januar):

$$t_{ij}^{(jan)} = 1 + \sum_{k \neq j} p_{ik}^{(jan,feb)} t_{kj}^{(feb)}$$

Povratni period, odnosno prosečno vreme trajanja prelaza iz stanja  $i$  ponovo u stanje  $i$  se u slučaju nehomogenih Markovljevih lanaca računa:

$$t_{ii}^{(n)} = 1 + \sum_{k \neq i} p_{ik}^{(n,n+1)} t_{ki}^{(n+1)}$$

### **Kriterijumi za odabir odgovarajućeg reda Markovljevih lanaca**

Postoji više procedura testiranja koje se mogu koristiti za određivanje odgovarajućeg reda Markovljevih lanaca. Najčešće se koriste test racija log - verodostojnosti (LLR), Akaike-ov informacioni kriterijum (AIC) i Bajesov informacioni kriterijum (BIC).

Log - verodostojnosti Markovljevog lanca nultog, prvog i drugog reda su (Wilks, 2006):

$$L_0 = \sum_{j=0}^{S-1} n_j \ln(\hat{p}_j)$$

$$L_1 = \sum_{i=0}^{S-1} \sum_{j=0}^{S-1} n_{ij} \ln(\hat{p}_{ij})$$

$$L_2 = \sum_{h=0}^{S-1} \sum_{i=0}^{S-1} \sum_{j=0}^{S-1} n_{hij} \ln(\hat{p}_{hij})$$

gde su  $L_0$ ,  $L_1$  i  $L_2$  vrednosti log-verodostojnosti nultog, prvog i drugog reda,  $S$  je broj mogućih stanja,  $n$  je broj prelaza između pojedinih stanja a  $p$  je prelazna verovatnoća.

Statistika  $\Lambda$  se koristi za izbor između dva reda (Wilks, 2006):

$$\Lambda = 2(L_i - L_{i-1})$$

Nulta distribucija statistike  $\Lambda$  je  $\chi^2$  sa stepenima slobode  $\nu = \left[ S^{m(H_A)} - S^{m(H_0)} \right] (S - 1)$ , gde je  $m(H_A)$  broj reda alternativne hipoteze a  $m(H_0)$

broj reda nulte hipoteze. Test racija log - verodostojnosti se najčešće koristi za ispitivanje nultog, prvog i drugog reda Markovljevih lanaca (Wilks, 2006).

Akaike-ov informacioni kriterijum i Bajesov informacioni kriterijum pokušavaju da nađu odgovarajući red Markovljevog modela balansiranjem između dobrote slaganja modela, što se dobija log - verodostojnostima i na osnovu kazne koja raste sa brojem parametara modela (Wilks, 2006). Razlika između ova dva kriterijuma je u formulaciji funkcije kazne. Statistike *AIC* i *BIC* se proračunavaju za svaki analizirani red  $m$  Markovljevih lanaca:

$$AIC(m) = -2L_m + 2S^m(S - 1)$$

$$BIC(m) = -2L_m + 2S^m(\ln(n))$$

Odabir odgovarajućeg reda Markovljevih lanaca se vrši na osnovu najniže vrednosti *AIC* ili *BIC*.

### **Testiranje saglasnosti empirijskih i teorijskih distribucija verovatnoća - "fitovanje distribucija"**

Osnovni značaj distribucija verovatnoće jeste u tome što one predstavljaju temelj za statističko zaključivanje. Uslovi u kojima događaj nastaje obuhvaćeni su zakonima same teorijske distribucije, koja se prilagođava prirodi i karakteru posmatrane pojave. U praksi se ne zna koju distribuciju verovatnoće ima slučajna promjenjiva u nekom eksperimentu, jer se raspolaže samo empirijskom distribucijom frekvencija. Sa druge strane, empirijske verovatnoće se neće u potpunosti slagati sa verovatnoćama teorijskih distribucija, tako da se tek na osnovu velikog broja sprovedenih istraživanja i njihove analize dolazi do saznanja koje teorijske distribucije najviše odgovaraju srodnim grupama pojava (Fazlović, 2006). Distribucijom verovatnoća mogu se pouzdano prognozirati rezultati budućih događaja na osnovu prethodnih posmatranja. Ako se može pronaći teorijska funkcija raspodele koja odgovara podacima iz uzorka, ona se onda može koristiti za određivanje verovatnoće događaja koji inače nisu zastupljeni u uzorku.

U istraživačkom radu česti su slučajevi da se ispituje u kojoj meri se grupa posmatranih frekvencija podudara sa teorijskim frekvencijama koje odgovaraju nekoj teorijskoj distribuciji (goodness of fit). Dobrota prilagođavanja, odnosno podudarnost između hipotetičke (teorijske) raspodele u generalnoj

populaciji i empirijske raspodele frekvencija u uzorku, koji je izvučen iz te generalne populacije, se ispituje testovima (Hadživuković, 1991; Prohaska, Ristić, 2002). Testovi koji se najčešće koriste su hi-kvadrat ( $\chi^2$ ) test, test Kolmogorov-Smirnova i Anderson-Darling test.

### $\chi^2$ test

Za meru odstupanja između empirijskih i očekivanih (pretpostavljenih) teorijskih frekvencija, Pirson je uveo veličinu  $\chi^2$  (Hadživuković, 1991; Prohaska, Ristić, 2002):

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(f_j - f_{t,j})^2}{f_{t,j}}$$

gde su:

$f_j$  – apsolutna frekvencija j-tog klasnog intervala;

$f_{t,j}$  – teorijska frekvencija j-tog klasnog intervala;

$k$  – ukupan broj klasnih intervala

$\chi^2$ -test se primenjuje za verifikaciju hipoteza o slaganju empirijskih sa pretpostavljenim teorijskim raspodelama pod uslovom da su teorijske frekvencije  $f_{t,j}$  veće od 5. Kako je  $\chi^2$ -test jednosmeran, to praktično znači da se sa verovatnoćom  $\alpha$  (pragom značajnosti) može tvrditi da će statistika  $\chi^2$  biti veća od kritične vrednosti  $\chi^2_{1-\alpha}$  koja se dobija tablično ili po formuli:

$$f(\chi^2) = \frac{x^{\nu/2-1} e^{-\frac{x}{2}}}{2^{\nu/2} \Gamma(\nu/2)} \quad \nu > 0; \quad 0 \leq x \leq +\infty$$

sa  $\nu = k - \rho - 1$  stepeni slobode, gde su:

$\rho$  - broj parametara teorijske raspodele

$\Gamma(\nu/2)$  - Gama raspodela koja je definisana integralom:

$$\Gamma(\nu/2) = \int_0^{\infty} x^{\frac{\nu}{2}-1} e^{-x} dx$$

Verovatnoća  $P(\chi^2 > \chi^2_{1-\alpha}) = \alpha$  definiše interval  $(\chi^2_{1-\alpha}, +\infty)$  koji predstavlja region odbacivanja nulte hipoteze  $H_0$  (pretpostavka da empirijska raspodela sledi neku teorijsku funkciju gustine), odnosno  $P(\chi^2 > \chi^2_{1-\alpha}) = 1 - \alpha$ , gde je  $(0, \chi^2_{1-\alpha})$  region prihvatanja nulte hipoteze  $H_0$ .

Teorijska apsolutna frekvencija se računa po formuli:

$$f_{t,j} = \Delta p_j \sum_{i=1}^k f_j$$

gde je:

$\Delta p_j = F(x_g) - F(x_d)$  - definisana teorijska verovatnoća pojave slučajno promenljive  $x$  unutar  $j$ -tog klasnog intervala;

$x_g$  - gornja granica  $j$ -tog klasnog intervala;

$x_d$  - donja granica  $j$ -tog klasnog intervala.

Uslov za prihvatanje nulte hipoteze  $H_0$  je  $\chi^2 \leq \chi^2_{1-\alpha}$ . Analogno ako je  $\chi^2 > \chi^2_{1-\alpha}$  nulta hipoteza se odbacuje sa rizikom  $\alpha$ .

### **Kolmogorov-Smirnov test**

U slučajevima kada se empirijska raspodela upoređuje sa teorijskom neprekidnom raspodelom verovatnoća, često je pogodan test Kolmogorov-Smirnova za verifikaciju hipoteze o njihovoj saglasnosti. Za kvalifikovanu ocenu odstupanja empirijske raspodele od usvojene teorijske funkcije uzima se najveća apsolutna razlika između teorijske i empirijske funkcije raspodele (Hadživuković, 1991; Prohaska, Ristić, 2002):

$$D_n = \max |F_n(x) - F(x)| \quad -\infty < x < +\infty$$

Ako je promenljiva  $x$  slučajna, tada je i maksimalna razlika  $D_n$  slučajna veličina koja se pokorava Kolmogorovom zakonu raspodele. U konkretnom slučaju uvodi se nova statistika (slučajno promenljiva)  $D_n \sqrt{n}$  čija verovatnoća da neće biti veća od zadatog broja  $\lambda$ , prema Kolmogorovu, nezavisno od tipa teorijske funkcije raspodele  $F(x)$  iznosi:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(D_n \sqrt{n} \leq \lambda) = \sum (-1)^k e^{-2k^2 \lambda^2} = Q(\lambda)$$

Pri testiranju saglasnosti empirijskih i teorijskih funkcija raspodela obično se koristi kritična vrednost:

$$D_0 = \frac{\lambda_0}{\sqrt{n}}$$

tako da je :

$$P(\max |F_n(x) - F(x)| \geq D_0) = \alpha \quad \text{ili} \quad P(D_n \geq D_0) = \alpha$$

Kritične vrednosti  $D_0$  za različite vrednosti praga značajnosti  $\alpha$  i obim uzorka  $n$  date su tablično. Kriterijum za prihvatanje nulte hipoteze  $H_0$  o saglasnosti empirijske i pretpostavljene teorijske raspodele je  $D_n \leq D_0$ . Tada se sa verovatnoćom  $P(D_n \leq D_0) = 1 - \alpha$  može tvrditi da se slučajno promenljiva  $x$  pokorava testiranom teorijskom zakonu raspodele.

### **Anderson-Darling test**

Test Anderson-Darlinga je modifikacija Kolmogorov-Smirnov testa (Stephens, 1974). Za razliku od Kolmogorov-Smirnov testa, test Anderson-Darlinga pridaje veću težinu krajevima distribucije. Osim toga, kod Kolmogorov-Smirnov testa kritične vrednosti ne zavise od konkretne distribucije koja se ispituje, dok kod Anderson-Darlinga testa zavise. To ima svoje prednosti i nedostatke. Nedostatak je da se za svaku pojedinu distribuciju moraju posebno računati kritične vrednosti, ali time je test osetljiviji.

Anderson-Darling test je definisan statistikom  $A^2$  (Stephens, 1974):

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) [\ln F(X_i) + \ln(1 - F(X_{n-i+1}))]$$

gde je  $F$  kumulativna verovatnoća posmatrane distribucije, a podaci  $X_i$  su sortirani.

Ta statistika se upoređuje s kritičnom vrednošću, koja zavisi od distribucije koja se ispituje. Ukoliko je statistika veća od kritične vrednosti, hipoteza se odbacuje.

#### **5.4. OBJEKTIVNO ODREĐIVANJE TEŽINA KRITERIJUMA METODOM ENTROPIJE**

Pojedini faktori ranjivosti i hazarda, zbog prirode svoje pojave, mogu imati veći ili manji uticaj na krajnji rezultat procene rizika i zbog toga im je potrebno dodeliti odgovarajuće težinske koeficijente. U ovom radu je korišćena jedna od objektivnih metoda za određivanje težinskih koeficijenata, metoda entropije.

Entropija se može definisati kao kvantitativna mera neuređenosti sistema (Mihailović i sar., 2009). Entropija sistema, po svojim svojstvima slična je unutrašnjoj energiji sistema. Sam pojam entropije vezuje se za termodinamičke sisteme. Entropiju kao novu termodinamičku veličinu stanja otkrio je Rudolf Clausius 1865. godine izražavajući je odnosom između količine toplote i temperature. Entropija se može shvatiti na različite načine u različitim disciplinama.

Kao veličina stanja entropija izražava energetska stanje sistema i u stvari predstavlja makroskopski odraz kretanja i odnosa na mikroskopskom nivou sistema. To praktično znači da ona “pokazuje smer najverovatnijeg odvijanja (proticanja) procesa u prirodi” što znači da je proporcionalna logaritmu verovatnoće stanja.

U teoriji informacija ona se tretira kao mera dezorganizovanosti nasuprot informacije koja predstavlja meru za organizovanost sistema. Matematika tretira entropiju kao veličinu koja karakteriše verovatnoću bilo kakvog stanja sistema. Entropija se u statističkoj mehanici može definisati kao proizvod Bolcmanove konstante i prirodnog logaritma broja mogućih stanja datog izolovanog termodinamičkog sistema:  $S = K \cdot \ln(W)$ , gde je  $k$  Bolcmanova konstanta a  $W$  je broj mogućih stanja izolovanog termodinamičkog sistema. Značaj ove jednakosti se ogleda u povezivanju makroskopskog sa mikroskopskim stanjem sistema.

##### ***Metoda entropije***

U metodama objektivnog pristupa određivanju težina kriterijuma težište je na analizi matrice odlučivanja, odnosno razmatraju se vrednosti varijanti u odnosu na skup kriterijuma, da bi se potom izvela informacija o vrednostima

težina kriterijuma. U objektivnom pristupu određivanju težina kriterijuma kriterijumi se posmatraju kao izvori informacija i relativna važnost kriterijuma reflektuje količinu informacija sadržanu u svakom od njih (Milić i Župac, 2012). Količina informacije sadržana u svakom kriterijumu dovodi se u vezu sa intenzitetom kontrasta svakog kriterijuma.

Određivanje objektivnih težina kriterijuma prema metodi entropije se zasniva na merenju neodređenosti informacije koju sadrži matrica odlučivanja i direktno generiše skup težinskih vrednosti kriterijuma na osnovu međusobnog kontrasta pojedinačnih kriterijumskih vrednosti varijanti za svaki kriterijum i zatim istovremeno za sve kriterijume (Srđević i sar., 2003; Srđević i sar., 2004). Za  $m$  kriterijuma ( $C_1, C_2, \dots, C_m$ ) i  $n$  alternativa ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ ) matrica odlučivanja  $A$  ima sledeći oblik:

$$A = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_m \\ & w_1 & w_2 & \dots & w_m \\ A_1 & \left[ \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \end{matrix} \right. \\ A_2 & \left[ \begin{matrix} a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \end{matrix} \right. \\ \dots & \left[ \begin{matrix} \dots & \dots & \dots & \dots \end{matrix} \right. \\ A_n & \left[ \begin{matrix} a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

gde su  $a_{11} - a_{nm}$  kriterijumske vrednosti alternativa a  $w_1 - w_m$  predstavljaju težinske vrednosti kriterijuma čiji zbir iznosi 1.

Određivanje težina kriterijuma  $w_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) provodi se kroz tri koraka. U prvom koraku se vrši normalizacija kriterijumskih vrednosti alternativa  $a_{ij}$  primenom obrasca:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}$$

Na taj način dobija se normalizovana matrica odlučivanja  $R$ :



$$R = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \cdots & C_m \\ & w_1 & w_2 & \cdots & w_m \\ A_1 & \left[ \begin{matrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \end{matrix} \right. \\ A_2 & \left[ \begin{matrix} r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \end{matrix} \right. \\ \cdots & \left[ \begin{matrix} \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \end{matrix} \right. \\ A_n & \left[ \begin{matrix} r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

Količina informacije sadržana u normalizovanoj matrici odlučivanja  $R$  i emitovana od svakog kriterijuma  $C_j$  može biti merena kao vrednost entropije  $e_j$ :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln r_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

Uvođenjem konstante  $k = \frac{1}{\ln n}$  obezbeđeno je da se sve vrednosti  $e_j$

nalaze u intervalu  $[0,1]$ . Napomena: Korišćenje logaritma za osnovu  $e$  u prethodnoj relaciji je odstupanje od bazičnog Šenonovog obrasca iz teorije informacija gde se koriste logaritmi sa osnovom 2. Ova korekcija ne unosi bitne greške u merenju količine emitovane informacije, te se uglavnom tako koristi u praksi (Srđević i sar., 2003; Srđević i sar., 2004).

U drugom koraku određuje se stepen divergencije  $d_j$  u odnosu na prosečnu količinu informacije sadržanu u svakom kriterijumu:

$$d_j = 1 - e_j \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$d_j$  predstavlja svojstven intenzitet kontrasta kriterijuma  $C_j$ . Što je veća divergencija početnih kriterijumskih vrednosti  $a_{ij}$  alternativa  $A_i$  za dati kriterijum  $C_j$ , vrednost  $d_j$  za dati kriterijum je veća, pa se zaključuje da je važnost kriterijuma  $C_j$  za dati problem odlučivanja veća. Ako sve alternative imaju slične vrednosti stepena divergencije za određeni kriterijum, onda je taj kriterijum manje važan za dati problem odlučivanja. Takođe, ako su sve vrednosti stepena divergencije alternativa za određeni kriterijum iste, dati kriterijum može biti izostavljen jer on ne donosi novu informaciju donosiocu odluke.

Budući da vrednost  $d_j$  predstavlja specifičnu meru intenziteta kontrasta kriterijuma  $C_j$ , konačna relativna težina kriterijuma, u trećem koraku metode, može da se dobije jednostavnom aditivnom normalizacijom:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}$$

Metoda se može smatrati objektivnom jer generiše težinske vrednosti kriterijuma direktno iz kriterijumskih vrednosti varijanti i eliminiše problem subjektivnosti, nekompetentnosti ili odsustva donosioca odluke. Takođe, nisu bitni ni priroda i tip kriterijuma.

## 5.5. GEOGRAFSKI INFORMACIONI SISTEM (GIS)

Pri radu sa podacima koji su prostorno određeni, kao nezaobilazni alat za prikupljanje, čuvanje, analizu ili prezentaciju podataka nameće se GIS. GIS je prostorno orijentisani informacioni sistem, koji omogućuje obradu podataka kroz operacije prikupljanja, čuvanja, rukovanja, analize i njihovog prikaza, čime se dobijaju informacije za donošenje odgovarajućih odluka (Benka, 2012; Lojo i Ponjavić, 2004). Razlika između informacionog sistema u opštem smislu i geografskog informacionog sistema je u tome što se iz GIS baze podataka može dobiti odgovor na pitanje gde je određeno mesto na zemljinoj površi na koje se taj podatak odnosi.

**Softver** - korisnički program jednog GIS-a, 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-u. 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 verovatno najvažnija komponenta GIS-a, jer bi bez njih on bio beskoristan. Ujedno, prikupljanje podataka predstavlja najobimniji i najzahtevniji proces pri izgradnji jednog GIS-a. Značajna osobina podataka koji se nalaze u GIS-u bazi jeste da su oni prostorno definisani, iz čega sledi da je osnovna

karakteristika GIS-a 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-a 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** su prostorni podaci koji mogu biti u obliku jednog od tri osnovna geometrijska elementa (feature): tačka (point), linija (polyline), ili površina (polygon). Bez obzira o kom se obliku radi, svaki element se definiše preko jedne ili više tačaka. Koristeći ta tri osnovna oblika, u većini slučajeva moguće je prikazati sve potrebne pojave na određenom prostoru. Određeni sadržaj na nekom prostoru, prikazan putem vektorskih podataka, zahteva manje memorijskog prostora za čuvanje nego isti sadržaj prikazan u rasterskom obliku. Takođe, iz vektorskih podataka lako se dobijaju geometrijski podaci za svaki element (dužina, površina, obim itd.), dobija se kvalitetniji izlaz u obliku karte, lakše se vrše operacije kao što su promena projekcije ili neke druge analize (Benka, 2012; Longley i sar., 2002).

**Rasterski podaci** su prostorni podaci prikazani matricom koja prekriva određeni prostor. Svaka ćelija matrice naziva se piksel i nosi određenu informaciju o delu prostora koji predstavlja. Rasterski podaci u GIS-u većinom se koriste na rasterskim mapama, ortofoto-u i satelitskim snimcima. 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. Prednosti rasterskog prikaza su u tome, što je moguće brzo i intuitivno saznati određeni podatak prikazan rasterski. Rasterski podaci olakšavaju složene analitičke procese (npr. prostorne analize, hidrološke analize). U smislu prikupljanja

podataka i strukture podataka, rasterski podaci funkcionišu brzo i jednostavno. U poređenju sa vektorskim podacima, hardverski zahtevi su vrlo obimni. Upotrebom piksela, diskretne osobine bivaju neprecizno prikazane, a osim toga i štampana verzija ima manje atraktivan izgled od one dobijene pomoću vektorskih podataka.

**Slojevi** - Pri izradi GIS-a 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-a, prostorni podaci organizuju se po slojevima (layer). 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 (feature), 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.

### ***Metod preklapanja slojeva u GIS-u***

Preklapanje tematskih slojeva je jedan od načina analize prostornih podataka u GIS-u. Kombinovanjem ulaznih slojeva se u novostvorenom rezultujućem sloju mogu dobiti nove informacije o analiziranom problemu. Ova GIS tehnika se najčešće koristi za tzv. analizu prostorne pogodnosti, kao na primer: prostorna pogodnost nastanka određenog stepena rizika od prirodnih nepogoda (suša, poplava, erozija zemljišta i dr.); prostorna pogodnost gajenja određenih biljnih vrsta (pošumljavanje, zasnivanje novih oranica, voćnjaka, vinograda i dr.); pogodnost izgradnje sistema za navodnjavanje ili odvodnjavanje; pogodnost izgradnje urbanih, infrastrukturnih, industrijskih objekata itd.

Osnovni koraci u prostornoj analizi podataka korišćenjem tehnike preklapanja GIS slojeva su:

- definisanje problema,
- utvrđivanje i kreiranje potrebnih tematskih slojeva,
- transformacija i reklasifikacija ulaznih tematskih slojeva,

- izračunavanje težinskih koeficijenata reklasifikovanih ulaznih slojeva,
- kombinovanje slojeva i
- prikaz i tumačenje rezultata.

U zavisnosti od problema koji se izučava utvrđuju se ulazni podaci koje je potrebno obraditi i analizirati da bi se došlo do željenih rezultata. Ulazni podaci moraju biti prostorno definisani i u formi vektorskih ili rasterskih tematskih slojeva. Slojeve je ponekad potrebno digitalizovati ili kreirati, npr. meteorološke podatke treba vezati za položaje meteoroloških stanica i prostornom interpolacijom podataka dobiti tematske karte - slojeve.

Transformacijom određenih slojeva mogu se dobiti novi podaci, odnosno novi izvedeni slojevi. Na osnovu digitalnog modela terena (DTM) mogu se dobiti slojevi sa vrednostima padova terena, ekspozicijom površina i dr; na osnovu digitalne pedološke karte mogu se dobiti izvedene karte drenažnih i irigabilnih klasa, proizvodnih osobina zemljišta, vodnih konstanti itd.

Ulazni slojevi najčešće sadrže podatke različitog tipa. Neki slojevi mogu sadržati tekstualne podatke, dok drugi mogu sadržati podatke različitog numeričkog tipa i opsega i zbog toga je potrebno ulazne slojeve standardizovati, odnosno klasifikovati po određenom kriterijumu. Klasifikacijom slojeva se po određenom kriterijumu svim slojevima dodeljuje isti tip podataka i u istom opsegu. Na primer ako se analizira ranjivost na sušu, svi ulazni slojevi koji utiču na ranjivost se mogu reklasifikovati tako da podaci u okviru sloja budu celobrojne vrednosti u opsegu od 1 do 5, gde 1 označava najmanju ranjivost a 5 označava najveću.

Pojedini faktori (ulazni slojevi) mogu imati veći ili manji uticaj na krajnji rezultat. U tom slučaju se određenim metodama mogu odrediti težinski koeficijenti ulaznih slojeva. Jedna od objektivnih metoda za određivanje težinskih koeficijenata je metoda entropije, koja je korišćena u ovom radu. Množenjem slojeva sa težinskim koeficijentima, a zatim kombinovanjem slojeva određenim matematičkim operacijama i funkcijama dolazi se do krajnjeg rezultata u vidu karte, odnosno novog sloja.

U ovom radu je za potrebe procene rizika od suficita i deficita vode, u najvećoj meri korišćen metod rasterskog preklapanja slojeva u GIS-u.

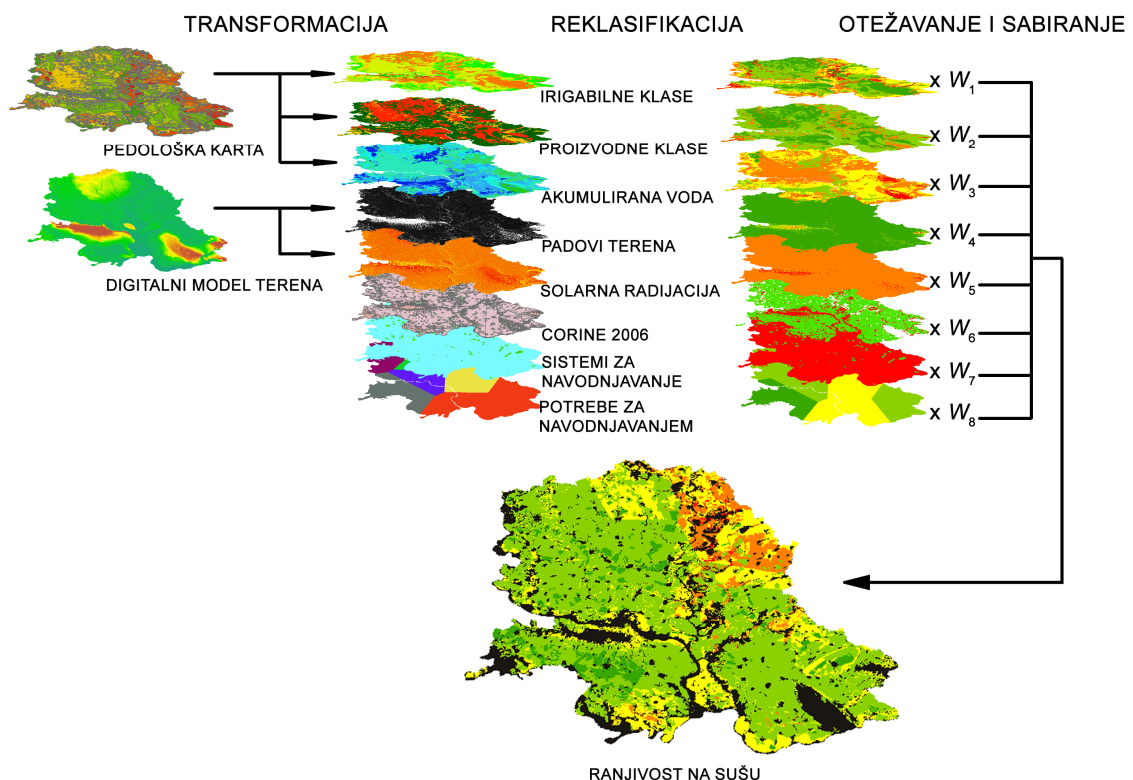
Prilikom rasterskog preklapanja slojeva potrebno je da slojevi budu na isti način prostorno referencirani i da njihova rezolucija, odnosno veličina piksela bude identična. To omogućava kombinovanje tematskih slojeva tako što se matematičkim operacijama između vrednosti piksela ulaznih slojeva dobijaju nove vrednosti piksela u rezultujućem sloju. Na slici 23 prikazan je primer sabiranja dva rasterska sloja a na slici 24 prikazan je primer primene rasterskog preklapanja u prostornoj analizi ranjivosti na sušu.

RASTER 1				RASTER 2		
3	3	1		11	12	10
4	2	2	+	12	12	10
3	1	1		14	12	11

REZULTUJUĆI RASTER		
14	15	11
16	14	12
17	13	12

Slika 23. Primer sabiranja dva rasterska sloja



Slika 24. Primer primene rasterskog preklapanja u prostornoj analizi ranjivosti na sušu

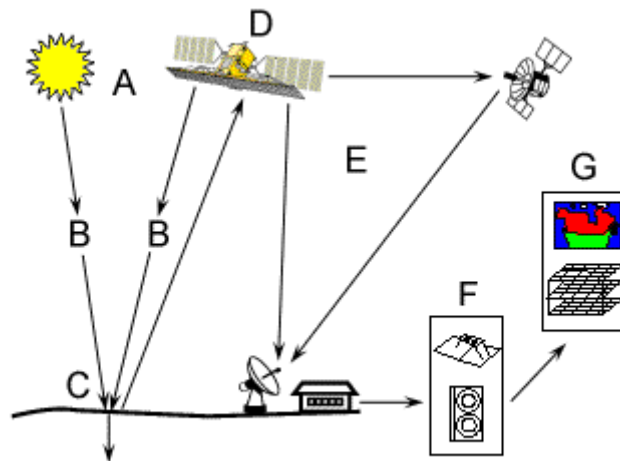
## **5.6. DALJINSKA DETEKCIJA (REMOTE SENSING)**

Daljinska detekcija predstavlja metod prikupljanja informacija o Zemljinoj površi i objektima koji se nalaze na njoj bez direktnog fizičkog kontakta sa ispitivanom pojavom ili objektom. Podaci se prikupljaju registrovanjem i snimanjem odbijene ili emitovane energije objekta uz naknadnu obradu, analizu, interpretaciju i korišćenje takvih informacija. Daljinska detekcija omogućava brže prikupljanje podataka, smanjenje troškova i olakšava sagledavanje celine istraživanog prostora.

Primenjuje se u mnogim oblastima a posebno su interesantne oblasti vodoprivrede i poljoprivrede gde može imati veoma važnu ulogu. Satelitski snimci nude mogućnost prikupljanja velikih količina korisnih podataka koji mogu omogućiti: procenu klimatskih faktora na regionalnom i lokalnom nivou, praćenje i predviđanje elementarnih nepogoda i prirodnih katastrofa, detekcija i praćenje područja ugroženih poplavama od spoljnih i unutrašnjih voda, praćenje pojave i detekcija područja ugroženih sušom, nadgledanje i kontrola zagađenosti vodnih resursa, praćenje promena stanja životne sredine, izučavanje stanja vegetacionog pokrivača, detekcija navodnjavanih poljoprivrednih površina i dr.

### ***Princip daljinske detekcije***

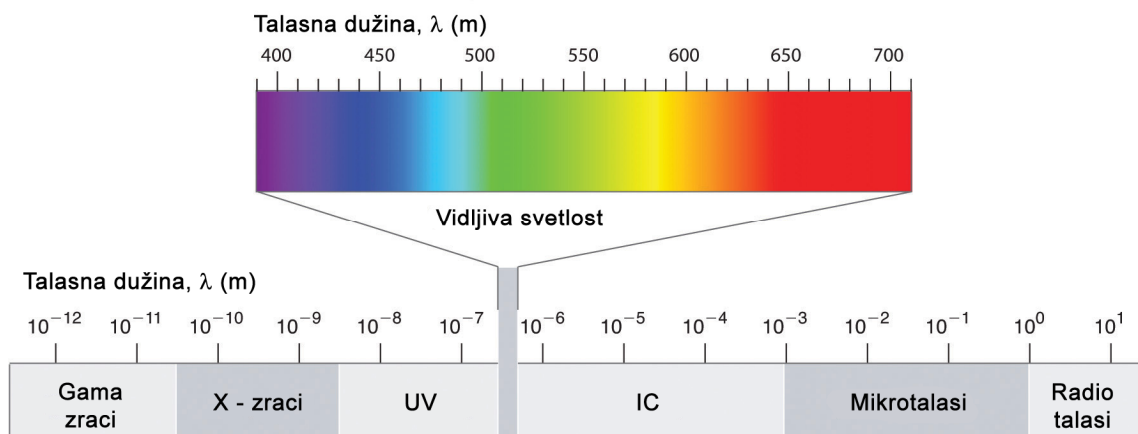
Pri realizaciji sistema daljinske detekcije jasno se može definisati nekoliko direktno povezanih elemenata koji se mogu sagledati na slici 25 (CCRS, 2007). Prvi elementi su izvor (A) i prostiranje (B) elektromagnetne energije. Posmatrani objekat (C), u geonaukama objekat je fizička površina Zemlje, zrači elektromagnetnu energiju koja nosi informacije o njegovim osobinama. Energija može biti sopstvena i reflektovana, koja je saopštena objektu iz prirodnog ili nekog veštačkog izvora. Tu energiju registruje senzor (D), koji se nalazi na odgovarajućoj platformi (kosmička, aero ili terestrička). Na osnovu složenog elektronskog sklopa senzora, registrovani signal prevodi se u oblik pogodan za transmisiju, prijem i obradu (E). Zatim sledi analiza snimljenog područja i interpretacija rezultata (F) i na kraju upotrebljiva informacija o snimljenom sadržaju (G). Ta informacija najčešće obuhvata saznanje o vrsti, granicama prostiranja i intenzitetu registrovanog fenomena.



Slika 25. Elementi i principi daljinske detekcije (CCRS, 2007)

Princip daljinske detekcije se, najkraće rečeno, svodi na sistematsko merenje određenog energetskog polja i tumačenje utvrđenih anomalija, odnosno razlika u svojstvima ispitivanog objekta.

Osnovni izvor elektromagnetne energije je Sunce. Deo te energije različitih talasnih dužina (slika 26) se apsorbuje od strane površine Zemlje, njene atmosfere i hidrosfere a deo se reflektuje. Metode daljinske detekcije tretiraju reflektovano zračenje različite talasne dužine.



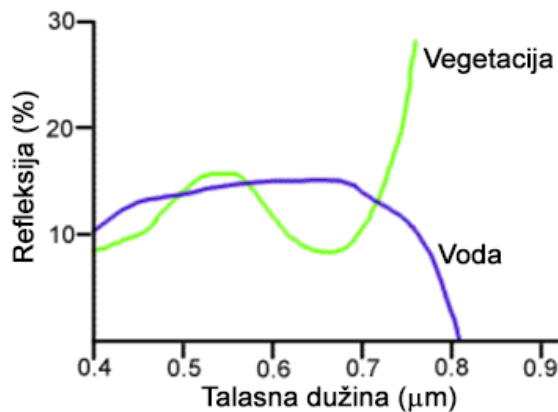
Slika 26. Prikaz elektromagnetnog spektra

U proučavanju životne sredine, različiti opsezi elektromagnetnog zračenja imaju različitu primenu. UV zranci se koriste za kontrolu i praćenje ozona u atmosferi; blisko UV zračenje se primenjuje u detekciji dinamike i difuzije zagađujućih materija; vidljivi deo spektra se koristi za praćenje



prizemnog sloja vazduha; bliski IC deo spektra se koristi u detekciji vegetacije, geološke građe i topografije; srednji IC deo se koristi za praćenje stanja vodene površine i stanja vegetacije; termalni deo IC spektra za uočavanje sušenja vegetacije kao i za kontrolu stenske mase; mikrotalasno područje za istraživanje zemljišnog pokrivača i vode.

Karakteristike nekog objekta se mogu definisati korišćenjem reflektovanih ili emitovanih elektromagnetnih talasa od strane objekta. Razlog leži u tome što svaki objekat ima jedinstvene i međusobno različite karakteristike refleksije ili emisije. U daljinskoj detekciji, merenje reflektovanog zračenja od objekta je od najvećeg interesa. Osnovna pretpostavka u daljinskoj detekciji je da svaki objekat ima unikatnu spektralnu refleksiju. Prikaz različitih količina refleksije sa različitim talasnim dužinama nekog objekta se naziva spektralni potpis. Na slici 27 se vidi da vegetacija ima veliku refleksiju u infracrvenoj oblasti a da voda u toj oblasti nema skoro nikakvu refleksiju.



Slika 27. Tipične krive spektralne refleksije za vodu i za vegetaciju (CCRS, 2007)

Energiju elektromagnetnog zračenja registruje senzor. Uopšteno, senzori predstavljaju uređaje koji vrše pretvaranje jedne fizičke veličine u neku drugu, čiji oblik je korisniji za tumačenje i analizu. U oblasti daljinske detekcije senzori se definišu kao uređaji za otkrivanje, registraciju i merenje zračenja elektromagnetne energije, sopstvene (emitovane) i/ili saopštene (reflektovane). Prema poreklu registrovane energije senzori se dele na pasivne i aktivne a prema konstrukciji i načinu rada na foto-optičke, elektro-optičke i mikrotalasne. Na osnovu broja i širine spektralnih opsega (bendova – "bands", kanala) koje registruju senzori se dele na:

- panhromatske – mere energiju refleksije u jednom širokom delu elektromagnetnog spektra,
- multispektralne – meri se refleksija u velikom broju opsega (desetine do stotine kanala),
- hiperspektralne – meri se refleksija u puno pojedinačnih opsega (stotine i hiljade kanala).

Osnovne karakteristike senzora koji se koriste u daljinskoj detekciji i snimaka elektromagnetnog zračenja su:

- prostorna rezolucija - najmanja jedinica zemljišta koja se na snimku može prepoznati (npr. 10x10 m, 250x250 m) i ona je funkcija konstrukcije senzora i visine leta, tj. orbite platforme;
- spektralna rezolucija - predstavlja blizinu i broj spektralnih kanala korišćenih u senzoru, da bi snimak imao što bolju spektralnu rezoluciju potrebni su senzori koji će registrovati zračenja iz različitog dela spektra, odnosno uske intervale talasnih dužina;
- vremenska rezolucija - vezana je za satelitske platforme i predstavlja period u kojem satelit prelazi isto područje (izraženo brojem dana) tj. period između dva uzastopna snimanja istog područja.

U ovom radu su za potrebe procene rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području Vojvodine, korišćeni satelitski snimci misije MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). MODIS je spektrometar umerene rezolucije ugrađen na satelitu Terra američke svemirske agencije NASA. MODIS ima spektralnu rezoluciju od 36 kanala i vremensku rezoluciju od 1 do 2 dana. Prostorna rezolucija je različita za različite spektralne kanale, kanali 1 - 2 imaju rezoluciju od 250 m, kanali 3 - 7 imaju rezoluciju od 500 m a kanali 8 - 36 imaju rezoluciju od 1000 m. Konkretno, korišćeni su sledeći MODIS produkti:

- MOD13A3 - mesečni vegetacioni indeksi (NDVI, EVI) prostorne rezolucije od 1000 m; spektralni kanali: 1 (620-670 nm), 2 (841-876 nm), 3 (459-479 nm) i 7 (2105-2155 nm);
- MOD09A1 - osmodnevna refleksija površine Zemlje prostorne rezolucije od 500 m; spektralni kanali: 1 (620-670 nm), 2 (841-876

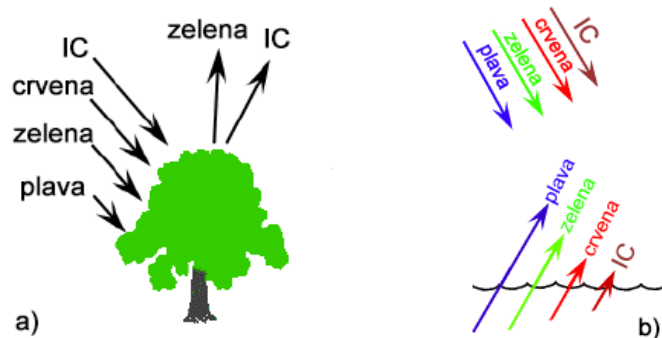
nm), 3 (459-479 nm), 4 (545–565 nm), 5 (1230–1250 nm), 6 (1628–1652 nm) i 7 (2105-2155 nm);

- MOD15A2 - osmodnevna vrednost indeksa lisne površine (LAI) i frakcije apsorbirane fotosintetičke aktivne radijacije (FAPAR) prostorne rezolucije od 1000 m.

### **Daljinska detekcija u proceni stanja vlažnosti zemljišta**

Jedan od načina korišćenja spektralnih potpisa materijala je korišćenje matematičkih funkcija kako bi se naznačili ili prikazali različiti aspekti posmatranih snimaka. Na ovaj način se mogu dobiti razni pokazatelji i indeksi bazirani na tehnologiji daljinske detekcije. Procena stanja vlažnosti zemljišta je moguće izvršiti na osnovu tzv. indeksa vegetacije i indeksa vode kao što su indeks normalizovane razlike vegetacije (NDVI), indeks normalizovane razlike vode (NDWI), indeks stanja vegetacije (VCI), poboljšani vegetacioni indeks (EVI), indeksa lisne površine (LAI), frakcija apsorbirane fotosintetičke aktivne radijacije (FAPAR) i dr.

Indeksi vegetacije i indeksi vode se baziraju na različitom odnosu spektralnih refleksija vegetacije i vode. Vegetacija i voda mogu imati sličnu refleksiju u vidljivom delu spektra, ali skoro uvek različitu refleksiju u infracrvenom opsegu. List biljaka sadrži hlorofil koji apsorbira svetlost od ljubičaste do plave i crvene talasne dužine, a zelena i infracrvena se reflektuju (slika 28a) i to daje privid da je lišće zelene boje. Kada bi ljudsko oko registrovalo i blisko-infracrvene talase, lišće bi se činilo veoma svetlo. Merenje i praćenje refleksije u blisko-infracrvenom talasnom opsegu omogućuje utvrđivanje stanja i zdravlja vegetacije. Sa druge strane, duži talasi iz oblasti vidljivog i infracrvenog dela spektra se više apsorbiraju u vodi nego kratki vidljivi talasi (slika 28b).



Slika 28. Apsorpcija i refleksija određenih talasnih dužina od strane vegetacije (a) i vode (b) (CCRS, 2007)

U nastavku su prikazani neki od najčešće korišćenih indeksa vegetacije i indeksa vode.

**NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index - indeks normalizovane razlike vegetacije) je jednostavan grafički indikator koji pokazuje da li na posmatranoj površini postoji vegetacija i u kom je stanju. NDVI se proračunava na osnovu sledeće formule:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

gde su *NIR* i *R* spektralne refleksije u blisko-infracrvenom i crvenom talasnom opsegu. U ovom radu NDVI je računat na osnovu kanala 1(*R*) i kanala 2 (*NIR*) satelitskih snimaka misije MODIS. Vrednosti NDVI su u opsegu od -1 do +1. Gusta vegetacija obično ima vrednosti od 0,3 do 0,8. Oblaci i snežni pokrivač imaju negativne vrednosti NDVI. Vodene površine (okeani, mora, jezera i reke) imaju niske refleksije u oba spektralna opsega tako da NDVI za vodene površine ima veoma nisku pozitivnu vrednost ili čak i negativnu. Golo zemljište ima malo veću refleksiju u blisko-infracrvenom delu tako da je vrednost NDVI pozitivna od 0,1 do 0,2.

**EVI** (Enhanced Vegetation Index - poboljšani vegetacioni indeks) je "optimizovan" vegetacioni indeks dizajniran da poboljša signal vegetacije povećavajući osetljivost u regionima sa gustom vegetacijom i umanjeanjem atmosferskih uticaja. Računa se formulom:

$$EVI = G \cdot \frac{NIR - R}{NIR + C_1R - C_2B + L}$$

gde su *NIR*, *R* i *B* spektralne refleksije u blisko-infracrvenom, crvenom i plavom talasnom opsegu; *C*<sub>1</sub> i *C*<sub>2</sub> su koeficijenti otpora aerosola; *G* je faktor uvećanja a *L* je koeficijent koji se odnosi na razliku u propusnosti između blisko-infracrvenih i crvenih talasa kroz krošnju vegetacije. Ako se EVI računa korišćenjem MODIS satelitskih snimaka tada se koriste kanali 1 (*R*), 2 (*NIR*) i kanal 3 (*B*) a vrednosti koeficijenata su *C*<sub>1</sub> = 6; *C*<sub>2</sub> = 7,5; *G* = 2,5; *L* = 1.

Indeks NDVI je osetljiv na hlorofil, dok je indeks EVI osetljiviji na strukturnu varijaciju vegetacije kao što su tip vegetacije i fizionomija biljaka. Ova

dva indeksa su komplementarna i često se zajedno koriste u proučavanju promena biofizičkih karakteristika vegetacije. Vrednost indeksa EVI je u opsegu od -1 do +1 a uobičajene vrednosti vegetacije su od 0,2 do 0,8. EVI se najčešće upotrebljava se procenu biomase, određivanje biofizičkih karakteristika vegetacije, kvantifikaciju evapotranspiracije ili efikasnost korišćenja vode.

**VCI** (Vegetation Condition Index - indeks stanja vegetacije) je zasnovan na indeksu NDVI. Istraživanja (Kogan, 1995) su pokazala da minimalna vrednost NDVI u višegodišnjem periodu zavisi od dostupne vlage i od prirodnih uslova a da sve ostale vrednosti, uključujući i maksimalnu vrednost NDVI zavise i od vremenskih prilika. Na osnovu toga, razvijen je indeks VCI kao indikator stresa životne sredine. VCI je normalizovana vrednost indeksa NDVI na bazi dinamičkog opsega u višegodišnjem periodu i računa se po formuli:

$$VCI_i = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \cdot 100\%$$

gde su  $VCI_i$  i  $NDVI_i$  vrednosti indeksa VCI i NDVI za datum  $i$  a  $NDVI_{max}$  i  $NDVI_{min}$  su maksimalna i minimalna vrednost NDVI u višegodišnjem periodu.

**LAI** (Leaf Area Index - indeks lisne površine) predstavlja odnos površine listova prema površini vegetacionog prostora. Koristi se za procenu primarne fotosintetičke produkcije, procenu dinamike formiranja organske materije, procenu evapotranspiracije, procenu uticaja klime na stanje vegetacije i dr. Koristi se i kao ulazna veličina u mnogim modelima procesa ekosistema. Satelitska misija MODIS proračunava indeks lisne površine pomoću algoritma baziranog na sedam atmosfersko-korigovanih dvosmernih spektralnih refleksija ili na osnovu linerane regresije između vrednosti LAI izmerenih na terenu i vrednosti indeksa NDVI. LAI je bezdimenzionalna vrednost u opsegu od 0 do 10. Vrednost 0 označava golo zemljište, vrednost 1 označava da postoji jedan sloj lišća koji u potpunosti prekriva jedinicu površine, vrednost od 0 do 1 označava da lišće ne pokriva u potpunosti jediničnu površinu a vrednosti preko 1 označavaju da postoji više slojeva lišća po jediničnoj površini.

**FAPAR** (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation - frakcija apsorbovane fotosintetičke aktivne radijacije) je parametar koji se koristi u daljinskoj detekciji i u modelovanju ekosistema a označava udeo fotosintetičke aktivne radijacije usvojene od strane biljaka. Fotosintetička

aktivna radijacija je deo elektromagnetnog spektra u opsegu od 400 do 700 nm koji biljke koriste u procesu fotosinteze. Koristi se u mnogim modelima ekosistema zbog toga što ima veliki uticaj na razmenu energije, isparavanje vode i ugljen dioksida između površine Zemlje i atmosfere. Koristi se za procenu primarne fotosintetičke produkcije i procenu stanja vegetacije. Takođe, kao i indeks LAI, satelitska misija MODIS proračunava FAPAR pomoću algoritma baziranog na sedam atmosfersko-korigovanih dvosmernih spektralnih refleksija ili na osnovu linerane regresije između vrednosti FAPAR izmerenih na terenu i vrednosti indeksa NDVI. Vrednosti indeksa FAPAR se kreću u opsegu od 0 do 1. Vrednosti bliske 0 označavaju da se veoma malo fotosintetičke aktivne radijacije apsorbuje od strane biljaka a vrednosti bliske 1 označavaju da se većina fotosintetičke aktivne radijacije apsorbuje.

**NDWI** (Normalized Difference Water Index - indeks normalizovane razlike vode) - McFeeters (1996) je po uzoru na NDVI izveo sledeću formulu za NDWI:

$$NDWI = \frac{G - NIR}{G + NIR}$$

gde su *G* refleksija zelenog dela spektra (MODIS kanal 4) a *NIR* je refleksija blisko-infracrvenog dela spektra (MODIS kanal 2). Na ovaj način potisnut je signal vegetacije a pojačan signal površinske vode. NDWI ima opseg vrednosti od -1 do +1. Vodene površine imaju pozitivne vrednosti a zemljište i vegetacija imaju vrednosti oko 0 ili negativne vrednosti.

Gao (1996) je izveo drugačiju formulaciju za NDWI koji se odnosi na procenu sadržaja vode u vegetaciji:

$$NDWI_{GAO} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

gde su *NIR* refleksija blisko-infracrvenog dela spektra (MODIS kanal 2) a *SWIR* je refleksija kratkotalasnog-infracrvenog dela spektra (MODIS kanal 5). Refleksija u kratkotalasno-infracrvenom delu spektra odražava promene u sadržaju vode u vegetaciji a refleksija u blisko-infracrvenom delu spektra zavisi od interne strukture lišća i sadržaja suve materije u lišću ali ne i sadržaja vode. Kombinacija ova dva spektralna opsega omogućuje da se preciznije odredi sadržaj vode u biljkama (Ceccato i sar., 2001). Ovakva formulacija indeksa

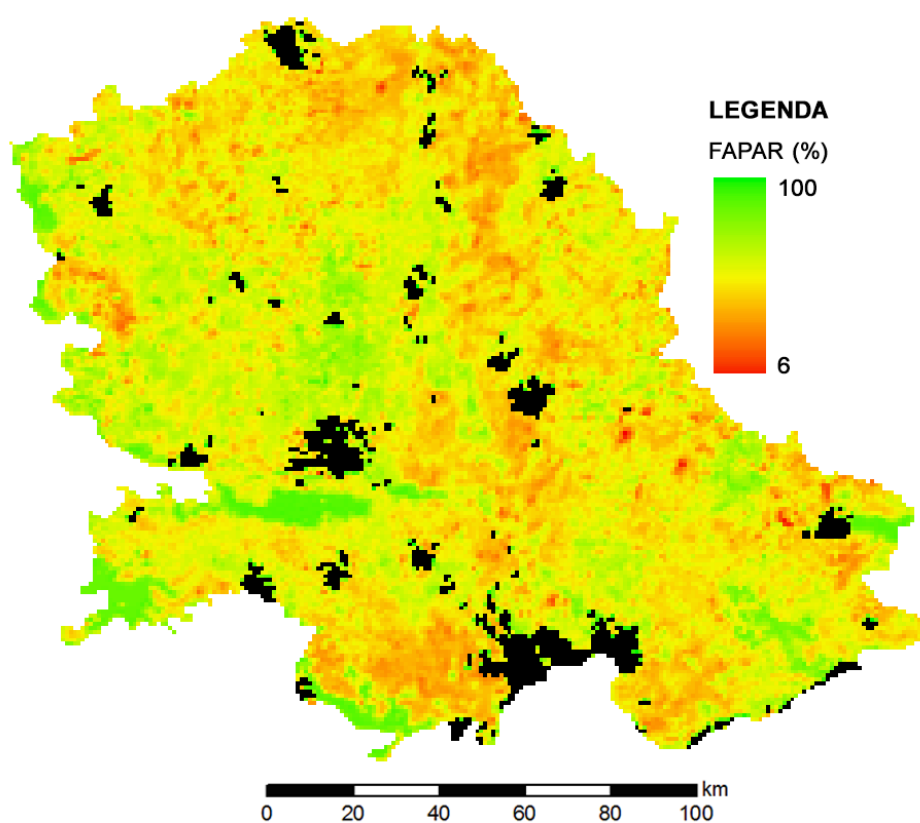
NDWI je u čestoj upotrebi u studijama monitoringa i rane najave suše (Ceccato i sar. 2002; Gu i sar., 2007). Postoje i modifikacije Gao-ve formule za NDWI, tako da su umesto MODIS-ovog kanala 5 za refleksiju kratkotalasnog-infracrvenog dela spektra autori Cheng i sar. (2008) koristili kanal 6, a autori Gu i sar. (2007) kanal 7 pokušavajući da još preciznije detektuju sadržaj vode u vegetaciji.

**Anomalije indeksa vegetacije i indeksa vode** - Indeksi vegetacije i vode se ne mogu direktno koristiti kao pokazatelji suše ili viška vode, jer suša i višak vode u suštini predstavljaju odstupanje u odnosu na normalno stanje vlažnosti. Kao indikatori suše ili viška vode koriste se anomalije indeksa vegetacije i indeksa vode. Anomalija indeksa pokazuje veličinu odstupanja trenutne vrednosti indeksa u odnosu na višegodišnji prosek:

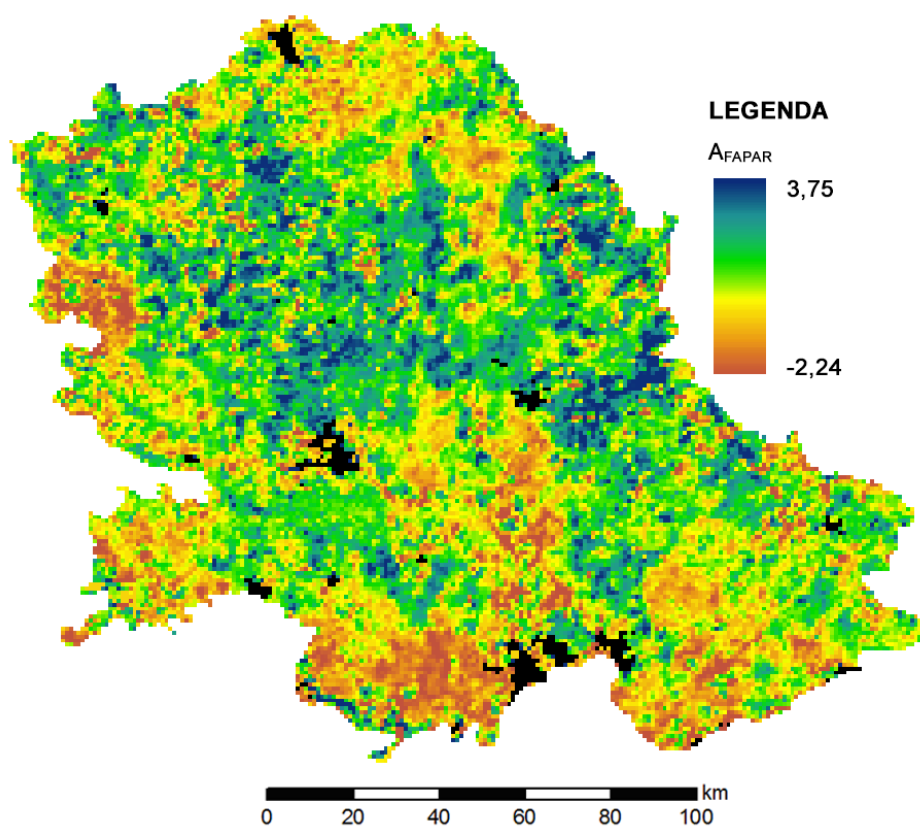
$$A_t = \frac{X_t - \bar{X}}{\sigma}$$

gde je  $A_t$  anomalija indeksa u trenutku  $t$ ,  $X_t$  je vrednost indeksa u trenutku  $t$  u tekućoj godini,  $\bar{X}$  je srednja vrednost indeksa trenutka  $t$  u višegodišnjem periodu a  $\sigma$  je standardna devijacija indeksa. Na primer, ako se posmatra suša u avgustu mesecu neke godine, tada se srednja vrednost i standardna devijacija računaju na osnovu višegodišnjeg niza vrednosti indeksa vegetacije ili vode za avgust mesec. Negativne vrednosti anomalije ukazuju na sušno stanje a pozitivne vrednosti na stanje povećane vlažnosti.

Na slikama 29 i 30 su prikazane karte indeksa FAPAR i anomalije tog indeksa za avgust mesec 2011. godine. Na karti 29 se mogu uočiti reoni koje je zahvatila suša, vrednosti anomalije su negativne, odnosno vrednosti indeksa FAPAR u avgustu 2011. su niže od višegodišnjeg proseka (2000. - 2012.) za mesec avgust.



Slika 29. Karta indeksa FAPAR za avgust mesec 2011. godine



Slika 30. Karta anomalije indeksa FAPAR za avgust mesec 2011. godine



## **6. REZULTATI RADA**

Procene rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području Vojvodine su izvršene odvojeno. Posebno je izvršena procena rizika od suficita vode a posebno procena rizika od deficita vode. Obe procene rizika se sastoje iz tri osnovne faze, a to su: procena ranjivosti, procena hazarda i na kraju kombinacijom ranjivosti u hazarda dobijene su procene rizika. U nastavku su detaljno prikazani rezultati rada u ovom istraživanju.

### **6.1. PROCENA RIZIKA OD DEFICITA VODE NA MELIORACIONOM PODRUČJU VOJVODINE**

Kao što je prethodno već rečeno, jedna od najčešće korišćenih metoda procene rizika se bazira na formuli koju su predložili Blaikie i sar. (1994) gde je rizik jednak proizvodu hazarda i ranjivosti. Prema tome, da bi se procenio rizik od suše potrebno je prethodno proceniti ranjivost na sušu i proceniti opasnost od pojave suše, odnosno hazard.

#### **Procena ranjivosti na sušu**

Faktori koji utiču na ranjivost područja na sušu, odnosno indikatori koji će predstavljati komponente ranjivosti na sušu su određeni na osnovu prirodnih uslova i antropogenih uticaja na području Vojvodine. Faktori su odabrani na osnovu njihovog uticaja na samu pojavu suše ili na ublažavanje efekata suše, na osnovu dostupnosti podataka i na osnovu istraživanja brojnih autora u oblasti procene ranjivosti na sušu. Odabrani su sledeći faktori ranjivosti na poljoprivrednu sušu:

- karakteristike pedološkog pokrivača,
- karakteristike reljefa,
- stanje i način korišćenja zemljišnog pokrivača,
- potrebe poljoprivrednih useva za navodnjavanjem i
- izgrađenost sistema za navodnjavanje.

Karakteristike pedološkog pokrivača su bitne u smislu vodno-vazdušnog režima zemljišta od koga zavisi stepen usvajanja raspoložive vlage i hraniva od strane kulturnih biljaka, posebno u sušnim periodima. Kao faktori ranjivosti, korišćeni su sledeće karakteristike pedološkog pokrivača: količina akumulirane vode, irigabilne klase zemljišta i proizvodne osobine zemljišta.

Podaci o načinu korišćenja zemljišnog pokrivača omogućavaju da se preciznije utvrde granice područja od interesa vezano za pojavu poljoprivredne suše, a to su poljoprivredne površine i površine koje se potencijalno mogu koristiti za poljoprivrednu proizvodnju. Za potrebe procene ranjivosti na poljoprivrednu sušu zemljišna teritorija je grupisana u tri grupe prema načinu korišćenja: pašnjaci, oranice i ostale površine.

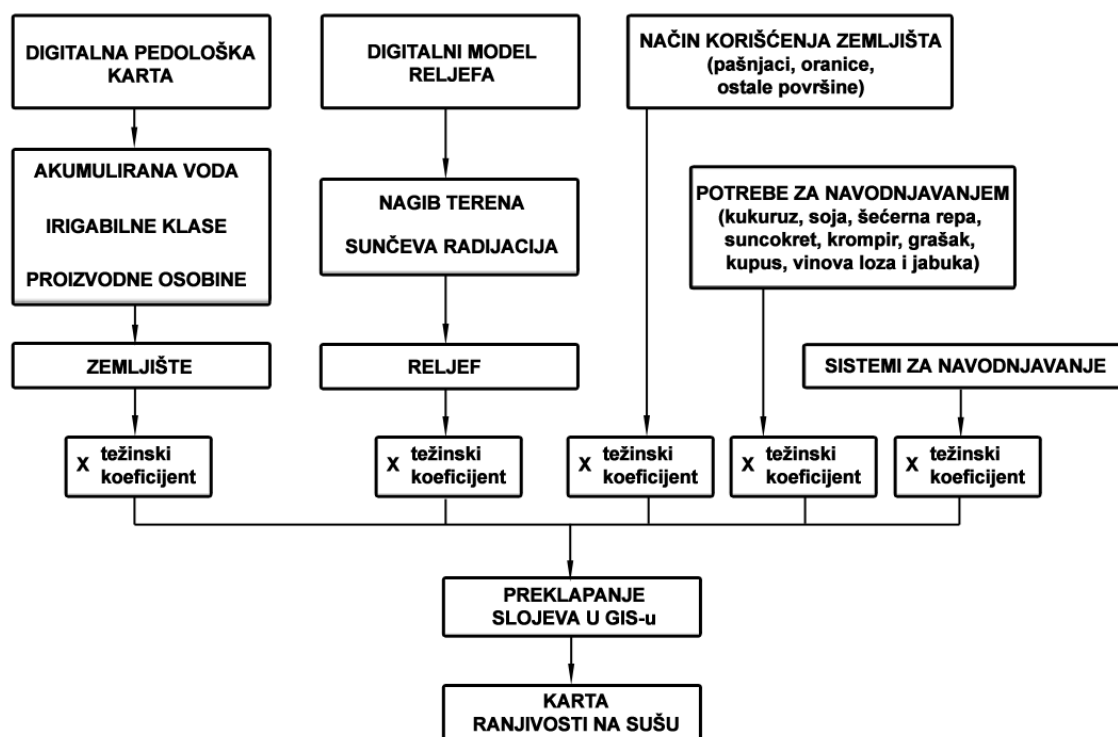
Reljef je takođe jedan od faktora koji utiču na pojavu suše. U tom smislu bitne karakteristike reljefa su pad terena (utiče na zadržavanje ili oticanje vode sa posmatranog područja) i količina primljene Sučeve radijacije (zavisi od nadmorske visine, nagiba, ekspozicije terena, geografske lokacije i datuma).

Reoni u kojima je utvrđeno da su u višegodišnjem periodu potrebe poljoprivrednih biljaka za vodom manje, imaju veću mogućnost da izbegnu negativne efekte suše, odnosno posledice suše će biti blaže. U ovom radu potrebe za navodnjavanjem su računane za devet poljoprivrednih kultura: kukuruz, soja, šećerna repa, suncokret, krompir, grašak, kupus, vinova loza i jabuka.

Izgradnja i korišćenje brojnih tipova sistema za navodnjavanje omogućava otklanjanje ili ublažavanje posledica suše.

Postupak procene ranjivosti na poljoprivrednu sušu odvijace se prema dijagramu toka prikazanog na slici 31. Izvršice se korišćenjem GIS softvera na način koji je opisan u poglavlju 5. Materijal i metode rada. Koristiće se tehnike klasifikacije, reklasifikacije i preklapanja slojeva a težinski koeficijenti slojeva biće određeni objektivnom metodom entropije. Da bi se u GIS-u moglo izvršiti preklapanje slojeva, koji mogu sadržati različite tipove podataka, slojeve je potrebno standardizovati, odnosno klasifikovati po određenom kriterijumu. Klasifikacijom slojeva po određenom kriterijumu se svim slojevima dodeljuje isti tip podataka i u istom opsegu. U ovom radu će se ulaznim slojevima

klasifikacijom dodeliti celobrojne vrednosti u opsegu od 1 do 5, gde 1 označava najmanju ranjivost, hazard ili rizik a 5 označava najveću.

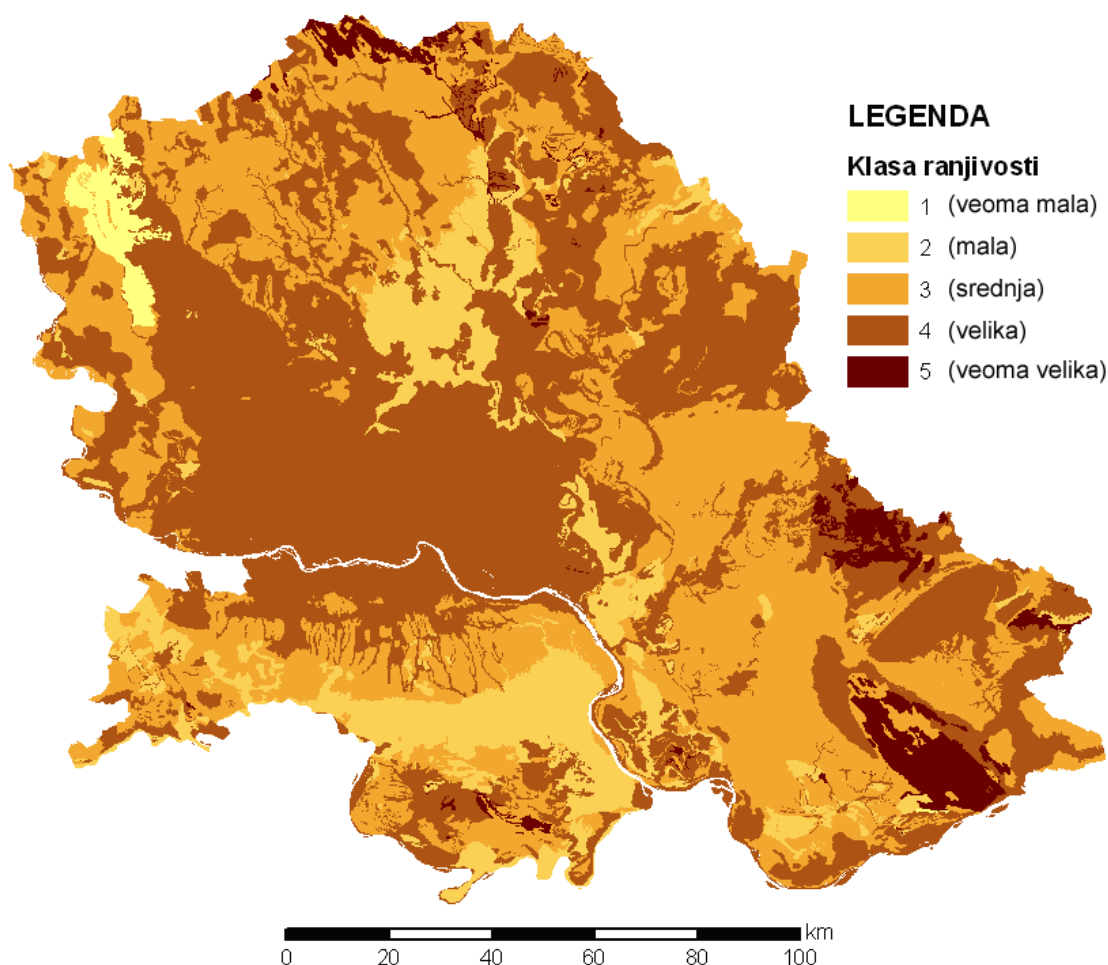


Slika 31. Dijagram toka procene ranjivosti na poljoprivrednu sušu

### Karakteristike pedološkog pokrivača

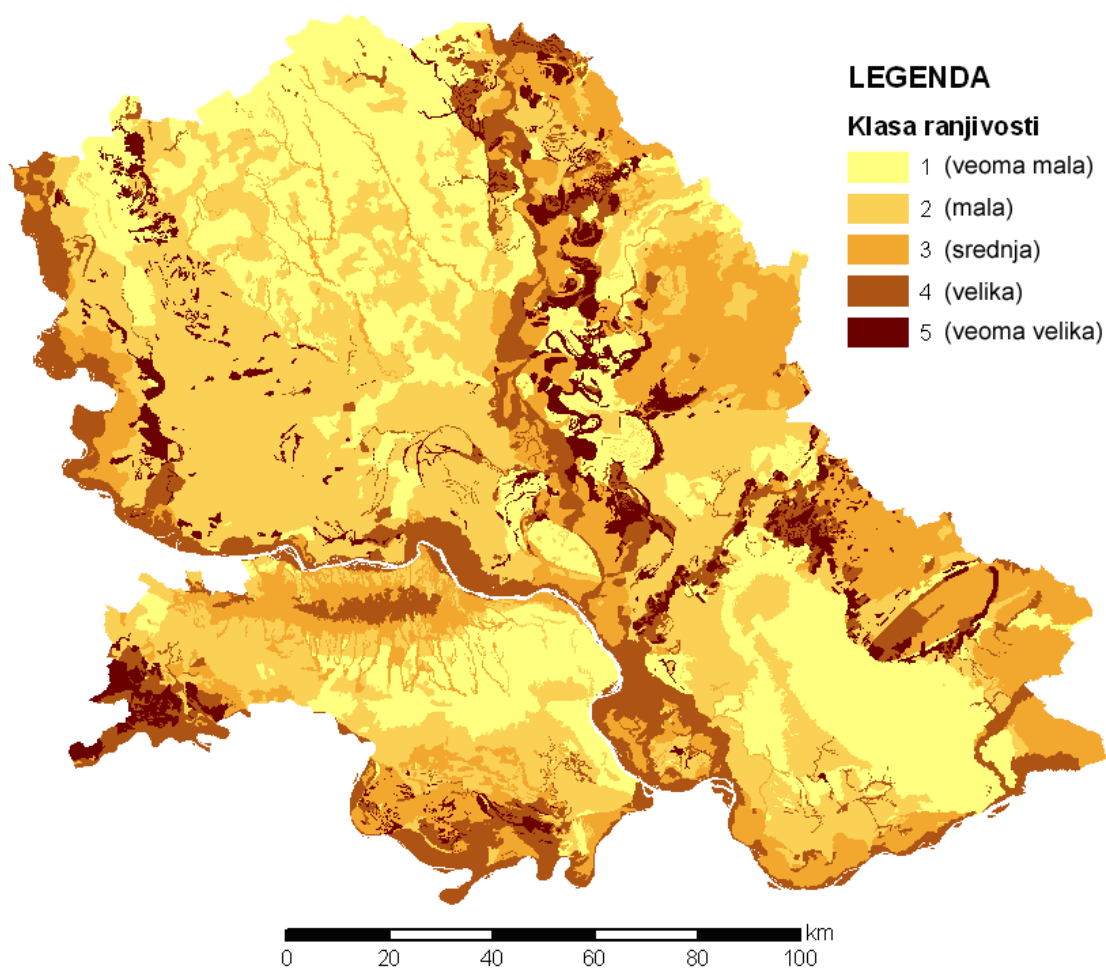
Na osnovu informacija sadržanih u digitalnoj pedološkoj karti, korišćenjem GIS softvera dobijene su izvedene karte, odnosno slojevi akumulirane vode u zemljištu, irigabilne klase i proizvodne klase zemljišta. Sloj akumulirane vode u zemljištu je dobijen proizvodom dubine soluma i količine pristupačne vode.

**Akumulirana voda** - Vrednosti akumulirane vode u zemljištu se kreću u opsegu od 0,5 do 20 cm (slika 14). Grupisanjem vrednosti ovog sloja na pet klasa jednakih opsega dobija se karta na slici 32. Oko 1% zemljišta Vojvodine spada u 1. klasu ranjivosti (16,1 cm – 20 cm), oko 12% u 2. klasu (12,2 cm – 16,1 cm), oko 38% u 3. klasu (8,3 cm – 12,2 cm), oko 48% u 4. klasu (4,4 cm – 8,3 cm) a oko 3% zemljišta spada u 5. klasu (0,5 cm – 4,4 cm) ranjivosti prema ovom faktoru.



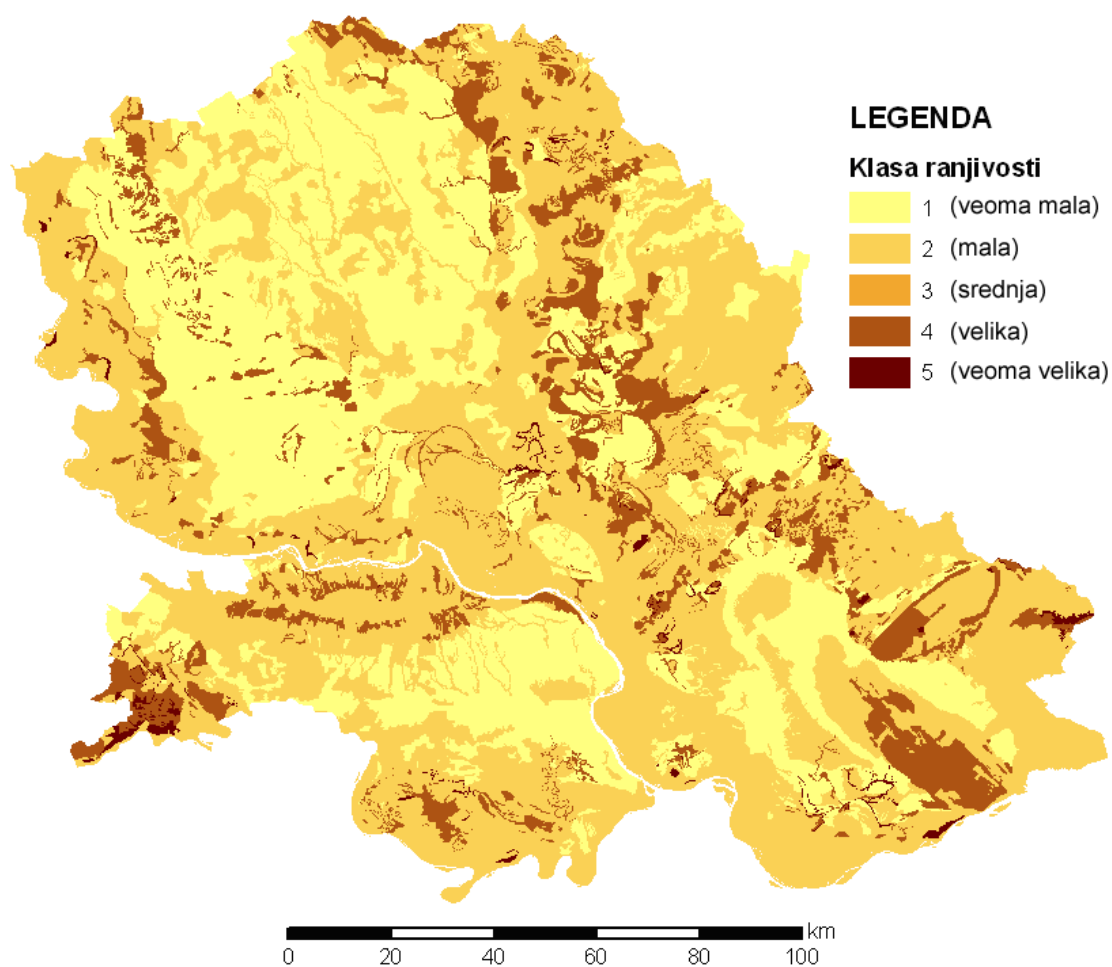
Slika 32. Karta akumulirane vode u zemljištu klasifikovana prema ranjivosti na sušu

**Irigabilne klase** – Zemljišta Vojvodine su podeljena na 5 irigabilnih klasa (I, II, IIIa, IIIb, IIIc). Najpogodnija zemljišta za navodnjavanje su u I klasi a najmanje pogodna zemljišta su u klasi IIIc. Reklasifikacijom je klasi I dodeljena vrednost 1 (1. klasa ranjivosti) , i tako redom do klase IIIc kojoj je dodeljena vrednost 5, slika 33. Oko 28% zemljišta Vojvodine spada u I irigabilnu klasu (1), 34% spada u II irigabilnu klasu (2), 18% spada u IIIa irigabilnu klasu (3), 14% spada u IIIb irigabilnu klasu (4) a oko 6% zemljišta spada u IIIc irigabilnu klasu odnosno u 5. klasu ranjivosti prema ovom faktoru.



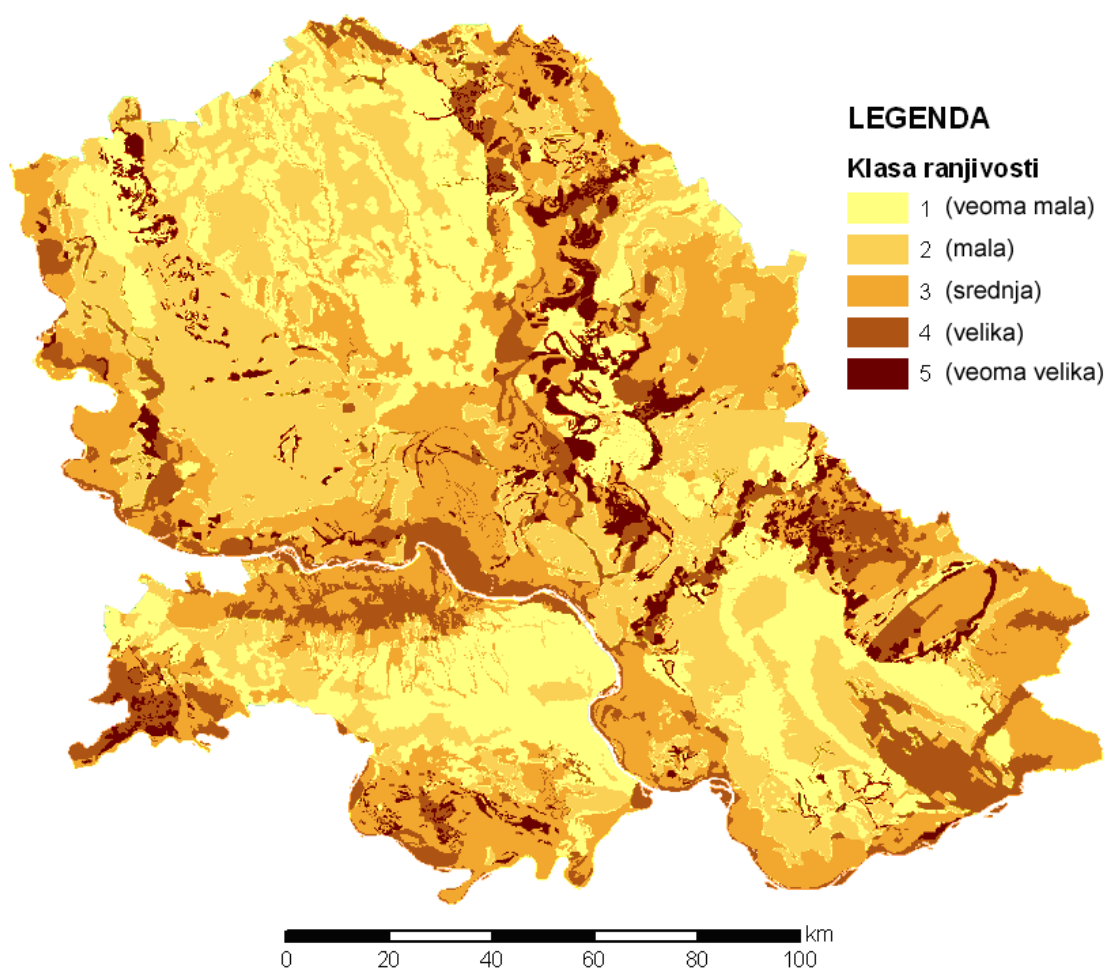
Slika 33. Karta pogodnosti zemljišta za navodnjavanje klasifikovana prema ranjivosti na sušu

**Proizvodne osobine zemljišta** – Zemljišta Vojvodine su prema proizvodnim osobinama podeljena u četiri grupe. Reklasifikacija je izvršena na sledeći način: zemljištima sa najboljim proizvodnim osobinama je dodeljena 1. klasa ranjivosti, zemljištima sa nešto slabijim proizvodnim osobinama je dodeljena 2. klasa ranjivosti, zemljištima sa slabim proizvodnim osobinama je dodeljena 4. klasa ranjivosti a zemljištima sa vrlo niskom plodnošću je dodeljena 5. klasa ranjivosti po ovom kriterijumu, slika 34. Oko 34% zemljišta Vojvodine imaju visoku proizvodnu vrednost (1), 54% zemljišta imaju nešto slabije proizvodne osobine (2), 11% zemljišta imaju slabe proizvodne vrednosti (4) a oko 1% zemljišta su vrlo niske plodnosti i spadaju u 5. klasu ranjivosti po ovom faktoru.



Slika 34. Karta proizvodnih osobina zemljišta klasifikovana prema ranjivosti na sušu

Aritmetičkim preklapanjem slojeva "Akumulirana voda", "Irigabilne klase" i "Proizvodne osobine zemljišta", odnosno njihovim sabiranjem a zatim klasifikacijom rezultujućeg sloja u pet ekvidistantnih klasa sa vrednostima od 1 do 5 dobijena je karta na slici 35. Ona predstavlja komponentu ranjivosti na poljoprivrednu sušu koja se odnosi na karakteristike pedološkog pokrivača. Ovom sloju je dodeljen naziv "Zemljište". Oko 21% teritorije Vojvodine ima nisku vrednost ranjivosti na poljoprivrednu sušu, posmatrajući sa aspekta karakteristike zemljišta, i spada u 1. klasu ranjivosti. Oko 31% teritorije spada u 2. klasu ranjivosti, 30% spada u 3. klasu, 13% u 4. klasu i oko 6% teritorije Vojvodine ima visoku ranjivost na sušu po kriterijumu karakteristika pedološkog pokrivača.



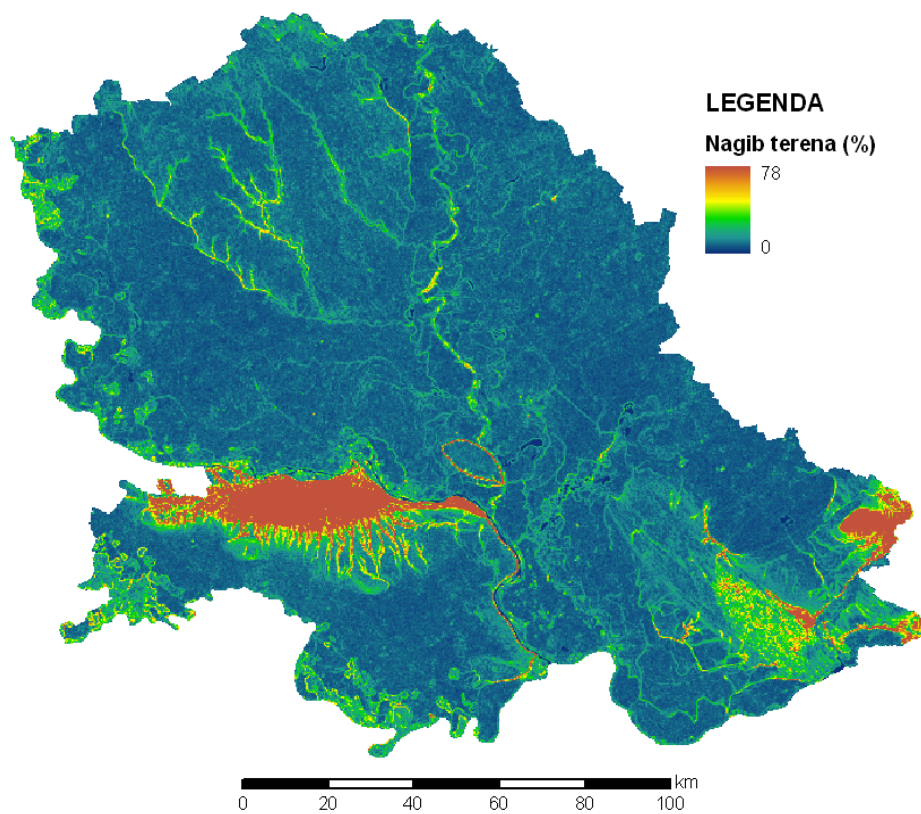
Slika 35. Karta ranjivosti na sušu prema karakteristikama pedološkog pokrivača

### **Karakteristike reljefa**

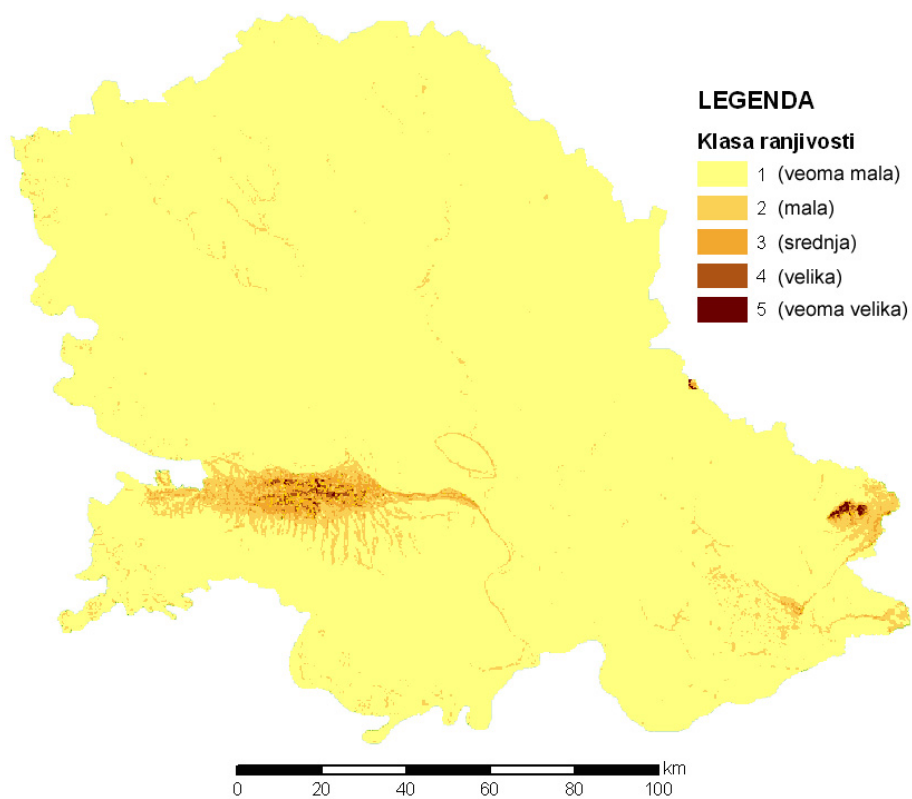
Na osnovu digitalnog modela reljefa izvedene su karte nagiba terena i količine Sunčeve radijacije.

**Nagibi terena** su na teritoriji Vojvodine u opsegu od 0% do 78% (slika 36). Klasifikacija ovog sloja je izvršena dodeljivanjem vrednosti od 1 do 5 određenim opsezima nagiba terena, slika 37. Najniža ranjivost na sušu, vrednost 1, je dodeljena površinama sa blagim nagibima u opsegu od 0% do 5%, vrednost 2 je dodeljena površinama sa nagibima u opsegu od 5% do 15%, vrednost 3 je dodeljena površinama sa nagibima od 15% do 25%, vrednost 4 je dodeljena površinama sa nagibima od 25% do 35% a vrednost 5 je dodeljena površinama sa nagibima terena preko 35%.





Slika 36. Nagib terena

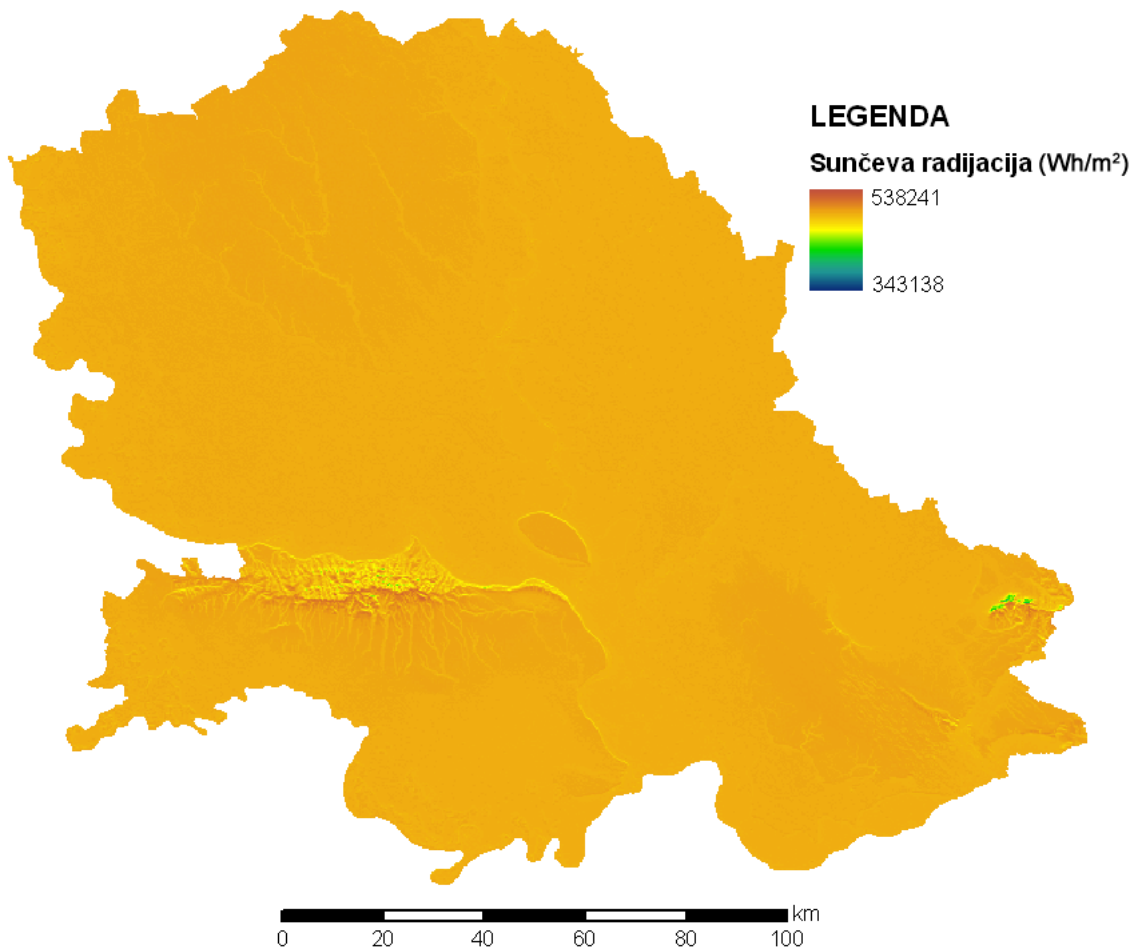


Slika 37. Karta nagiba terena klasifikovana prema ranjivosti na sušu

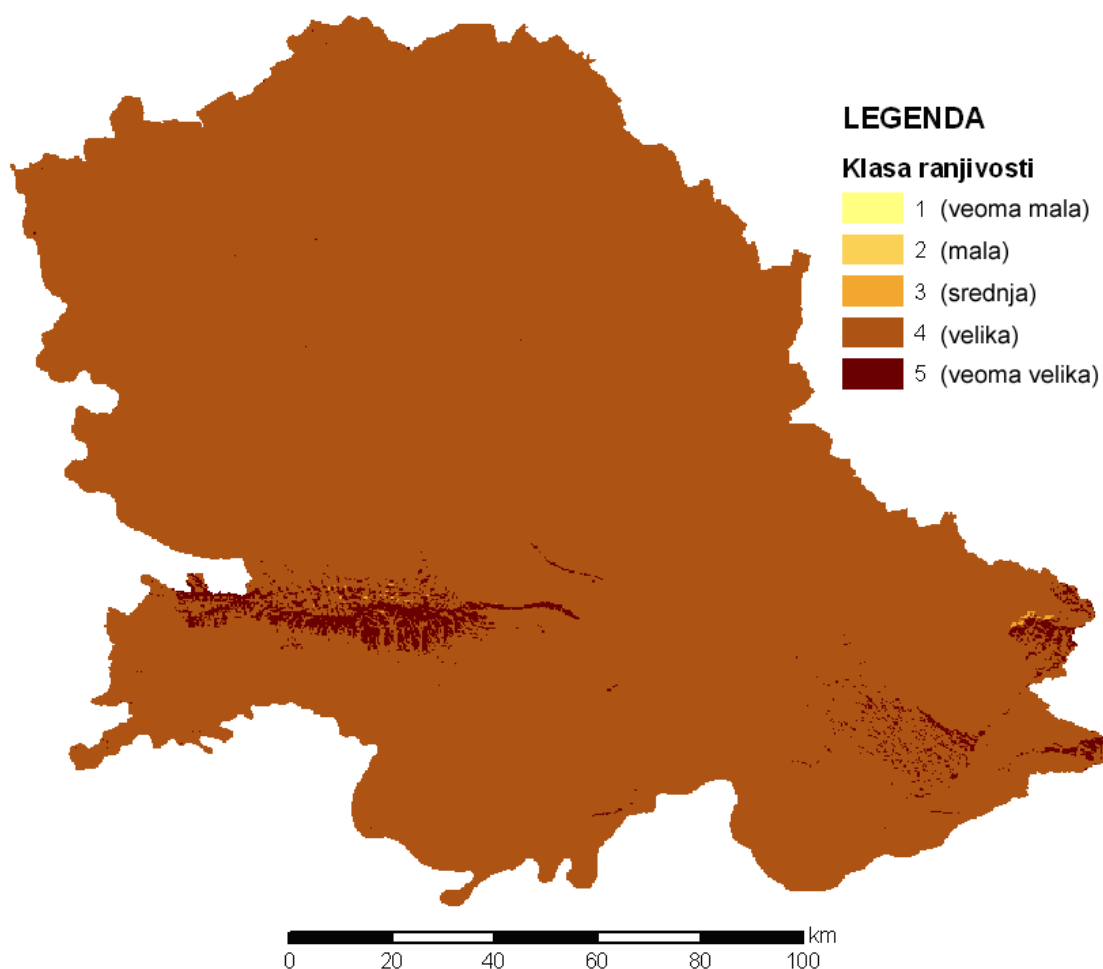


Veći deo teritorije Vojvodine, oko 95% ima veoma blage nagibe terena u opsegu od 0% do 5%, a svega 5% teritorije je sa većim nagibima.

**Sunčeva radijacija** - Pod Sunčevom radijacijom se podrazumeva količina energije koja dospe na površinu Zemlje Sunčevim zracima. Izražava se u jedinicama  $\text{Wh/m}^2$ . Globalno gledajući ona zavisi od geografske lokacije, udaljenosti od Sunca, doba dana i doba godine, a posmatrano lokalno faktori koji utiču na količinu primljene Sunčeve radijacije su i nadmorska visina, nagib i ekspozicija terena. Sunčeva radijacija je veoma važan faktor mnogih fizičkih i bioloških procesa na planeti Zemlji, a s tim u vezi i važan faktor nastanka pojave suše. U ovom radu je Sunčeva radijacija računata na tromesečnom nivou kao suma Sunčeve radijacije u mesecima jun, jul i avgust. U tom periodu su vrednosti Sunčeve radijacije na teritoriji Vojvodine u opsegu od oko 343 - 538  $\text{kWh/m}^2$ , slika 38. Ova karta je klasifikovana u pet ekvidistantnih klasa ranjivosti sa vrednostima od 1 do 5, slika 39.



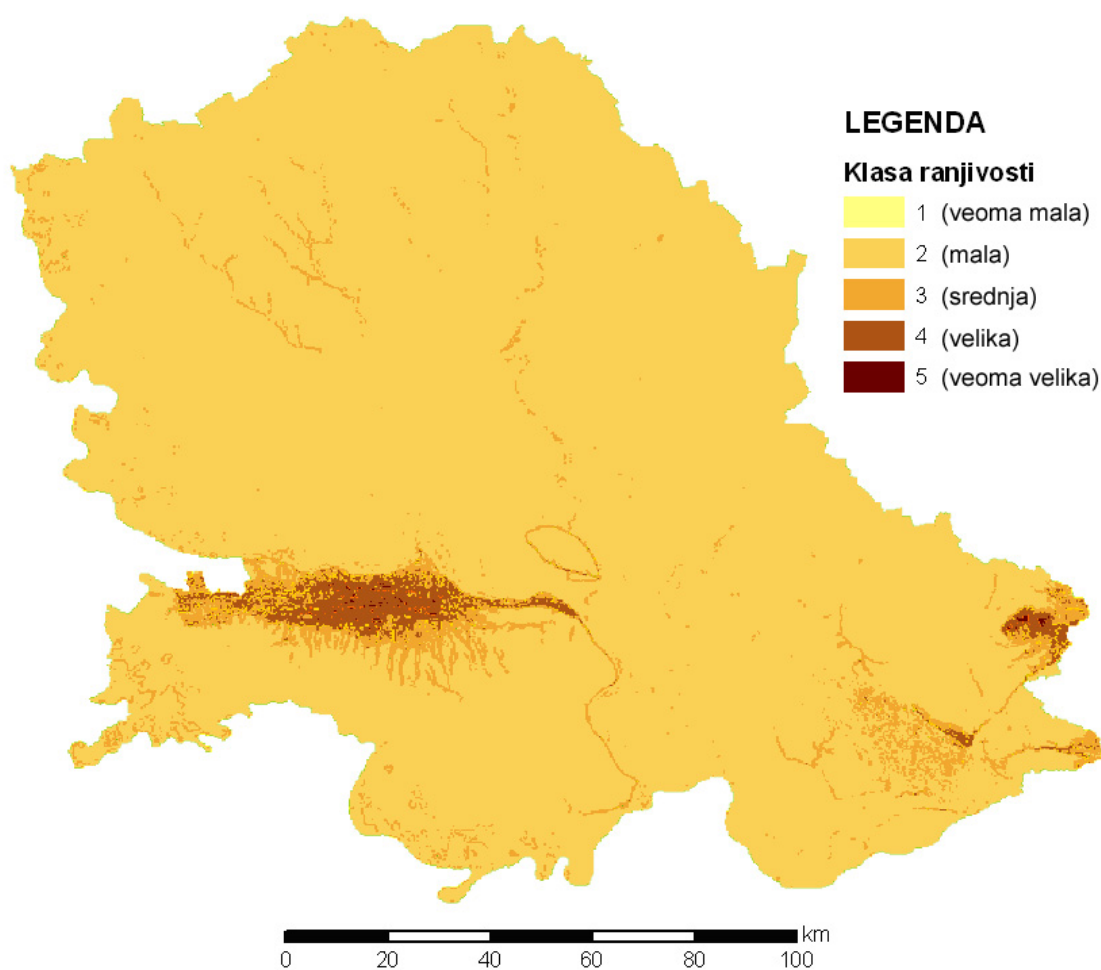
Slika 38. Sunčeva radijacija



Slika 39. Karta Sunčeve radijacije klasifikovana prema ranjivosti na sušu

Najveći deo Vojvodine, oko 99% teritorije, ima visoke vrednosti Sunčeve radijacije od preko  $460 \text{ kWh/m}^2$  (klase ranjivosti 4 i 5) u periodu jun, jul i avgust.

Sabiranjem slojeva "Nagib terena" i "Sunčeva radijacija" a zatim klasifikacijom rezultujućeg sloja u pet ekvidistantnih klasa sa vrednostima od 1 do 5 dobijena je karta na slici 40. Ona predstavlja komponentu ranjivosti na poljoprivrednu sušu koja se odnosi na karakteristike reljefa. Ovom sloju je dodeljen naziv "Reljef". Veći deo teritorije Vojvodine, oko 95%, ima nisku vrednost ranjivosti na sušu po ovom kriterijum, klase 1 i 2, a svega 5% teritorije ima više vrednosti ranjivosti na sušu, klase 3 - 5.

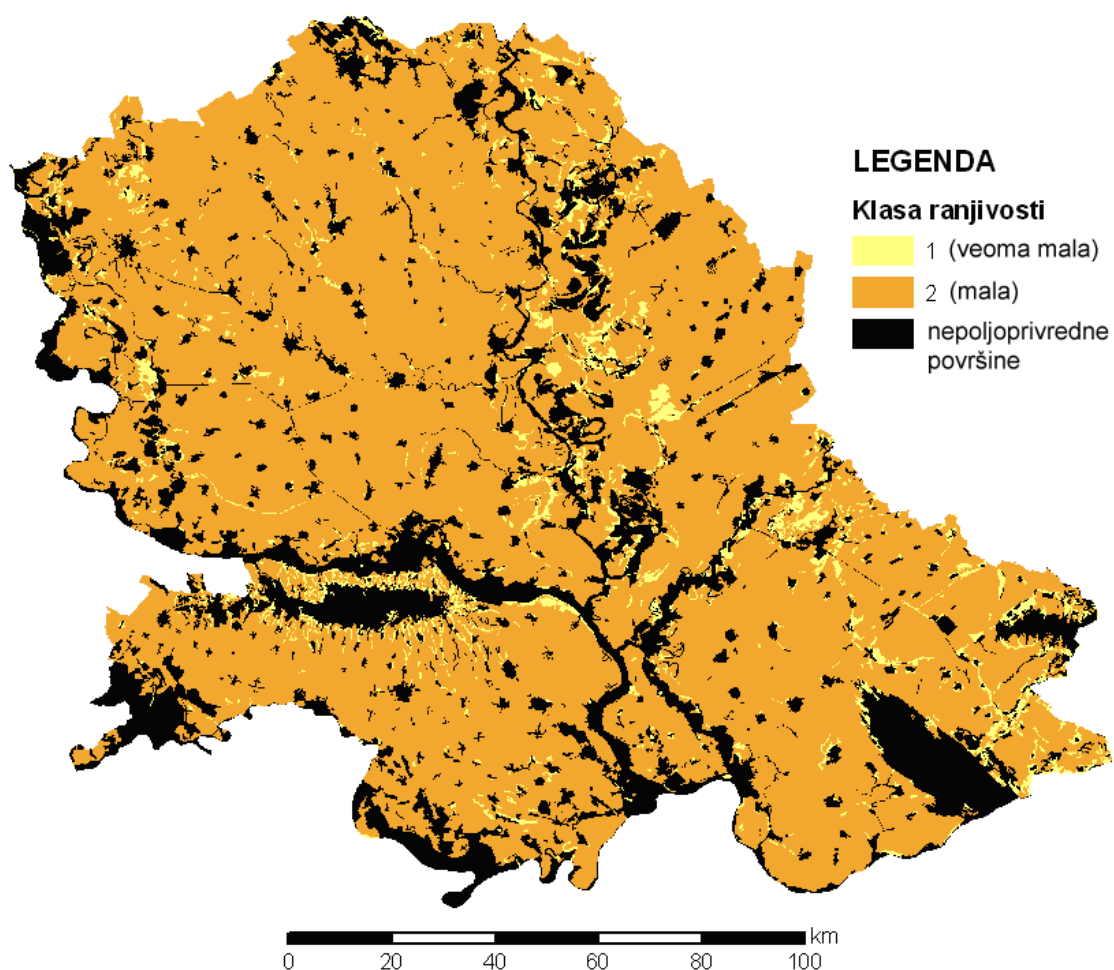


Slika 40. Karta ranjivosti na sušu prema karakteristikama reljefa

### **Način korišćenja zemljišnog pokrivača**

Sloj načina korišćenja zemljišta je izveden iz CORINE Land Cover 2006 (CLC2006) prostorne baze podataka o zemljišnom pokrivaču. Reklasifikacija CLC2006 prostorne baze podataka je izvršena tako što je klasama "Pašnjaci" i "Pretežno poljoprivredna zemljišta s većim područjima prirodne vegetacije" dodeljena vrednost 1 koja označava najnižu vrednost ranjivosti na sušu, klasama "Nenavodnjavano obradivo zemljište", "Vinogradi", "Plantaže voćaka i znatog voća" i "Kompleks kultivisanih parcela" je dodeljena vrednost 2 koja označava nešto veći stepen ranjivosti, a ostale klase su izuzete iz procene rizika od poljoprivredne suše, slika 41. Tu spadaju urbane i veštačke površine, šumska područja i vodene površine. Pašnjacima i poljoprivrednim područjima gde je prirodna vegetacija znatno zastupljena je dodeljena niža vrednost ranjivosti na sušu nego ostalim poljoprivrednim površinama zbog veće

prilagodljivosti vegetacije na tim područjima vremenskim prilikama (Wilhelmi i Wilhte, 2002).

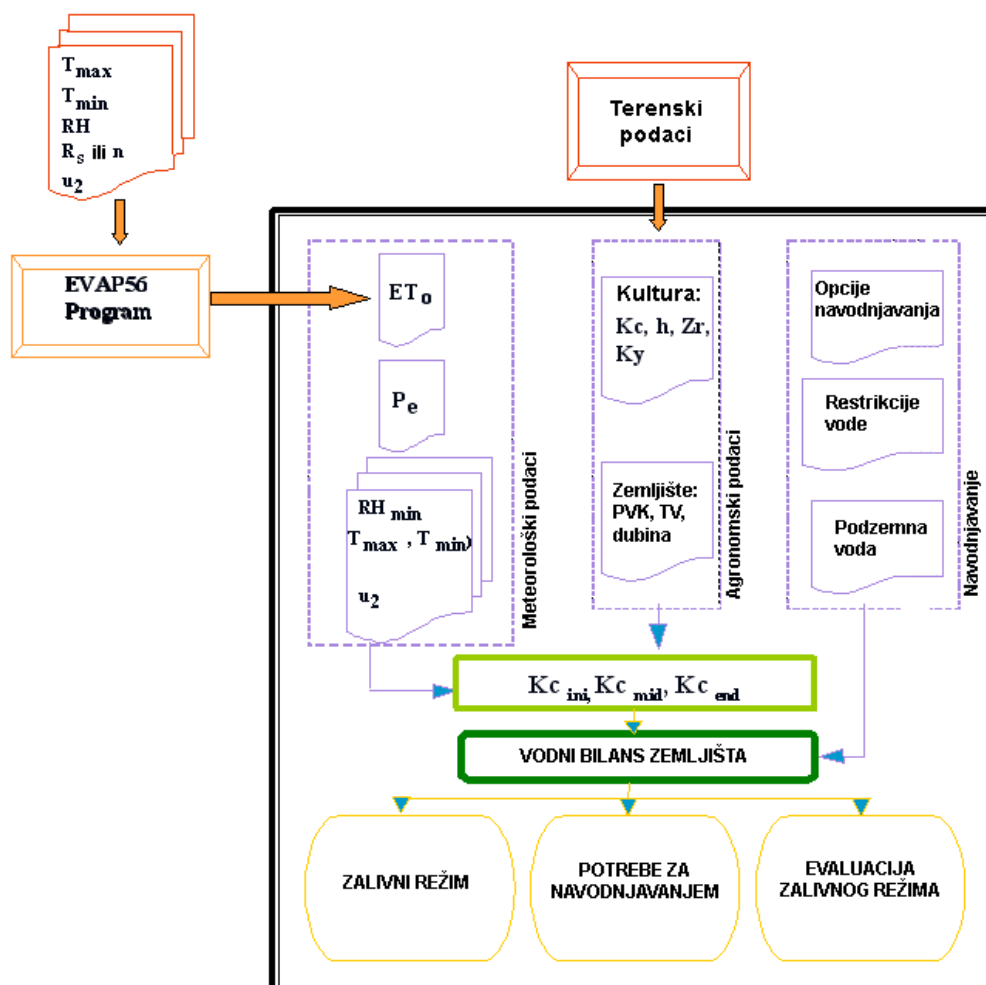


*Slika 41. Reklasifikovana karta zemljišnog pokrivača*

### **Potrebe poljoprivrednih kultura za navodnjavanjem**

Potrebe poljoprivrednih kultura za navodnjavanjem su određene korišćenjem simulacionog modela WinISAREG (Pereira i sar., 2003; Parades i Pereira, 2010) koji se bazira na FAO-56 metodologiji za proračun evapotranspiracije, vodnog bilansa i potreba za navodnjavanjem (Allen i sar., 1998). Uopštena šema načina rada modela WinISAREG je data na slici 42.

Model na osnovu meteoroloških podataka, karakteristika poljoprivrednih kultura, karakteristika zemljišta, podataka o uslovima navodnjavanja, restrikcijama vode i uticaja podzemnih voda proračunava vodni bilans zemljišta i određuje potrebe za navodnjavanjem, zalivni režim ili može vršiti evaluaciju postojećeg zalivnog režima.



Slika 42. Uopšten dijagram toka proračuna modela WinISAREG, (Parades and Pereira, 2010)

Potrebe za navodnjavanjem su proračunate za devet poljoprivrednih kultura (kukuruz, soja, šećerna repa, suncokret, krompir, grašak, kupus, vinova loza i jabuka) 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. Evapotranspiracija useva je računata na osnovu koeficijenata useva za određene faze razvoja. Za proračun koeficijenata kulture, vegetacion period je podeljen na četiri faze: početna ( $L_p$ ), razvojna ( $L_r$ ), srednja ( $L_s$ ) i kasna faza ( $L_k$ ). Vrednosti koeficijenata kulture  $k_c$  se menjaju sa fazama razvoja, od  $k_{cp}$  u početnoj fazi,  $k_{cs}$  u srednjoj fazi do  $k_{ck}$  u kasnoj fazi razvoja. Podaci za izabrane poljoprivredne kulture su dati u tabeli 8 na osnovu podataka iz Allen i sar. (1998) i Trajković (2009).

**Tabela 8. Vrednosti koeficijenta kultura po fazama razvoja**

Usev	Datum setve	Trajanje faza razvoja L (dani)				$\Sigma L$ (dani)	$k_c$		
		$L_p$	$L_r$	$L_s$	$L_k$		$k_{cp}$	$k_{cs}$	$k_{ck}$
Kukuruz	15.04	30	40	50	30	150	0,55	1,20	0,60
Soja	15.04	30	40	60	20	150	0,50	1,10	0,65
Šećerna repa	01.04	45	45	60	30	180	0,60	1,20	1,00
Suncokret	01.05	30	30	45	30	135	0,60	1,10	0,35
Krompir	01.04	30	30	60	30	150	0,50	1,15	0,75
Grašak (svež)	01.05	15	25	35	15	90	0,60	1,15	1,10
Kupus (kasni, rasad)	01.07	15	45	45	15	12	0,70	1,05	0,95
Vinova loza	01.04	30	60	40	80	210	0,30	0,80	0,45
Jabuka	25.03	20	70	105	45	240	0,45	0,95	0,70

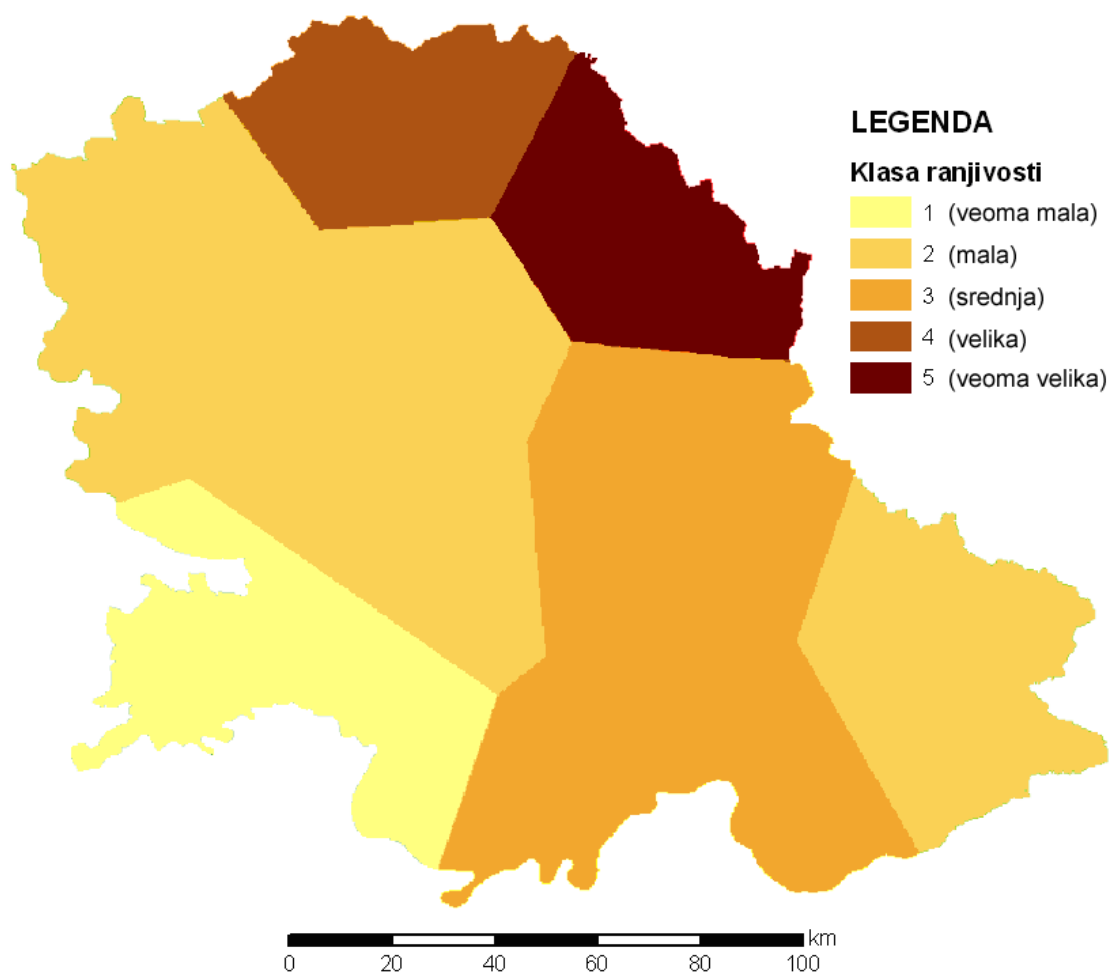
Pripadajuće površine svake meteorološke stanice su određene Tisenovim (Thiessen) poligonima. U tabeli 9 su prikazane prosečne potrebe za navodnjavanjem pojedinih kultura.

**Tabela 9. Prosečne potrebe za navodnjavanjem pojedinih poljoprivrednih kultura u Vojvodini, period 1971. - 2011.**

Meteo. stanica	prosečne potrebe za navodnjavanjem (mm)								
	Kukuruz	Soja	Š.repa	Suncokret	Krompir	Grašak	Kupus	V. loza	Jabuka
Bečej	198	179	210	104	236	121	118	103	178
Beograd	210	192	220	120	246	119	139	110	202
Kikinda	270	243	277	143	305	169	162	165	238
Novi Sad	189	172	199	110	223	123	125	100	183
Palić	220	204	241	117	276	151	145	129	212
Sombor	198	175	208	99	252	125	111	97	178
S.Mitrovica	166	153	156	80	212	103	106	71	127
Vršac	198	181	206	115	230	106	131	111	178
Zrenjanin	220	202	221	126	255	124	139	131	192

U cilju procene ranjivosti na poljoprivrednu sušu, vrednosti pedesetoprocenitnih potreba za navodnjavanjem su klasifikovane u pet ekvidistantnih klasa sa vrednostima od 1 do 5, za svaku kulturu. Zatim je izvršeno njihovo sabiranje i ponovna klasifikacija u pet ekvidistantnih klasa.

Time je dobijena rezultujuća karta koja objedinjava potrebe za navodnjavanjem svih devet analiziranih kultura i ona zapravo predstavlja kartu ranjivosti na poljoprivrednu sušu po ovom kriterijumu, slika 43. Dobijena karta je relativno niske rezolucije zbog grube interpolacije izvršene Tisenovim poligonima.



*Slika 43. Karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu sa aspekta kriterijuma potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih kultura*

Severni i severoistočni krajevi Vojvodine, u okolini Subotice i Kikinde imaju najveće vrednosti ranjivosti po ovom kriterijumu. Nešto manje vrednosti ranjivosti imaju reoni u okolini Zrenjanina i Beograda, dok ostali reoni oko Sombora, Bečeja, Novog Sada, Vršca i Sremske Mitrovice imaju najniže vrednosti, odnosno spadaju u najniže klase ranjivosti na poljoprivrednu sušu posmatrajući kriterijum potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih kultura.

### **Izgrađenost sistema za navodnjavanje**

Izgrađenost sistema za navodnjavanje omogućava da se nadomesti manjak vode u vegetacionom periodu, tako da se vlaženjem zemljišta stvore uslovi za postizanje visokih prinosa i stabilne poljoprivredne proizvodnje ali i da se ublaže ili otklone negativni efekti suše. Brojnim istraživanjima je dokazan efekat navodnjavanja na povećanje prinosa useva u sušnim godinama. Bošnjak i Pejić (1994) i Bošnjak i sar. (2005) su na osnovu rezultata višegodišnjih eksperimentalnih istraživanja u klimatskim uslovima Vojvodine utvrdili da u sušnim uslovima prinos kukuruza u navodnjavanju može biti viši i do 59% u odnosu na prinose ostvarene bez navodnjavanja. Prinosi soje su u sušnim godinama veći i do 64% na navodnjanim površinama u odnosu na uslove bez navodnjavanja (Maksimović i sar., 2005). Navodnjavanjem šećerne repe prinosi mogu biti veći i do 114% u veoma sušnim godinama kao što je bila 2000. godina (Maksimović i Dragović, 2002). Efekti navodnjavanja krompira i suncokreta mogu biti i do 76%, odnosno 50% povećanja prinosa u sušnim godinama u odnosu na uslove bez navodnjavanja (Milić i sar., 2010; Dragović i sar., 2005). Savremena proizvodnja povrtarskih kultura se ne može zamisliti bez navodnjavanja. Iz gore navedenih razloga je u ovom radu usvojeno da se površinama pod sistemima za navodnjavanje dodeli najniža klasa ranjivosti, klasa 1 – veoma mala ranjivost na poljoprivrednu sušu, a kasnije u proceni rizika je tim površinama dodeljena najniža klasa rizika, klasa 1.

### **Određivanje vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti na poljoprivrednu sušu**

Vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti na poljoprivrednu sušu (karakteristike zemljišta, karakteristike reljefa, načina korišćenja zemljišnog pokrivača i potreba useva za navodnjavanjem) određene su metodom entropije. Postupak određivanja težinskih vrednosti metodom entropije je prilagođen i izveden korišćenjem GIS softvera i sastoji se iz nekoliko koraka. U prvom koraku izvršena je normalizacija kriterijumskih vrednosti alternativa, odnosno izvršena je normalizacija ulaznih rastera:

$$\text{normaliz. raster}_j = \frac{\text{raster faktora ranjivosti}_j}{\sum_{i=1}^5 \text{klasa ranjivosti}_i * \text{br. piksela klase ranjivosti}_i}$$



Ulaznih rastera ima onoliko koliko ima faktora ranjivosti za koje se računaju težinski koeficijenti. U ovom radu ima ih 4,  $j = 1, \dots, 4$ . Faktori ranjivosti su reklasifikovani u najviše 5 ekvidistantnih klasa, tako da je broj klasa ranjivosti  $i = 1, \dots, 5$ .

U sledećem koraku izračunate su vrednosti konstante  $k$ :

$$k_j = \frac{1}{\ln(\text{ukupan br. piksela rastera}_j)}$$

U narednom koraku izračunati su međurezultati vrednosti entropije  $E_j$ :

$$E_j = -k_j * \text{normaliz.raster}_j * \ln(\text{normaliz.raster}_j)$$

U svakom rasteru međurezultata  $E_j$  je izvršeno očitavanje vrednosti međurezultata  $E_{ij}$  za pojedine klase ranjivosti  $i$ . Vrednost entropije je dobijena sumiranjem proizvoda broja piksela pojedinih klasa ranjivosti  $i$  i međurezultata  $E_{ij}$ :

$$\text{entropija}_j = \sum_{i=1}^5 \text{br. piksela klase ranjivosti}_i * E_{ij}$$

Određivanje težinskih vrednosti faktora ranjivosti na osnovu vrednosti entropija (tabela 10) izvršena je izračunavanjem stepena divergencije  $d_j$  u odnosu na prosečnu količinu informacije sadržanu u svakom faktoru ranjivosti, a zatim su konačne relativne težine faktora dobijene jednostavnom aditivnom normalizacijom:

$$d_j = 1 - \text{entropija}_j \quad w_j = \frac{d_j}{\sum_j d_j}$$

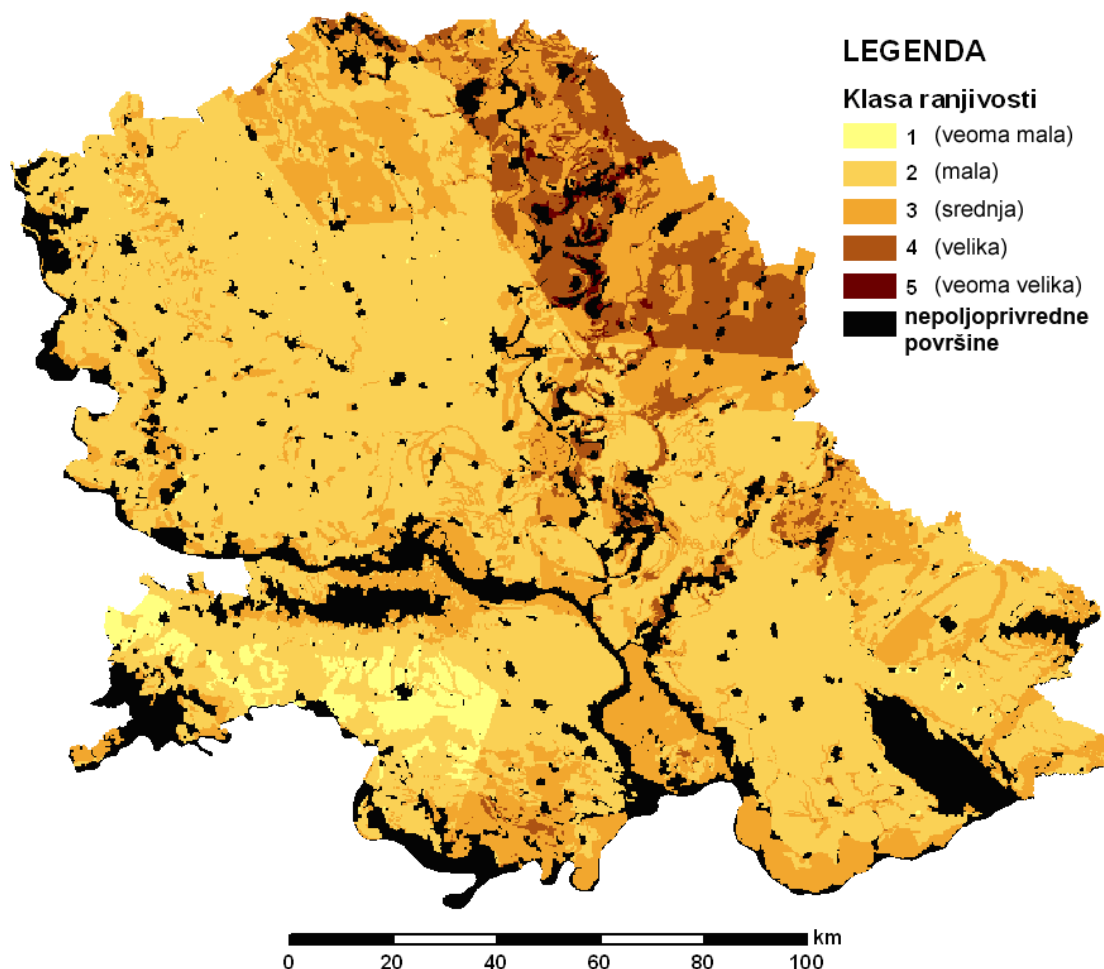
Tabela 10. Težinske vrednosti faktora ranjivosti na sušu

faktor ranjivosti na sušu	težinska vrednost
pedološki faktori	0,489
reljef	0,061
način korišćenja zemljišnog pokrivača	0,045
potrebe za navodnjavanjem	0,405

Rezultati određivanja težinskih vrednosti faktora ranjivosti metodom entropije pokazuju da najveći uticaj na ranjivost na poljoprivrednu sušu, ne računajući sisteme za navodnjavanje, imaju pedološke karakteristike i potrebe poljoprivrednih kultura za navodnjavanjem a da karakteristike reljefa i način korišćenja zemljišta imaju veoma mali uticaj.

### ***Karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu***

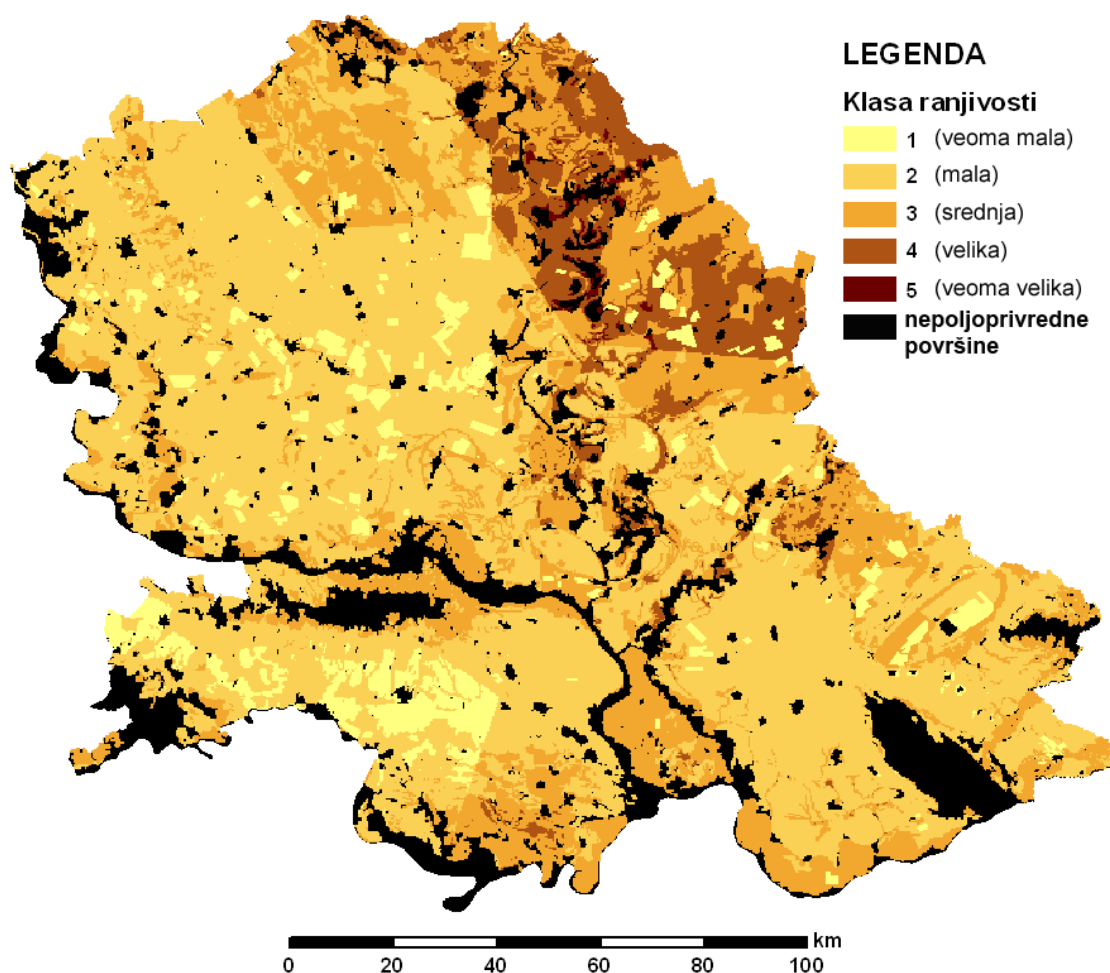
Množenjem rasterskih slojeva faktora ranjivosti na sušu (karakteristike zemljišta, karakteristike reljefa, načina korišćenja zemljišnog pokrivača i potreba useva za navodnjavanjem) sa odgovarajućim težinskim koeficijentima, zatim sabiranjem tih slojeva u GIS-u i njihovom klasifikacijom u pet ekvidistantnih klasa dobijena je karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu, slika 44.



*Slika 44. Karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu bez sistema za navodnjavanje*

Veći deo teritorije Vojvodine, oko 54% površine, ima niske vrednosti ranjivosti na poljoprivrednu sušu (klase ranjivosti 1 i 2). Površine sa najnižom klasom ranjivosti su u jugozapadnom delu Srema gde vladaju veoma pogodni uslovi u vidu niskih potreba useva za navodnjavanjem i povoljnim karakteristikama pedološkog pokrivača. Najnepogodniji reoni u pogledu ranjivosti na sušu su severoistočni krajevi Banata uglavnom zbog nepovoljnih klimatskih i pedoloških karakteristika u odnosu na ostale krajeve Vojvodine.

Na slici 45 je prikazana karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu gde je površinama pod sistemima za navodnjavanje dodeljena najniža klasa ranjivosti, klasa 1.



*Slika 45. Karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu sa sistemima za navodnjavanje*

Najviše izgrađenih sistema za navodnjavanje ima u Bačkoj, 50.204 ha što iznosi oko 56% od ukupnih površina pod sistemima za navodnjavanje, u Banatu se nalazi oko 38% (34.440 ha) a u Sremu ima relativno malo izgrađenih sistema, 5.634 ha tj. oko 6% od ukupnih površina pod sistemima za navodnjavanje u Vojvodini. Najvidljiviji efekti ublažavanja ranjivosti su u severoistočnom delu Banata gde je ranjivost sistemima za navodnjavanje ublažena prelaskom iz klasa 4 i 3 u klasu 1.

### **Procena hazarda – opasnosti od suše**

Da bi se mogla izvršiti procena hazarda potrebno je odabrati odgovarajuće indikatore suše i odgovarajuće metode njihove analize. U ovom radu razmatrana su tri meteorološka indikatora: SPI (standardizovani indeks padavina), SPEI (standardizovani index klimatskog vodnog bilansa) i PaDI (Palfajev indeks suše). SPI je uzet u razmatranje zbog malog broja potrebnih ulaznih parametara, potrebni su samo mesečne vrednosti padavina. Takođe i zbog toga što je u brojnim istraživanjima dokazana opravdanost korišćenja ovog indeksa u proučavanju pojave suše širom sveta. SPEI pored padavina koristi i srednje mesečne temperature vazduha, takođe lako dostupne podatke, na osnovu koje proračunava potencijalnu evapotranspiraciju i klimatski vodni bilans, što znači da potencijalno može biti veoma dobar pokazatelj suše iako je SPEI tek od skora u upotrebi. PaDI je modifikovana verzija Palfajevog indeksa aridnosti koji je razvijen za naše agroklimatske uslove, ali pošto se on računa na godišnjem nivou ne može se koristiti za detaljnije praćenje nastanka, trajanja i završetka pojave suše. Odabir indikatora suše je izvršen na osnovu korelacije indikatora sa prosečnim vrednostima prinosa kukuruza po opštinama u Vojvodini u periodu od 1996. do 2011. godine (tabela 11). Indikatori SPI i SPEI su računati za vremenske intervale od 1 do 6 meseci, što je u tabeli 11 prikazano indeksima od 1 do 6. Kukuruz je odabran iz razloga što je najzastupljenija poljoprivredna kultura u Vojvodini. Da bi se korelacija između dva niza podataka od po 16 elemenata mogla smatrati značajnom za prag značajnosti  $\alpha = 0,05$  koeficijent korelacije  $r$  mora biti veći od 0,497 a za prag značajnosti  $\alpha = 0,1$  koeficijent korelacije  $r$  mora biti veći od 0,426. Na osnovu toga, u tabeli X se može uočiti da najveća povezanost postoji između prosečnih prinosa i indeksa PaDI. Korelacija je u ovom slučaju negativna iz razloga što veće vrednosti indeksa PaDI predstavljaju veću jačinu suše, odnosno obrnuto su proporcionalni prinosima.

**Tabela 11. Korelacije indikatora suše sa prosečnim prinosima kukuruza**

Mesto	SPI1 maj	SPEI1 maj	SPI1 jun	SPEI1 jun	SPI2 jun	SPEI2 jun	SPI3 jun	SPI1 jul	SPEI1 jul	SPI2 jul	SPEI2 jul
Bečej	0,371	0,525	0,403	0,436	0,508	0,526	0,672	0,223	0,135	0,426	0,403
Beograd	0,114	0,204	0,410	0,399	0,400	0,386	0,478	0,305	0,307	0,528	0,489
Kikinda	0,383	0,571	0,443	0,533	0,480	0,614	0,566	0,232	0,221	0,472	0,577
Novi Sad	0,293	0,401	0,473	0,551	0,509	0,528	0,600	0,203	0,178	0,415	0,422
Palić	0,438	0,522	0,660	0,699	0,655	0,695	0,571	0,485	0,399	0,729	0,708
Sombor	0,156	0,317	0,659	0,673	0,562	0,656	0,476	0,305	0,262	0,706	0,706
S.Mitrovica	0,543	0,566	0,517	0,533	0,595	0,605	0,441	0,366	0,317	0,591	0,537
Vršac	-0,018	0,192	0,715	0,634	0,551	0,625	0,569	0,374	0,305	0,687	0,609
Zrenjanin	0,423	0,564	0,507	0,518	0,521	0,550	0,333	0,164	0,124	0,424	0,415

Mesto	SPI3 jul	SPEI3 jul	SPI1 avg	SPEI1 avg	SPI2 avg	SPEI2 avg	SPI3 avg	SPEI3 avg	SPI6 sep	SPEI6 sep	PaDi
Bečej	0,496	0,496	0,302	0,340	0,369	0,319	0,474	0,427	0,421	0,339	-0,503
Beograd	0,504	0,499	0,462	0,396	0,498	0,447	0,610	0,493	0,325	0,261	-0,637
Kikinda	0,490	0,661	0,520	0,584	0,463	0,512	0,591	0,660	0,491	0,517	-0,729
Novi Sad	0,479	0,471	0,185	0,338	0,321	0,340	0,443	0,437	0,395	0,371	-0,478
Palić	0,745	0,752	0,399	0,441	0,522	0,481	0,726	0,705	0,716	0,681	-0,798
Sombor	0,665	0,685	0,490	0,517	0,462	0,537	0,742	0,735	0,647	0,590	-0,790
S.Mitrovica	0,634	0,559	0,459	0,334	0,535	0,436	0,610	0,495	0,464	0,377	-0,618
Vršac	0,601	0,622	0,534	0,652	0,679	0,617	0,802	0,754	0,622	0,592	-0,782
Zrenjanin	0,482	0,463	0,418	0,354	0,346	0,312	0,479	0,462	0,329	0,299	-0,584

Posle indeksa PaDI najveće slaganje sa prinosima kukuruza imaju indeksi SPI3 za mesec jun, jul i avgust a zatim indeksi SPEI3 za iste mesec. Na osnovu rezultata korelacije, za dalju analizu pojave suše odabrani su indeksi PaDI i SPI3.

Kako se indeks PaDI ne može koristiti za detaljno praćenje početka, trajanja i završetka suše, on je korišćen samo za proračun odgovarajućih verovatnoća pojava određenih jačina suše po ovom pokazatelju. Indeks SPI3 je analiziran stohastičkom metodom Markovljevih lanaca kojom su proračunate verovatnoće pojave pojedinih stanja (kategorija) suše, povratni periodi stanja suše, očekivano vreme trajanja određenog stanja suše i proračun trajanja prvog prelaza iz određenog stanja suše u stanje normalne vlažnosti.

### **Analiza suše indeksom PaDI**

Vrednosti indeksa PaDI su proračunate za vremenski period od 1974. do 2011. godine za devet analiziranih meteoroloških stanica u Vojvodini, tabela 12. Poljima u tabeli 12 su dodeljene boje u zavisnosti od jačine suše prema klasifikaciji datoj u tabeli 6. Najveća vrednost, kategorija jake suše (13,9), je zabeležena u Kikindi 1992. godine, a najniža vrednosti (bez suše – 1,9) je zabeležena 1975. godine u Vršcu. Prosečno najsušnija godina u Vojvodini je bila 2000. godina sa srednjom vrednošću indeksa PaDI od 10,5 što spada u kategoriju jake suše. U posmatranom periodu bilo je 10 godina bez suše kada su prosečne vrednosti indeksa PaDI za sve meteorološke stanice bile ispod 4.

Tabela 12. Vrednosti indeksa PaDI u periodu 1974. – 2011.

	Bečej	Beograd	Kikinda	Palić	N.Sad	S.Mitrovica	Sombor	Vršac	Zrenjanin	prosek
1974	3,7	3,7	3,8	3,1	4,3	4,1	2,9	3,9	3,8	3,7
1975	3,1	2,3	2,9	3,7	3,3	2,5	3,0	1,9	2,4	2,8
1976	3,0	4,1	3,1	4,5	3,7	5,1	4,6	3,7	4,1	4,0
1977	5,0	3,6	3,7	3,8	3,4	3,3	4,5	2,8	4,2	3,8
1978	3,9	2,5	2,6	2,8	3,5	3,6	3,6	3,2	3,8	3,3
1979	3,9	3,5	5,0	4,7	4,1	3,0	4,3	3,1	4,8	4,1
1980	4,3	2,6	4,7	4,0	3,8	3,4	4,2	3,1	3,7	3,8
1981	4,9	3,8	4,5	3,8	3,5	3,9	4,4	3,9	4,2	4,1
1982	4,2	3,0	5,1	4,2	4,4	4,7	3,7	3,1	3,2	4,0
1983	4,9	5,6	8,9	5,7	5,1	4,8	5,8	5,8	6,7	5,9
1984	4,6	3,9	5,2	4,8	3,8	3,9	4,9	4,1	5,2	4,5
1985	3,6	4,2	5,0	4,7	4,5	4,4	4,5	4,6	4,4	4,4
1986	3,8	4,2	4,1	5,4	4,9	3,2	4,8	5,2	4,6	4,5
1987	3,6	3,7	4,9	5,5	4,3	4,3	3,6	4,1	4,2	4,3
1988	6,2	6,6	6,4	8,9	7,1	6,4	6,5	7,0	5,9	6,8
1989	4,7	4,8	5,8	5,4	6,1	3,4	5,0	3,3	4,8	4,8
1990	8,6	7,4	9,6	5,5	8,9	6,5	5,8	6,0	7,3	7,3
1991	4,0	3,3	3,7	3,9	2,7	3,2	4,7	3,1	2,7	3,5
1992	9,4	5,8	13,9	9,6	9,3	9,1	6,1	6,6	10,1	8,9
1993	7,2	7,4	7,1	9,1	6,1	6,0	6,2	4,6	8,1	6,9
1994	6,3	3,8	5,4	6,8	5,3	5,7	4,4	3,9	6,3	5,3
1995	4,0	5,1	4,9	5,2	3,8	4,7	4,2	2,5	3,6	4,2
1996	4,7	4,6	5,9	4,8	3,1	4,5	5,0	5,4	4,1	4,7
1997	2,9	3,2	3,7	4,2	2,8	5,2	4,2	2,8	3,0	3,5
1998	6,3	6,8	4,5	3,9	3,0	4,2	3,8	6,3	4,8	4,8
1999	2,8	2,2	2,8	4,1	2,7	3,7	3,3	3,1	2,7	3,1
2000	9,2	9,7	12,0	10,6	9,0	12,5	9,9	10,7	10,6	10,5
2001	3,8	3,9	4,0	3,3	2,6	3,2	3,5	4,5	4,9	3,7
2002	5,5	5,4	8,7	8,4	7,5	6,9	5,6	6,8	9,0	7,1
2003	9,8	7,1	7,9	9,7	9,2	7,2	11,5	10,1	10,2	9,2
2004	4,8	3,3	4,7	3,9	4,0	3,4	3,6	4,2	4,9	4,1
2005	2,9	2,7	2,9	2,9	2,2	2,8	2,1	2,2	2,7	2,6
2006	4,9	3,7	5,0	3,1	3,8	3,7	3,6	3,6	4,3	4,0
2007	6,7	5,8	5,0	6,7	5,1	5,3	6,1	7,5	5,8	6,0
2008	7,3	5,9	6,3	3,8	5,8	6,0	4,0	9,2	8,6	6,3
2009	7,4	4,3	5,7	5,1	5,6	7,8	6,1	4,5	5,2	5,7
2010	2,7	3,5	2,3	2,8	2,1	3,0	2,5	3,3	2,8	2,8
2011	7,6	6,5	6,1	6,4	7,4	5,8	5,7	5,0	6,8	6,4
max	9,8	9,7	13,9	10,6	9,3	12,5	11,5	10,7	10,6	9,8
min	2,7	2,2	2,3	2,8	2,1	2,5	2,1	1,9	2,4	2,7

U daljoj analizi proračunate su empirijske verovatnoće pojave vrednosti PaDI i izvršeno je testiranje slaganja empirijskih distribucija sa teorijskim u cilju pronalazjenja teorijske distribucije koja najbliže odgovara proračunatim vrednostima indeksa PaDI. Korišćenjem statističkih softvera testirano je 65 teorijskih distribucija. Podudarnosti između hipotetičkih (teorijskih) raspodela i empirijskih raspodela frekvencija su testirane hi-kvadrat ( $\chi^2$ ) testom, testom Kolmogorov-Smirnova i Anderson-Darling testom. Od 65 analiziranih teorijskih distribucija, 39 su prošla sva tri testa za prag značajnosti  $\alpha = 0,05$ , odnosno za njih se može smatrati da postoji slaganje sa empirijskim vrednostima, dok za ostale distribucije nije utvrđeno zadovoljavajuće slaganje. Teorijske distribucije su rangirane na osnovu testova, za svaku meteorološku stanicu, a zatim su izračunati zbrovi rangova za svaku teorijsku distribuciju. Teorijska distribucija koja se najviše podudara sa empirijskim distribucijama vrednosti PaDI je

odabrana na osnovu najmanje vrednosti sume rangova (tabela 13). Distribucija koja najviše odgovara empirijskim distribucijama vrednosti indeksa PaDI na teritoriji Vojvodine je 3-parametarska log-logistička distribucija. U Tabeli 14 prikazan je primer postupka rangiranja za slučaj 3-parametarske log-logističke distribucije.

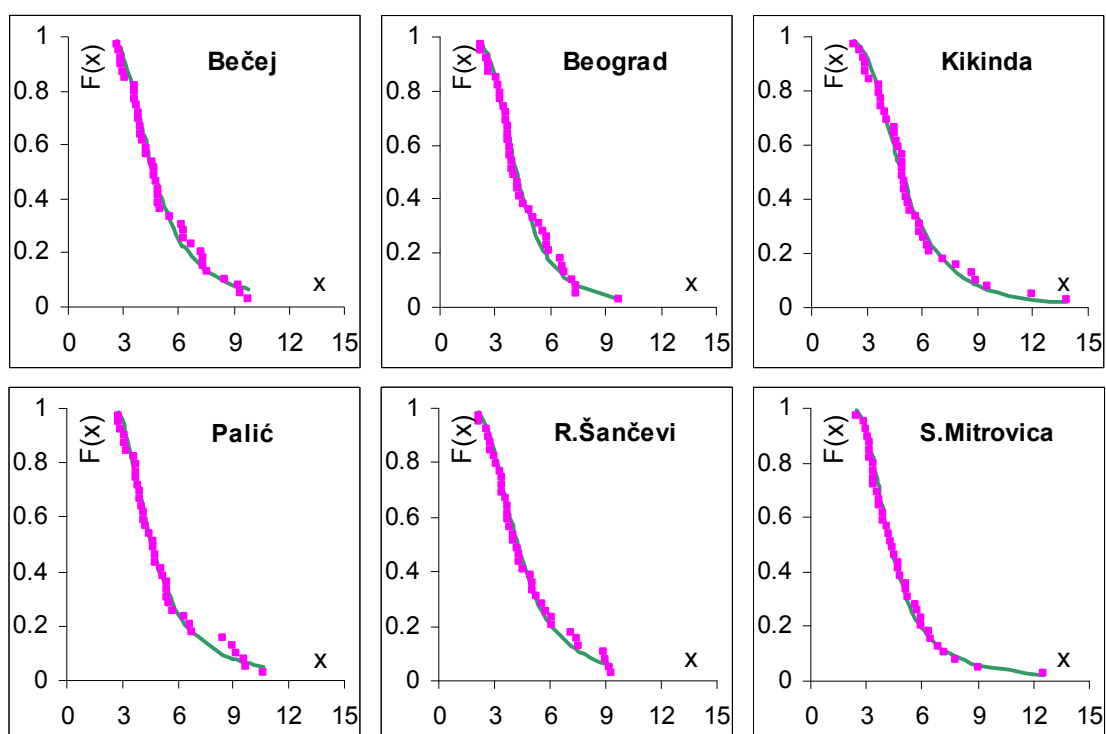
Tabela 13. Rezultati testiranja teorijskih i empirijskih distribucija PaDI

Teorijska distribucija	$\chi^2$	Kolmogorov -Smirnov	Anderson -Darling	Suma
Log-Logistic (3P)	96	57	70	223
Lognormal (3P)	92	87	77	256
Pearson 5 (3P)	104	82	71	257
Frechet (3P)	111	86	75	272
Inv. Gaussian (3P)	102	94	86	282
Fatigue Life (3P)	100	93	91	284
Log-Gamma	77	110	102	289
Burr	158	70	74	302
Gen. Extreme Value	114	123	75	312
Burr (4P)	144	98	91	333
Log-Pearson 3	133	137	97	367
Gen. Logistic	133	123	123	379
Pearson 6 (4P)	97	140	144	381
Pearson 6	149	116	121	386
Pearson 5	155	130	109	394
Dagum	152	137	145	434
Log-Logistic	187	130	147	464
Gamma (3P)	148	173	171	492
Frechet	112	238	215	565
Lognormal	210	178	187	575
Inv. Gaussian	222	199	184	605
Fatigue Life	241	205	201	647
Gumbel Max	262	234	215	711
Gen. Gamma	292	280	246	818
Gamma	317	269	251	837
Erlang (3P)	217	333	294	844
Cauchy	229	323	323	875
Weibull	288	291	327	906
Rayleigh (2P)	305	344	286	935
Rice	349	306	301	956
Erlang	307	358	355	1020
Nakagami	376	342	315	1033
Hypersecant	306	399	346	1051
Error	327	397	333	1057
Logistic	329	393	337	1059
Normal	329	390	342	1061
Exponential (2P)	292	384	396	1072
Triangular	339	403	352	1094
Rayleigh	399	391	363	1153

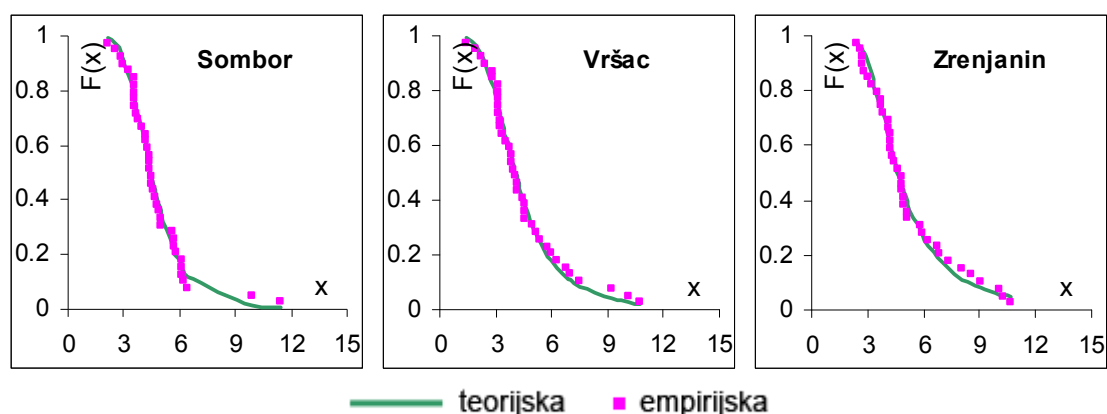
Tabela 14. Primer postupka rangiranja za slučaj 3-parametarske log-logističke distribucije

Meteo. stanica	Rangiranje po testovima		
	$\chi^2$	Kolmogorov - Smirnov	Anderson - Darling
Bečej	19	3	8
Beograd	5	2	12
Kikinda	13	7	17
Novi Sad	8	4	5
Palić	7	5	4
Sombor	13	8	2
S. Mitrovica	7	19	13
Vršac	15	5	4
Zrenjanin	9	4	5
Suma rangova po testovima	96	57	70
Ukupno:	223		

Dijagrami 3-parametarske log-logističke distribucije i empirijskih vrednosti indeksa PaDI za pojedine meteorološke stanice su prikazani na slici 46.





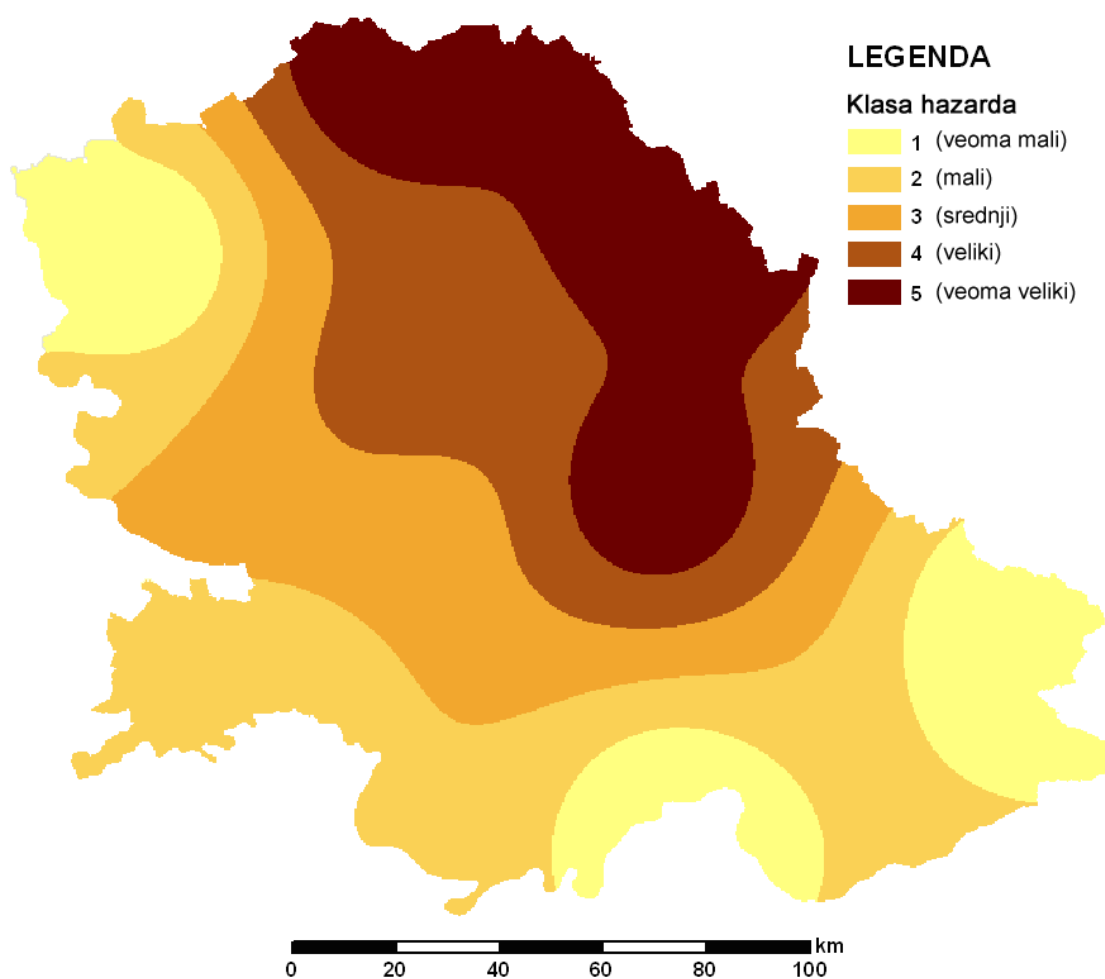


Slika 46. Teorijska i empirijska funkcija raspodele indeksa PaDI

Poznavanje teorijske funkcije raspodele koja odgovara podacima iz uzorka omogućava određivanje verovatnoća događaja koji nisu zastupljeni u uzorku. Korišćenjem 3-parametarske log-logističke distribucije izračunate su verovatnoće pojava vrednosti indeksa PaDI koje odgovaraju granicama kategorija umerene suše (PaDI = 6), umereno jake suše (PaDI = 8) i jake suše (PaDI = 10). Rezultati su prikazani u tabeli 15. Vrednosti verovatnoća pojava sve tri kategorije suše su reklasifikovane u pet ekvidistantnih klasa sa vrednostima od 1 do 5, gde vrednost 1 označava najmanju opasnost od suše a 5 označava najveću. Zatim je izvršeno njihovo sabiranje i ponovna reklasifikacija u 5 ekvidistantnih klasa, da bi se dobila rezultujuća karta hazarda, odnosno opasnosti od suše posmatrano sa aspekta indeksa PaDI (slika 47).

Tabela 15. Verovatnoće pojave i povratni periodi umerene (6), umereno jake (8) i jake suše (10) prema indeksu PaDI

	Verovatnoća pojave			Povratni period (god)		
	PaDI = 6	PaDI = 8	PaDI = 10	PaDI = 6	PaDI = 8	PaDI = 10
Bečej	0,25	0,11	0,06	4	9	17
Beograd	0,17	0,06	0,03	6	16	36
Kikinda	0,30	0,12	0,06	3	8	18
Novi Sad	0,25	0,11	0,06	4	9	17
Palić	0,21	0,09	0,05	5	11	22
Sombor	0,19	0,08	0,04	5	12	24
S.Mitrovica	0,17	0,04	0,01	6	23	69
Vršac	0,18	0,07	0,03	6	15	33
Zrenjanin	0,26	0,12	0,06	4	9	17



Slika 47. Karta hazarda prema PaDI indeksu suše

### **Karakterizacija suša u Vojvodini primenom Markovljevih lanaca na vremenske serije indeksa SPI3**

Kako su korelacije prosečnog prinosa kukuruza po opštinama u Vojvodini i indeksa SPI računatog za tromesečni interval (SPI3) pokazale da postoji značajna veza između ove dve slučajne promenljive, ovaj indeks je odabran kako pogodan za karakterizaciju suše primenom stohastičke metode Markovljevih lanaca. U ovom radu primenjena je nehomogena formulacija Markovljevih lanaca prvog reda. Analizirana su četiri stanja, odnosno kategorija suše prema vrednostima SPI3:

- stanje 1 – normalni uslovi vlažnosti ( $SPI3 > 0$ ),
- stanje 2 – blaga suša ( $0 \geq SPI \geq -0,99$ ),
- stanje 3 – umerena suša ( $-1 \geq SPI \geq -1,5$ ) i
- stanje 4 – jaka suša ( $SPI < -1,5$ ).

U nehomogenoj formulaciji Markovljevih lanaca, prelazne verovatnoće zavise od početnog vremenskog trenutka, odnosno u ovom slučaju od meseca za koji se računa indeks SPI. Na primer, verovatnoća prelaza blage suše u mesecu julu u jaku sušu u mesecu avgustu se razlikuje od verovatnoće prelaza blage suše u februaru u jaku sušu u martu. Da bi se opravdala upotreba nehomogenih Markovljevih lanaca prvog reda izvršeni su određeni testovi. Odabir odgovarajućeg reda Markovljevih lanaca je izvršen na osnovu testa racija log - verodostojnosti (LLR), Akaike-ovog informacionog kriterijuma (AIC) i Bajesovog informacionog kriterijuma (BIC). Rezultati testova su sumirani u tabeli 16.

Da bi se mogli sprovesti pomenuti testovi za odabir odgovarajućeg reda Markovljevih lanaca, predhodno su proračunate prelazne verovatnoće iz odgovarajućih stanja suše za Markovljeve lance nultog, prvog i drugog reda. Zatim su proračunate log-verodostojnosti nultog, prvog i drugog reda ( $L_0$ ,  $L_1$  i  $L_2$ ). Izbor između dva reda je izvršen korišćenjem statistike  $A$ :

$$\Lambda_{0-1} = 2(L_1 - L_0) \quad \Lambda_{1-2} = 2(L_2 - L_1)$$

Statistika  $A$  je  $\chi^2$  distribucija sa stepenima slobode  $\nu = [S^{m(H_A)} - S^{m(H_0)}] (S - 1)$ , gde je  $m(H_A)$  broj reda alternativne hipoteze a  $m(H_0)$  broj reda nulte hipoteze, a  $S$  je broj stanja suše koji u ovom radu iznosi 4, tako da broj stepeni slobode iznosi 9 u slučaju poređenja nultog i prvog reda, odnosno 36 u slučaju poređenja prvog i dugog reda Markovljevih lanaca:

$$\nu_{0-1} = [4^1 - 4^0] (4 - 1) = 9$$
$$\nu_{1-2} = [4^2 - 4^1] (4 - 1) = 36$$

Statistika  $\chi^2$  iznosi 33,7 za 9 stepeni slobode za prag značajnosti od 0,001;  $\chi^2 = 35,3$  za 36 stepeni slobode za prag značajnosti od 0,5 i  $\chi^2 = 47,2$  za 36 stepeni slobode i prag značajnosti od 0,1. Odabir odgovarajućeg reda Markovljevih lanaca se vrši poređenjem statistika  $A$  sa odgovarajućim vrednostima  $\chi^2$ . Nulta hipoteza se prihvata ako je statistika  $A$  manja od odgovarajuće  $\chi^2$  statistike. U tabeli 16 se može uočiti da se prilikom poređenja nultog i prvog reda može prihvatiti alternativna hipoteza (zavisnost je prvog reda) za prag značajnosti od 0,001 za sve meteorološke stanice, dok se kod poređenja prvog i drugog reda u dva slučaja (Beograd i Vršac) ne može odbaciti alternativna hipoteza da je zavisnost drugog reda.

U nastavku su proračunate statistike  $AIC$  i  $BIC$  za nulti, prvi i drugi red Markovljevih lanaca. Odabir odgovarajućeg reda Markovljevih lanaca se vrši na osnovu najniže vrednosti  $AIC$  ili  $BIC$ . Rezultati u tabeli 16 pokazuju da se za sve meteorološke stanice može prihvatiti da je zavisnost prelaznih verovatnoća prvog reda.

Tabela 16. Rezultati testova reda Markovljevih lanaca

	$\lambda_{0-1}$	$\lambda_{1-2}$	$AIC_0$	$AIC_1$	$AIC_2$	$BIC_0$	$BIC_1$	$BIC_2$
Bečeaj	240,6	43,6	1087,9	865,3	893,7	1088,1	866,1	896,8
Beograd	184,6	29,0	1078,6	912,1	955,1	1078,8	912,8	958,1
Kikinda	203,6	49,8	1058,7	873,1	895,3	1058,9	873,8	898,3
Novi Sad	263,4	35,6	1094,3	848,9	885,3	1094,5	849,7	888,4
Palić	225,1	49,7	1052,3	845,2	867,5	1052,5	846,0	870,6
Sombor	195,4	36,8	1088,4	911,0	946,2	1088,6	911,8	949,2
S.Mitrovica	208,4	37,7	1077,9	887,4	921,7	1078,1	888,2	924,8
Vršac	214,7	28,7	1101,7	905,0	948,3	1101,9	905,8	951,4
Zrenjanin	224,8	38,5	1092,6	885,8	919,3	1092,8	886,5	922,4

Opravdanost upotrebe Markovljevih lanaca prvog reda je testirana i  $\chi^2$  testom. Posmatrane su verovatnoće pojava određenih stanja suše proračunate Markovljevima lancima (teorijske verovatnoće) i empirijske verovatnoće. U tabeli 17 su prikazane teorijske i empirijske verovatnoće pojava određenih stanja suše za meteorološku stanicu Rimski Šančevi. Može se primetiti da su vrednosti veoma bliske. Rezultati  $\chi^2$  testa su za sve meteorološke stanice znatno ispod vrednosti 7,815 koja odgovara vrednosti  $\chi^2$  statistike za prag značajnosti od 0,05 i tri stepena slobode, što znači da se na osnovu  $\chi^2$  testa može prihvatiti nulta hipoteza da su vrednosti teorijskih i empirijskih verovatnoća identične.

Tabela 17. Empirijske i teorijske verovatnoće pojava stanja suše za meteorološku stanicu Rimski Šančevi

	Stanje suše	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Empirijske verovatnoće	1	0,50	0,70	0,59	0,51	0,54	0,54	0,54	0,41	0,51	0,56	0,56	0,54
	2	0,35	0,15	0,22	0,24	0,27	0,32	0,32	0,37	0,37	0,27	0,27	0,29
	3	0,10	0,08	0,10	0,20	0,12	0,05	0,05	0,15	0,07	0,12	0,07	0,12
	4	0,05	0,08	0,10	0,05	0,07	0,10	0,10	0,07	0,05	0,05	0,10	0,05
Teorijske verovatnoće	1	0,51	0,72	0,59	0,51	0,54	0,54	0,54	0,42	0,51	0,56	0,56	0,54
	2	0,36	0,15	0,23	0,25	0,27	0,32	0,32	0,37	0,37	0,27	0,27	0,29
	3	0,11	0,08	0,09	0,19	0,12	0,05	0,05	0,15	0,07	0,12	0,07	0,12
	4	0,02	0,05	0,09	0,05	0,07	0,10	0,10	0,07	0,05	0,05	0,10	0,05

Nakon potvrde o opravdanosti korišćenja Markovljevih lanaca prvog reda za analizu suše izvršeni su sledeći proračuni:

- proračunate verovatnoće pojave pojedinih stanja suše,
- povratni periodi stanja suše,
- očekivano vreme trajanja određenog stanja suše i
- proračun trajanja prvog prelaza iz određenog stanja suše u stanje normalne vlažnosti

U tabeli 18 su prikazani rezultati proračuna. Kolona *VP 3* označava verovatnoću pojave umerene suše (stanje 3) na osnovu indeksa SPI3 za mesec avgust, kolona *VP 4* označava verovatnoću pojave jake suše (stanje 4) na osnovu indeksa SPI3 za mesec avgust, kolona *T 3* označava očekivano vreme trajanja blage suše izraženo u mesecima na osnovu indeksa SPI3 za jun mesec, kolona *T 4* označava očekivano vreme trajanja jake suše u mesecima na osnovu indeksa SPI3 za jun mesec, kolona *TPP 31* označava trajanje prvog prelaza iz blage suše u junu mesecu u stanje normalne vlažnosti (iz stanja 3 u stanje 1) izraženo u mesecima i kolona *TPP 41* označava trajanje prvog prelaza iz jake suše u junu mesecu u stanje normalne vlažnosti (iz stanja 4 u stanje 1).

Tabela 18. Rezultati modela nehomogenih Markovljevih lanaca prvog reda

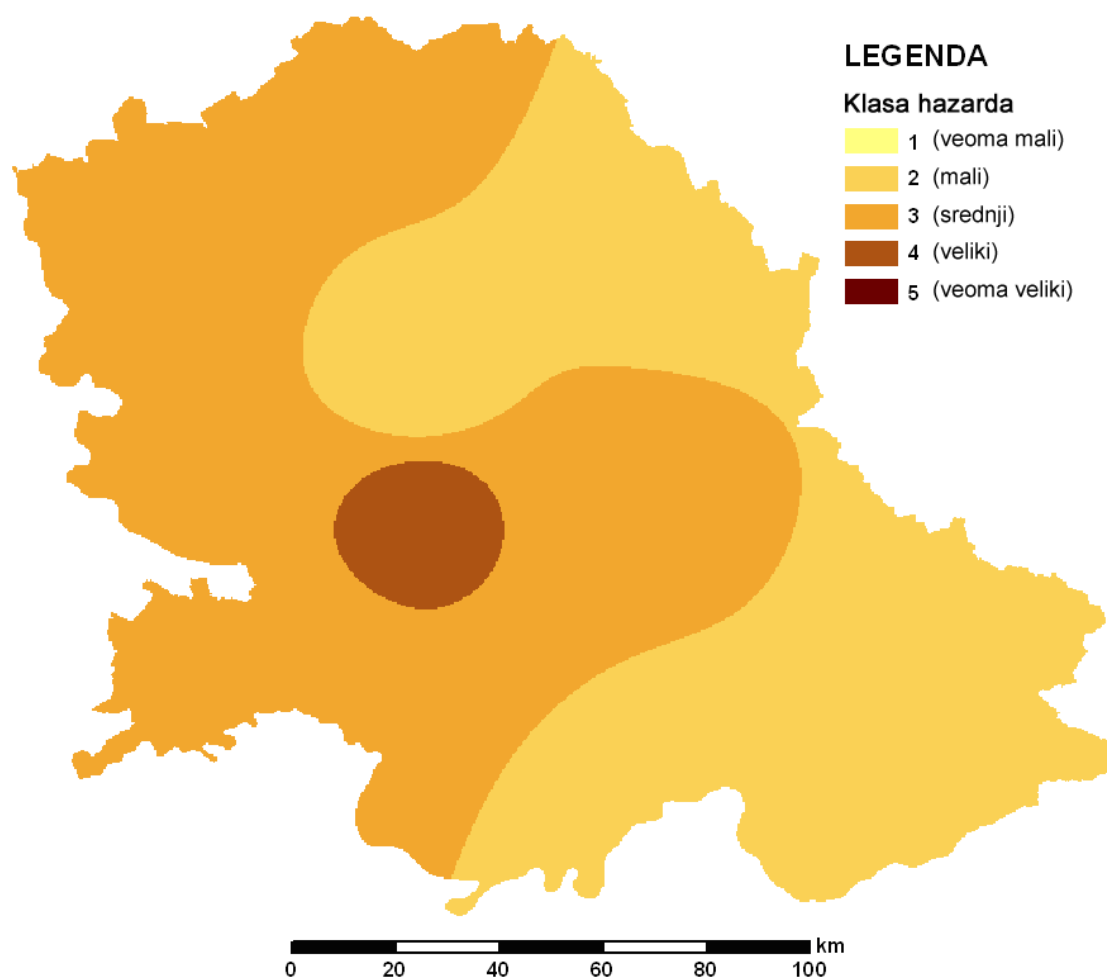
	VP 3	VP 4	T 3	T 4	TPP 31	TPP 41
Bečej	0,12	0,05	1,50	1,70	3,95	5,54
Beograd	0,10	0,02	1,00	1,38	4,69	5,09
Kikinda	0,06	0,05	1,33	1,97	3,94	5,23
Palić	0,00	0,07	1,00	2,81	5,87	6,42
Novi Sad	0,15	0,07	1,43	1,79	5,66	6,48
Sombor	0,08	0,05	1,33	2,22	5,57	5,84
S.Mitrovica	0,02	0,05	1,33	2,48	5,54	5,95
Vršac	0,00	0,12	1,17	1,99	3,77	5,86
Zrenjanin	0,10	0,05	2,00	2,50	4,60	5,61

Kao što je već predhodno objašnjeno, indeks SPI3 je odabran zbog visoke korelacije sa padom prinosa kukuruza u Vojvodini, posebno SPI3 u letnjim mesecima jun, jul i avgust. Kako se SPI3 računa na osnovu tromesečnih visina padavina, za proračun verovatnoća pojava suša odabran je indeks SPI3 za mesec avgust jer on u sebi uključuje padavine u junu, julu i avgustu mesecu. Za proračun trajanja određenog stanja suše i trajanja prvog prelaza iz određenog stanja suše u stanje normalne vlažnosti je odabran indeks SPI3 za mesec jun jer se na taj način dobijaju prognozirana stanja suše za mesece jun,

jul i avgust. Vrednosti iz tabele 18 su klasifikovane u pet ekvidistantnih klasa, zatim su vrednosti sumirane po meteorološkim stanicama za zatim ponovo klasifikovane u pet ekvidistantnih klasa da bi se dobila sumarna ocena izloženosti hazardu, odnosno opasnosti od suše. Rezultati su prikazani u tabeli 19 i na karti na slici 48.

Tabela 19. Klasifikovani rezultati modela nehomogenih Markovljevih lanaca prvog reda

	VP 3	VP 4	T 3	T 4	TPP 31	TPP 41	Suma	Hazard
Bečej	4	2	3	2	1	2	14	2
Beograd	4	1	1	1	3	1	11	2
Kikinda	3	2	2	3	1	1	12	2
Palić	1	3	1	5	5	5	20	3
Novi Sad	5	3	3	2	5	5	23	4
Sombor	3	2	2	3	5	3	18	3
S.Mitrovica	1	2	2	4	5	4	18	3
Vršac	1	5	1	3	1	3	14	2
Zrenjanin	4	2	5	4	2	2	19	3

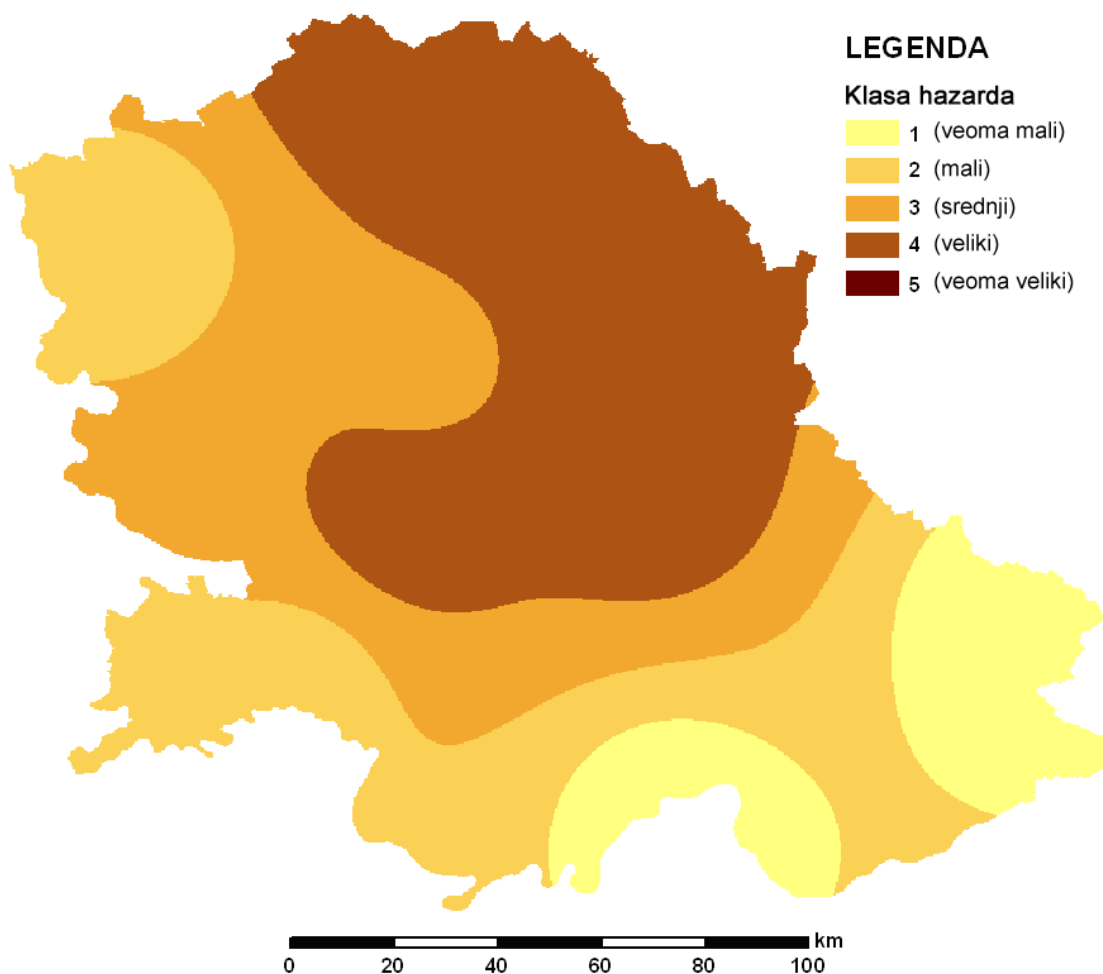


Slika 48. Karta hazarda prema indeksu SPI3

Kako indeks SPI predstavlja anomaliju padavina u odnosu na višegodišnju normalu za posmatranu lokaciju, a ne predstavlja aridnost nekog kraja, karta opasnosti od suše po indeksu SPI se znatno razlikuje od karte po indeksu PaDI. Po indeksu SPI3 kraj koji je najugroženiji sušom je u okolini Novog Sada, zbog većih verovatnoća pojava umerene i jake suše u odnosu na ostale krajeve, zbog dugog zadržavanja suše i dugog vremena potrebnog da se iz stanja suše ponovo dođe u stanje normalnih uslova vlažnosti. Nešto manje ugroženi su krajevi u okolini Subotice, Sombora, Sremske Mitrovice i Zrenjanina a najmanje su ugroženi krajevi u okolini Bečeja, Beograda, Kikinda i Vršca.

### ***Karta hazarda – opasnosti od suše***

Preklapanjem slojeva karata hazarda prema indeksu PaDI i indeksu SPI3, njihovim sabiranjem i klasifikacijom u pet ekvidistantnih klasa dobijena je rezultujuća karta hazarda, odnosno opasnosti od suše, slika 49.

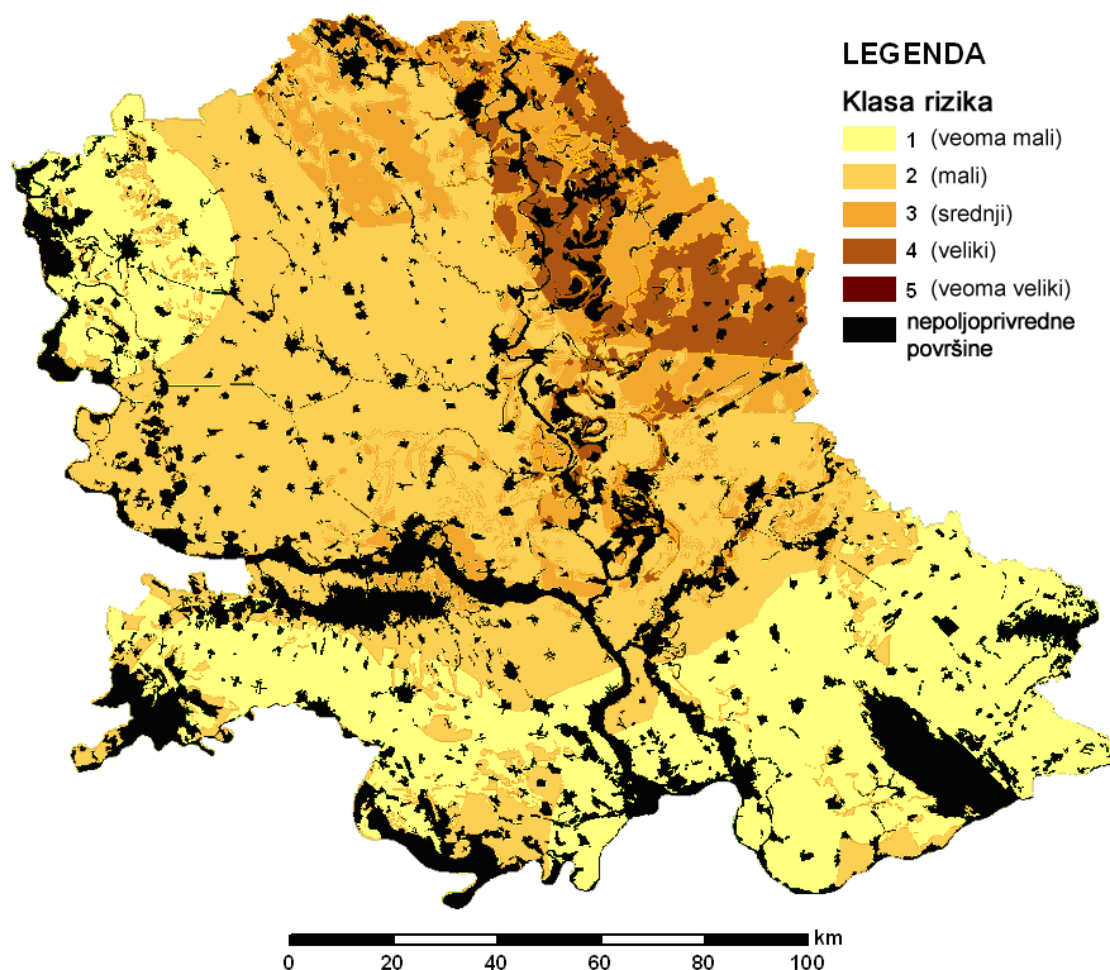


*Slika 49. Rezultujuća karta hazarda - opasnosti od suše*

Može se uočiti da je najveća opasnost od suše u centralnim i severoistočnim krajevima Vojvodine, dok je najmanja na jugu i jugoistoku.

### **Procena rizika od poljoprivredne suše**

Procena rizika na poljoprivrednu sušu je izvršena prema metodi koja se bazira na formuli gde je rizik jednak proizvodu hazarda i ranjivosti. U prethodnim koracima izvršene su procene ranjivosti na poljoprivrednu sušu i opasnosti od suše. Preklapanjem tih slojeva u GIS-u, njihovim množenjem i klasifikacijom rezultujuće karte na pet ekvidistantnih klasa dobijena je karta rizika od poljoprivredne suše na teritoriji Vojvodine, slika 50.



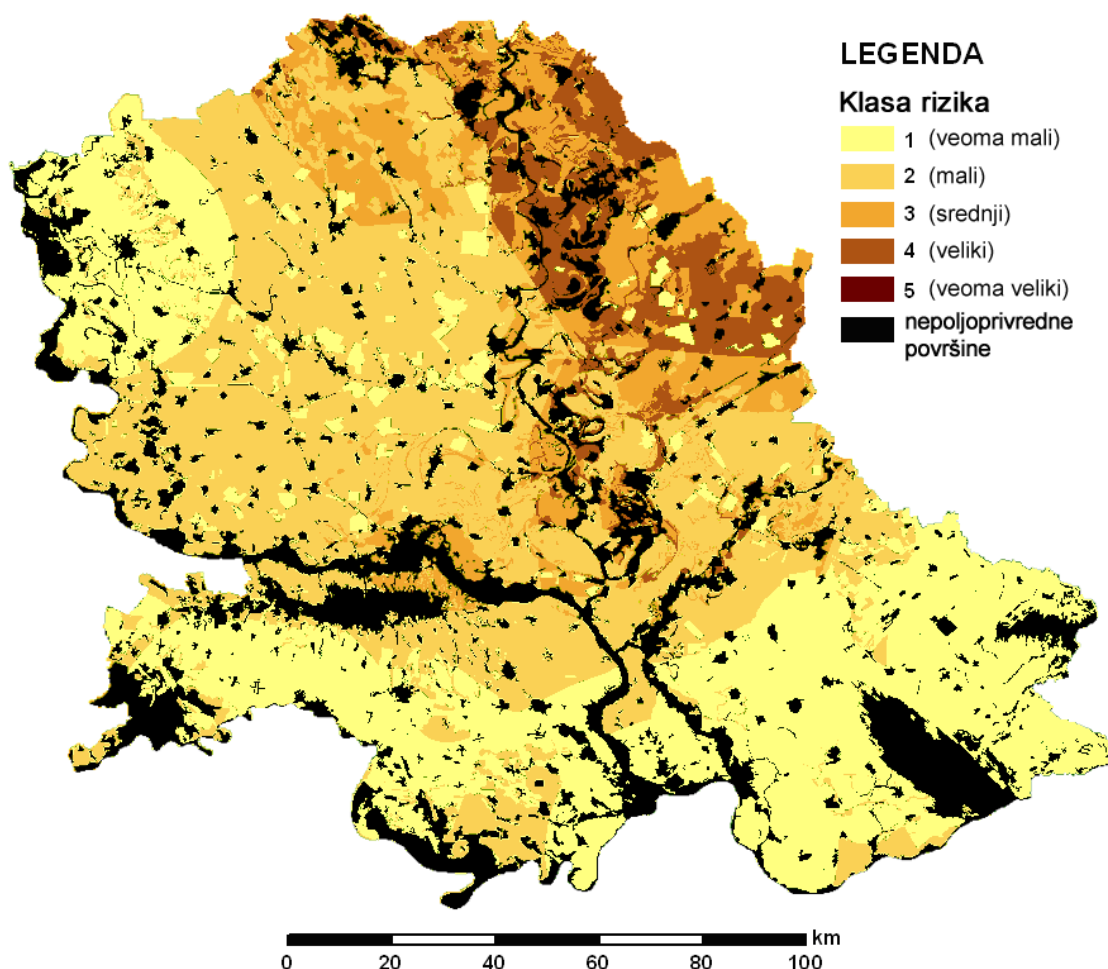
*Slika 50. Karta rizika od poljoprivredne suše na teritoriji Vojvodine, bez sistema za navodnjavanje*

Procenjeno je da je najveći rizik od poljoprivedne suše, 4. klasa rizika, u severoistočnim krajevima Vojvodine. U tim krajevima je procenjena najveća



vrednost hazarda i visoka ranjivost zbog lošijih osobina zemljišta i visokih potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih kultura u poređenju sa ostalim krajevima. Oko 7% teritorije Vojvodine, u koju se ne ubrajaju urbane i veštačke površine, šumska područja i vodene površine, spada u 4. klasu rizika. Na oko 14% teritorije Vojvodine procenjena je 3. klasa rizika, na oko 47% teritorije 2. klasa a na oko 32% 1. klasa, odnosno najmanja klasa rizika od poljoprivredne suše. Najmanji rizik je procenjen u severozapadnom delu Vojvodine u okolini Sombora i na jugu Vojvodine na potezu od Sremske Mitrovice, preko Beograda do Vršca, pre svega zbog povoljne kombinacije klimatskih i zemljišnih uslova.

Kako je u ovom radu površinama pod sistemima za navodnjavanje dodeljena najniža klasa rizika, klasa 1 – veoma mali rizik, na slici 51 je prikazana karta rizika i sa sistemima za navodnjavanje.



*Slika 51. Karta rizika od poljoprivredne suše na teritoriji Vojvodine sa sistemima za navodnjavanje*

## **6.2. PROCENA RIZIKA OD SUFICITA VODE NA MELIORACIONOM PODRUČJU VOJVODINE**

Procena rizika od pojave suvišne vode je izvršena primenom iste metodologije korišćene za procenu rizika od suše. U prvim koracima su izvršene procene ranjivosti i procene hazarda, odnosno opasnosti od pojave suvišne vode, a zatim je njihovom kombinacijom dobijena procena rizika.

### **Procena ranjivosti na pojavu suvišne vode**

Faktori koji utiču na ranjivost područja na pojavu suvišne vode su određeni na osnovu prirodnih uslova na području Vojvodine. Odabrani su na osnovu njihovog uticaja na samu pojavu suviška vode, na osnovu dostupnosti podataka i na osnovu istraživanja brojnih autora. Procenjeno je da sledeći faktori imaju najveći uticaj na ranjivosti područja na pojavu suvišne vode u Vojvodini:

- karakteristike pedološkog pokrivača,
- geomorfološke odlike područja,
- dubine prve izdani u vanvegetacionom periodu i
- način korišćenja zemljišnog pokrivača.

Karakteristike pedološkog pokrivača su bitne u smislu drenažnih osobina zemljišta jer se one odnose na brzinu i razmeru uklanjanja viška vode prirodnim putem usled priliva od padavina, površinskog oticanja i podzemnih tokova vode. Zemljišta u Vojvodini su svrstana u drenažne klase prema stepenu ugroženosti suvišnim vodama i one će se koristiti kao jedan od faktora u proceni ranjivosti područja na pojavu suvišne vode.

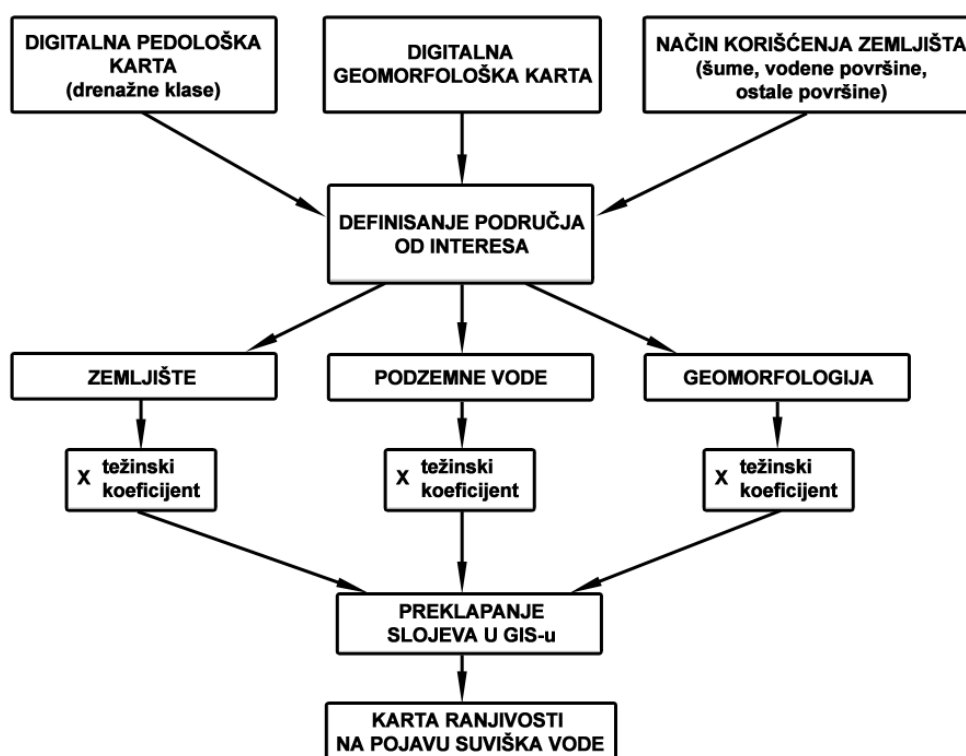
Geomorfološke odlike područja su veoma bitne u pogledu stvaranja i odvođenja suvišnih voda. Na niželežecim geomorfološkim jedinicama je izražena pojava viška vode i potreba odvodnjavanja, dok viši tereni daju vodu, odnosno vode sa viših terena gravitiraju prema nižim geomorfološkim jedinicama.

Pojava suvišne vode se manifestuje podizanjem nivoa prve izdani, tako da je veoma bitno poznavati njen položaj i promene nivoa. Kako su sistemi za odvodnjavanje u Vojvodini projektovani na osnovu merodavnih viškova vode u

vanvegetacionom periodu, u ovom radu je korišćena karta prosečnog nivoa prve izdani u vanvegetacionom periodu.

Podaci o načinu korišćenja zemljišnog pokrivača omogućavaju da se preciznije utvrde granice područja od interesa, odnosno da se izoluju područja koja nisu od interesa za procenu ranjivosti i rizika od pojave suvišne vode, a to su vodene površine i površine pod šumama. Takođe, u područja koja nisu od interesa za procenu ranjivosti i rizika od pojave suvišne vode su svrstane i površine koje su prirodno dobro drenirane i ne zahtevaju odvodnjavanje (drenažna klasa V) i visoki tereni na kojima nema potrebe za izgradnjom sistema za odvodnjavanje.

Postupak procene ranjivosti na pojavu suvišne vode izveden je prema dijagramu toka prikazanog na slici 52. Izvršen je korišćenjem GIS softvera na način koji je opisan u poglavlju 5. Metode i materijal rada. Korištene su tehnike klasifikacije, reklasifikacije i preklapanja slojeva, a težinski koeficijenti slojeva određeni su objektivnom metodom entropije.



Slika 52. Dijagram toka procene ranjivosti na pojavu suvišne vode

Da bi se u GIS-u moglo izvršiti preklapanje slojeva, koji mogu sadržati različite tipove podataka, slojeve je potrebno standardizovati, odnosno klasifikovati po određenom kriterijumu. Klasifikacijom slojeva po određenom kriterijumu se svim slojevima dodeljuje isti tip podataka i u istom opsegu. Na isti način kao i u slučaju procene rizika od suše, ulaznim slojevima će se i u proceni rizika od viška vode klasifikacijom dodeliti celobrojne vrednosti u opsegu od 1 do 5, gde 1 označava najmanju ranjivost, hazard ili rizik, a 5 označava najveću.

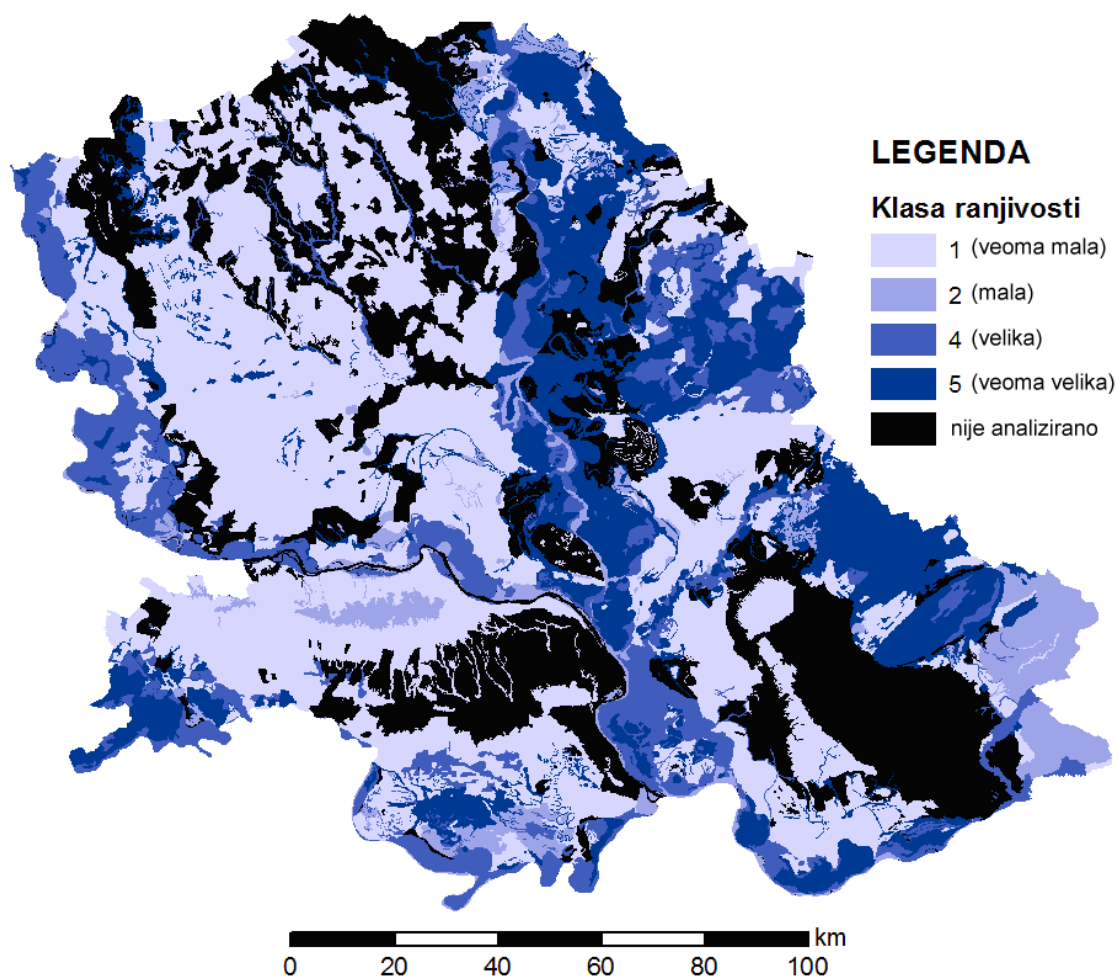
### **Karakteristike pedološkog pokrivača**

Na osnovu informacija sadržanih u digitalnoj pedološkoj karti, korišćenjem GIS softvera izvedena je karta drenažnih klasa zemljišta. Kako je prikazano u poglavlju 5. materijal i metode rada, zemljišta u Vojvodini su podeljena u pet drenažnih klasa prema stepenu ugroženosti suvišnim vodama. U I klasu spadaju zemljišta koja su vrlo slabo drenirana i imaju visok stepen ugroženosti od suvišnih voda, a u V klasu spadaju zemljišta koja zbog svoje prirodne dreniranosti ne zahtevaju odvodnjavanje. Kako metod preklapanja slojeva u GIS-u zahteva standardizovane vrednosti ulaznih slojeva, karta drenažnih klasa zemljišta je reklasifikovana u pet klasa na sledeći način (tabela 20, slika 53):

**Tabela 20. Reklasifikacija drenažnih klasa zemljišta**

Drenažna klasa	Klasa ranjivosti
I	5
II	4
III	2
IV	1
V	nije ranjivo – isključuje se iz procene ranjivosti

Oko 30% teritorije Vojvodine je veoma ranjivo na pojavu viška vode sa aspekta drenažnih klasa zemljišta (drenažne klase I i II, odnosno klase ranjivosti 4 i 5). Najugroženija su područja sa teškim, zaslanjenim ili močvarnim zemljištem. Takvih zemljišta je najviše u Banatu. U Bačkoj su ugrožene teritorije uz levu obalu Dunava i uz korita manjih vodotoka kao što su Krivaja, Čik i Jegrička, a u Sremu su to područja u priobalju Save. Oko 45% teritorije Vojvodine ima relativno malu ugroženost viškom vode, dok oko 25% teritorije nije ugroženo viškom vode po ovom kriterijumu.



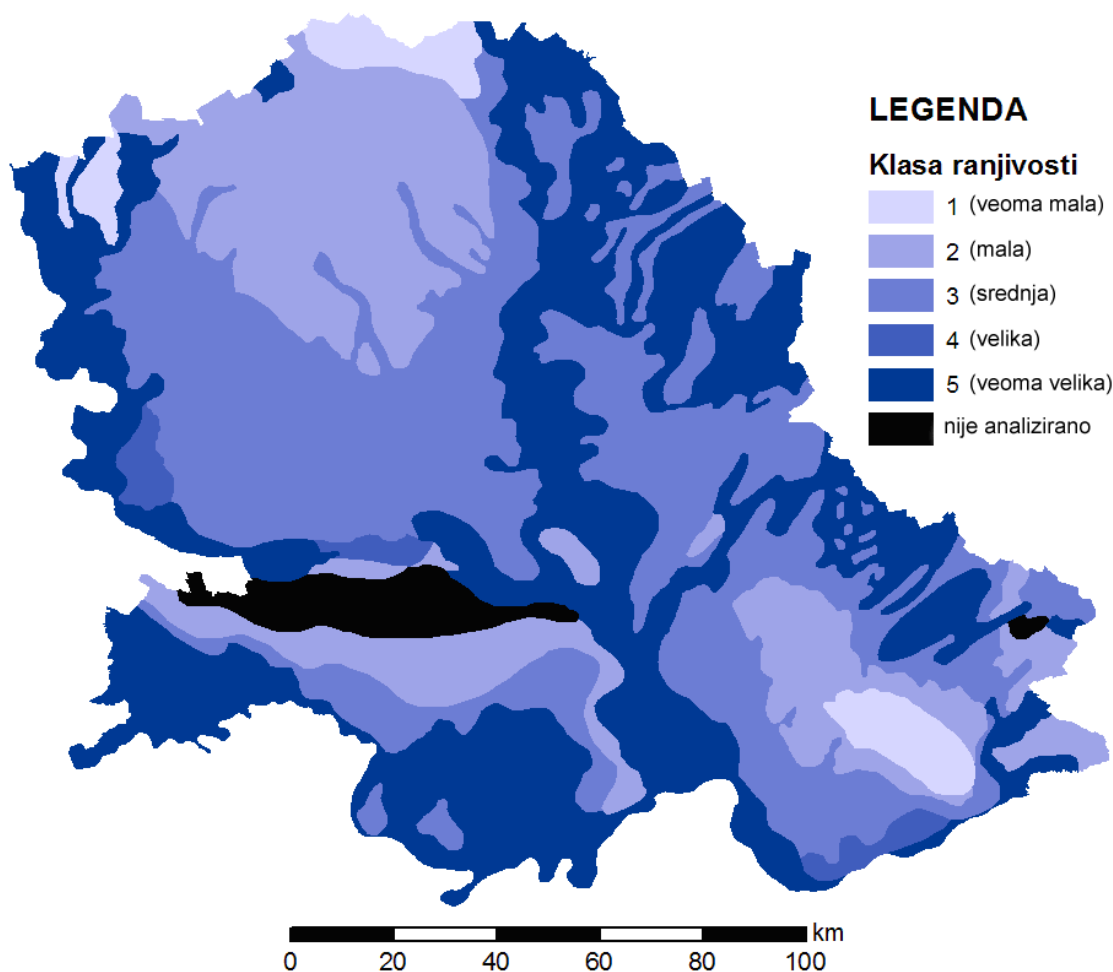
Slika 53. Reklasifikovana karta drenažnih klasa zemljišta Vojvodine

### Geomorfološke odlike područja

Na teritoriji Vojvodine se mogu izdvojiti šest geomorfoloških jedinica: aluvijalne ravni, aluvijalne terase, lesne terase, lesne zaravni, peščare i visoki teren (VOV, 1985; Mijatović i sar., 1995). U pogledu ranjivosti na pojavu suviška vode najugroženija područja su na najnižim geomorfološkim jedinicama. Klasifikacija geomorfoloških jedinica prema ranjivosti na pojavu suviška vode je data u tabeli 21 i prikazana na karti na slici 54.

Tabela 21. Klase ranjivosti prema geomorfološkim jedinicama

Geomorfološka jedinica	Klasa ranjivosti
aluvijalne ravni	5
aluvijalne terase	4
lesne terase	3
lesne zaravni	2
peščare	1
visoki teren	isključuje se iz procene ranjivosti



Slika 54. Karta ranjivosti na pojavu suviška vode prema geomorfološkim jedinicama

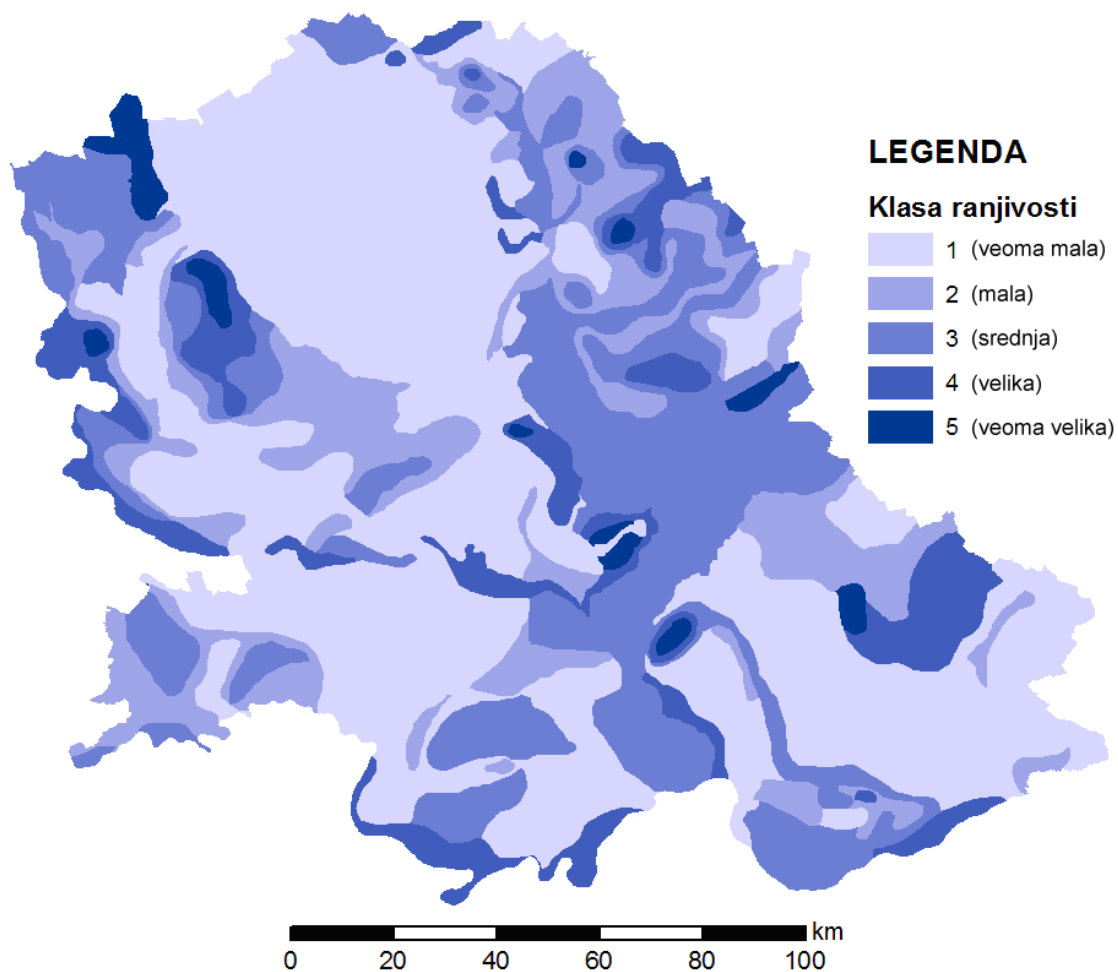
Aluvijalne terase i ravni se prostiru na oko 32% teritorije Vojvodine, to su hipsometrijski najniži delovi terena i u tom smislu i najugroženija područja na pojavu suviška vode sa klasama ranjivosti 4 i 5.

### ***Dubina prve izdani u vanvegetacionom periodu***

Na osnovu podataka iz literature (Putarić, 1994) o prosečnim dubinama prve izdani u vanvegetacionom periodu u Vojvodini digitalizovana je karta na slici 16b. prikazana u poglavlju 5. Materijal i metode rada. Dubine se kreću u opsegu od oko 100 cm od površine terena pa do preko 300 cm i grupisane su u 5 klasa ranjivosti prema tabeli 22, prikazane na karti na slici 55.

Tabela 22. Klase ranjivosti prema dubini prve izdani

Dubina prve izdani (cm)	Klasa ranjivosti
101 – 150	5
151 – 200	4
201 – 250	3
251 – 300	2
> 300	1

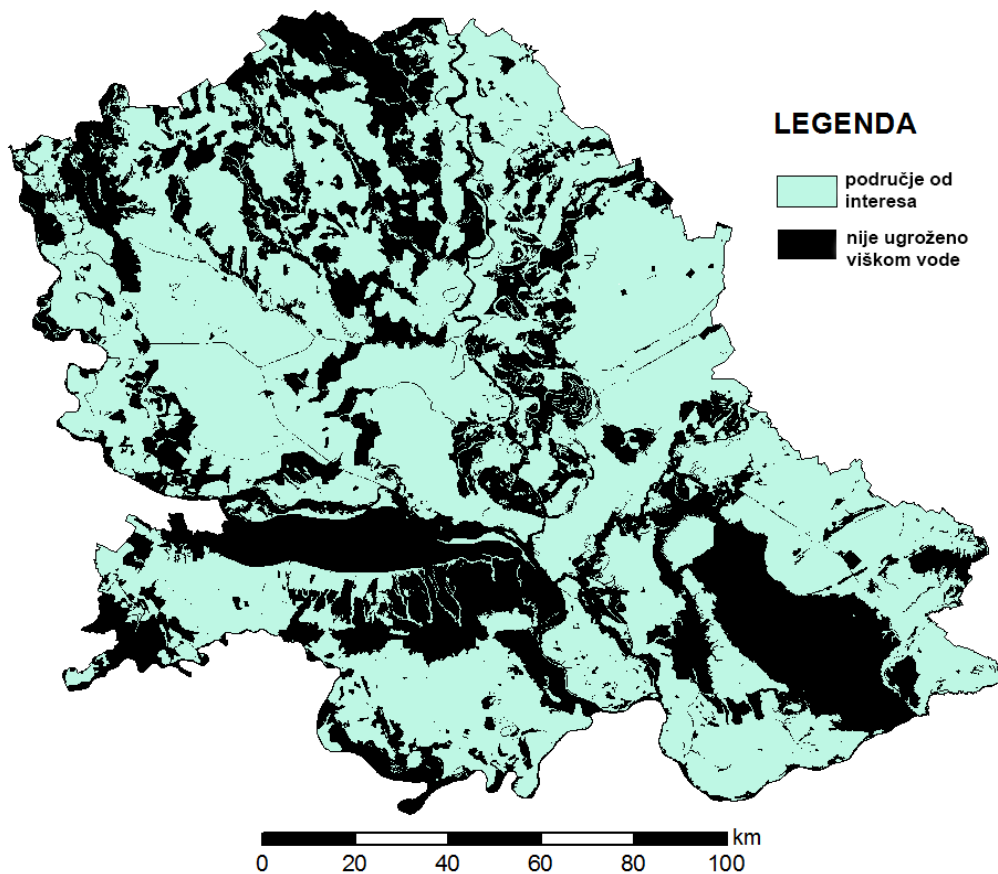


Slika 55. Karta ranjivosti na pojavu suviška vode prema dubini prve izdani

Na oko 12% teritorije Vojvodine je nivo prve izdani u vanvegetacionom periodu relativno plitak, ispod 200 cm od površine terena, i dodeljene su im 4. i 5. klasa ranjivosti. To su najčešće područja koja se nalaze u priobalju vodotokova i hipsometrijski najniži tereni. Oko 64% teritorije Vojvodine ima relativno dubok nivo prve izdani, preko 250 cm od površine terena, i smatra se da ima malu ugroženost (klase ranjivosti 1 i 2) od viška vode po ovom kriterijumu.

### **Definisanje područja potencijalno ugroženog viškom vode**

Kako se na prirodno dobro dreniranim zemljištima (drenažna klasa V) ne zahteva odvodnjavanje, te površine su izuzete iz procene ranjivosti i procene rizika od pojave suviška vode. Takođe, procene ranjivosti i rizika se neće vršiti ni za područja na visokom terenu (Fruška gora i Vršачki breg) jer i na njima nema potrebe za izgradnjom sistema za odvodnjavanje. Pored toga, izuzeće se i površine pod šumama i vodene površine. Područje od interesa – područje koje je potencijalno ugroženo viškom vode se prostire na oko 63% teritorije Vojvodine, dok se za oko 37% teritorije smatra da nije ugroženo, slika 56.



Slika 56. Karta područja od interesa

### **Određivanje vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti na pojavu suviška vode**

Vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti na pojavu suviška vode (karakteristike pedološkog pokrivača, geomorfološke odlike područja i dubine prve izdani u vanvegetacionom periodu) određene su metodom entropije na način koji je primenjen i u slučaju određivanja vrednosti težinskih koeficijenata



faktora ranjivosti na poljoprivednu sušu, te se ovde neće detaljno razmatrati. Rezultati određivanja težinskih vrednosti faktora ranjivosti metodom entropije dati su u tabeli 23.

*Tabela 23. Težinske vrednosti faktora ranjivosti na pojavu viška vode*

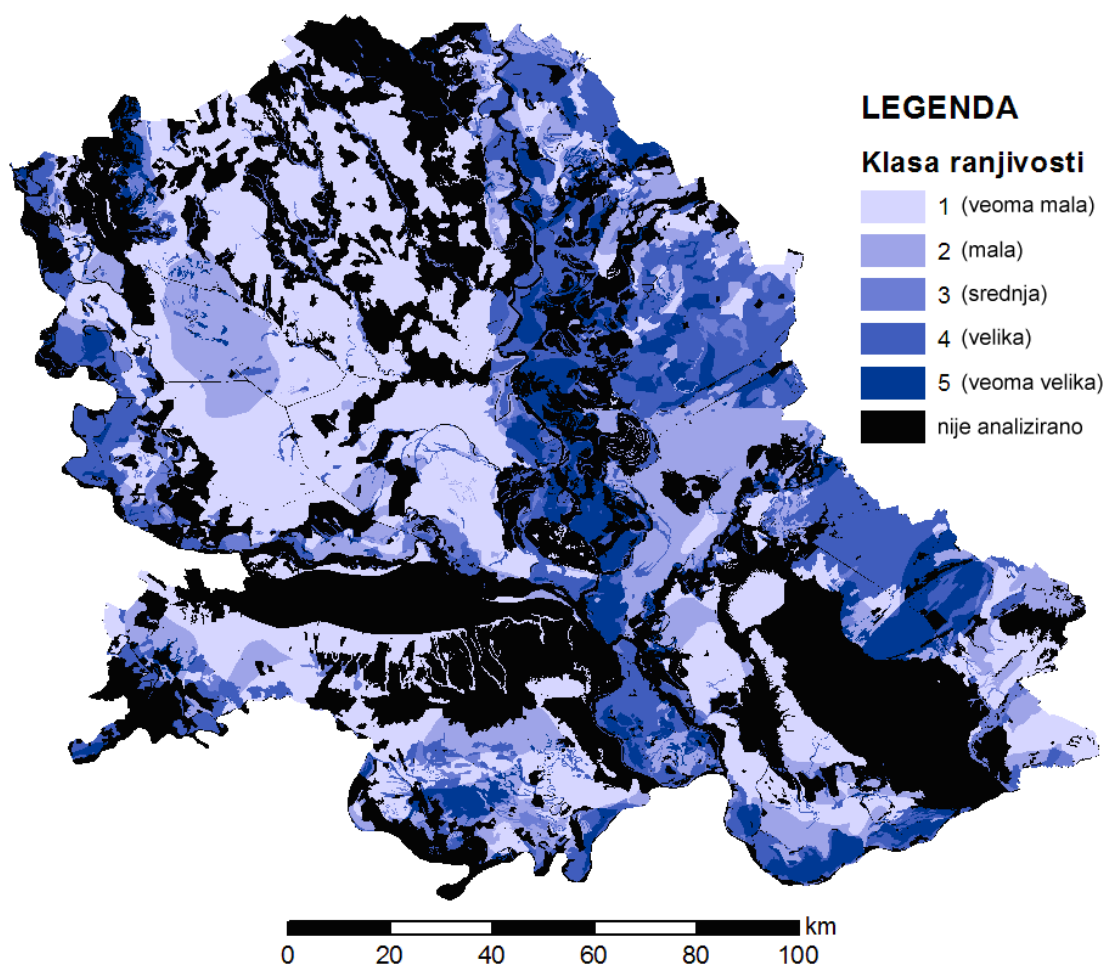
Faktor ranjivosti na višak vode	Težinska vrednost
pedološke karakteristike (drenažne klase)	0,57
geomorfološke jedinice	0,12
nivo prve izdani	0,31

Težinske vrednosti određene metodom entropije pokazuju da najveći uticaj na ranjivost na pojavu suviška vode imaju pedološke karakteristike, odnosno drenažne klase zemljišta. Nešto manji uticaju imaju nivoi prve izdani u vanvegetacionom periodu i geomorfološke odlike područja.

### ***Karta ranjivosti na pojavu suviška vode***

Množenjem rasterskih slojeva faktora ranjivosti na pojavu suviška vode (karakteristike pedološkog pokrivača, geomorfološke odlike područja i dubine prve izdani u vanvegetacionom periodu) sa odgovarajućim težinskim koeficijentima, zatim sabiranjem tih slojeva u GIS-u i njihovom klasifikacijom u pet ekvidistantnih klasa dobijena je karta ranjivosti na pojavu suviška vode, slika 57.

Procenjeno je da je zbog nepovoljne kombinacije faktora ranjivosti, oko 20% teritorije Vojvodine veoma ranjivo na pojavu viška vode (klase ranjivosti 4 i 5). Najviše takvih površina se nalazi u Banatu. Posebno su ranjivi severoistočni Banat, celo priobalje reke Tise i područja omeđena severoistočnim obroncima Deliblatske peščare od Vršca do Tamiša i priobalje Dunava. U Bačkoj su to uglavnom područja uz levu obalu Dunava a u Sremu uz levu obalu Save. Oko 3% teritorije ima srednji stepen ranjivosti (klasa ranjivosti 3), dok oko 40% teritorije ima malu ranjivost na višak vode (klase ranjivosti 1 i 2). Kao što je prethodno već rečeno, oko 37% teritorije Vojvodine nije ranjivo na pojavu suviška vode.



Slika 57. Karta ranjivosti na pojavu suviška vode

### Procena hazarda – opasnosti od pojave suviška vode

Na području Vojvodine, sistemi za odvodnjavanje se dimenzionišu na osnovu merodavnog viška vode u vanvegetacionom periodu. U ovom radu je višak vode u vanvegetacionom periodu određen računanjem vodnog bilansa zemljišta gde kao elementi vodnog bilansa ulaze potencijalna evapotranspiracija, sume mesečnih padavina i rezerve vode u zemljištu. Potencijalna evapotranspiracija je računata po metodi Thornthwaite-a. Dejstvo meteorološke stanice, odnosno pripadajuće površine svake meteorološke stanice za koju važe podaci za proračun vodnog bilansa su određene Tisenovim (Thiessen) poligonima. Rezerve vode u zemljištu su izračunate za svaki poligon digitalne pedološke karte kao proizvod dubine soluma i pristupačne vode. Pristupačna voda predstavlja razliku između poljskog vodnog kapaciteta i tačke venjenja. Količine potencijalne rezerve vode u zemljištu se na

analiziranom području kreću u opsegu od 10 mm do 150 mm. Vodni bilans zemljišta je računat za svaki poligon pedološke karte na osnovu podataka sa pripadajuće meteorološke stanice, za višegodišnji period od 1971. do 2011. godine.

U daljoj analizi proračunate su empirijske verovatnoće pojave određenih vrednosti viška vode u vanvegetacionom periodu i izvršeno je testiranje slaganja empirijskih distribucija sa teorijskim u cilju pronalaženja teorijske distribucije koja najbliže odgovara proračunatim vrednostima viška vode. Korišćenjem statističkih softvera testirano je 65 teorijskih distribucija, za svih devet meteoroloških stanica i za sve vrednosti rezerve vode u zemljištu. Podudarnosti između teorijskih raspodela i empirijskih raspodela frekvencija su testirane hi-kvadrat ( $\chi^2$ ) testom, testom Kolmogorov-Smirnova i Anderson-Darling testom. Od 65 analiziranih teorijskih distribucija, 25 su prošla sva tri testa za prag značajnosti  $\alpha = 0,05$ , odnosno za njih se može smatrati da postoji slaganje sa empirijskim vrednostima, dok za ostale distribucije nije utvrđeno zadovoljavajuće slaganje. Kao i u slučaju analize opasnosti od suše, teorijske distribucije su rangirane na osnovu testova, za svaku meteorološku stanicu, a zatim su izračunati zbrojevi rangova za svaku teorijsku distribuciju. Teorijska distribucija koja se najviše podudara sa empirijskim distribucijama vrednosti viška vode je odabrana na osnovu najmanje vrednosti sume rangova, tabela 24.

Distribucije koje najviše odgovaraju empirijskim distribucijama vrednosti viška vode na teritoriji Vojvodine su 4-parametarska Džonsonova  $S_B$  distribucija (Johnson  $S_B$ ) i 3-parametarska uopštena distribucija ekstremnih vrednosti (GEV - Generalized Extreme-Value distribution). Uopštena distribucija ekstremnih vrednosti pripada familiji kontinualnih distribucija i bazirana je na teoriji ekstremnih vrednosti. Ona kombinuje Frechetovu, Gumbelovu i Weibullovu distribuciju, odnosno te distribucije su specijalni slučajevi 3-parametarske GEV distribucije. GEV distribucija ima veliku primenu u hidrologiji, posebno u analizi ekstremnih hidroloških pojava kao što su poplave, visoki vodostaji, godišnji protoci, godišnje sume padavina i dr. (Martins i Stedinger, 2000; Markuš, 2006; Diebolt i sar., 2008). Zbog svoje primene u hidrologiji i zbog jednostavnijeg proračuna u odnosu na Džonsonovu  $S_B$  distribuciju (manji broja parametara, jednostavna procena parametara korišćenjem L momenata), GEV distribucija je odabrana kao teorijska distribucija za proračun verovatnoća pojava odgovarajućih viškova vode u vanvegetacionom periodu.

Tabela 24. Rezultati testiranja teorijskih i empirijskih distribucija viška vode u vanvegetacionom periodu za rezerve vode u zemljištu od 100 mm

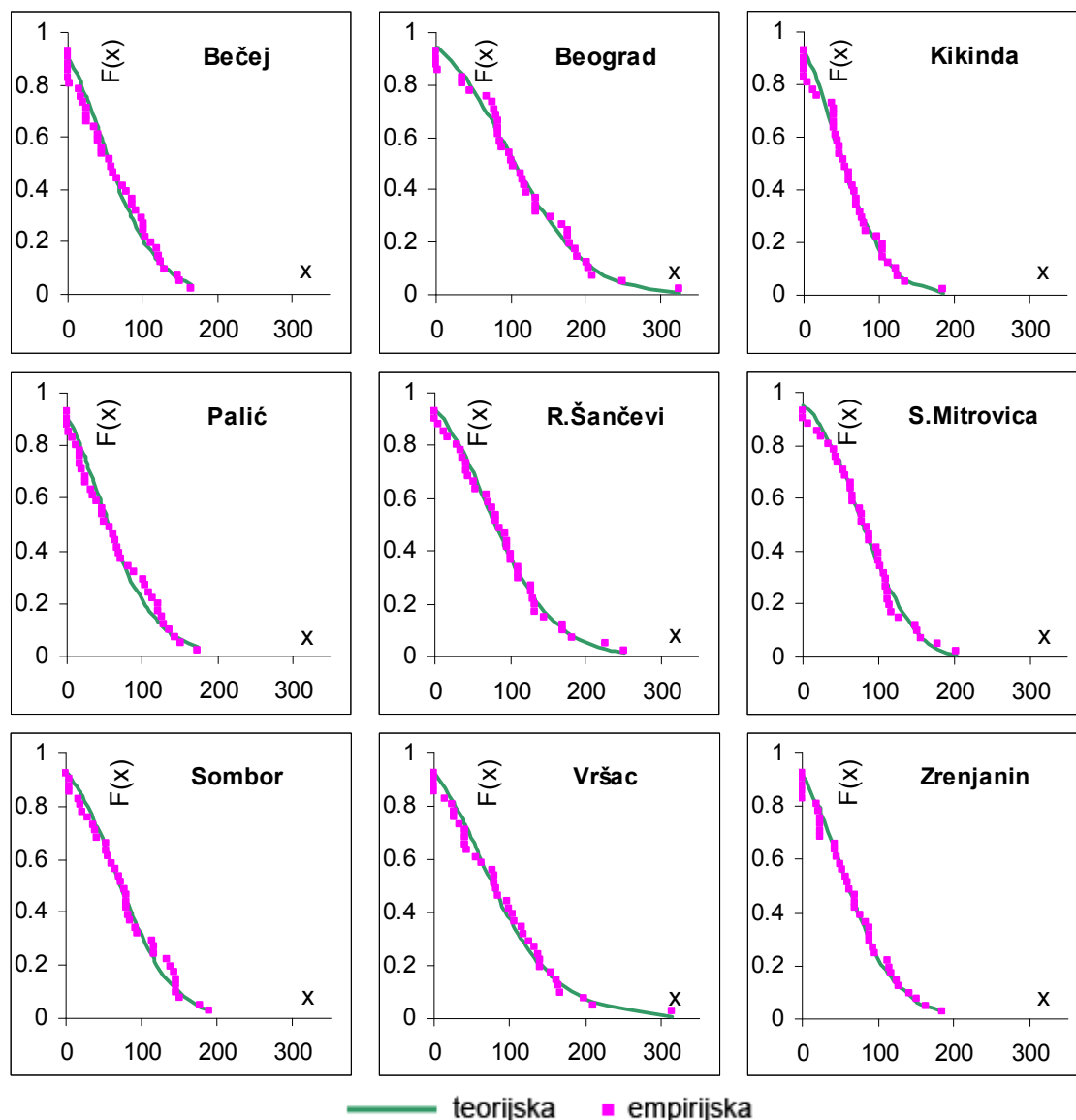
Teorijska distribucija	$\chi^2$	Kolmogorov -Smirnov	Anderson -Darling	Suma
Johnson SB	43	32	25	100
Gen. Extreme Value	52	34	31	117
Normal	70	45	45	160
Gen. Logistic	73	46	45	164
Error	106	58	39	203
Logistic	111	70	65	246
Gumbel Max	117	75	78	270
Hypersecant	190	104	80	374
Cauchy	125	182	89	396
Gumbel Min	235	153	110	498
Gamma	183	157	162	502
Laplace	256	160	97	513
Phased Bi-Exponential	130	238	163	531
Dagum	227	191	181	599
Gen. Gamma	211	211	195	617
Exponential	222	275	189	686
Pearson 6	232	270	244	746
Burr	275	250	223	748
Pareto 2	256	284	208	748
Rayleigh	305	264	217	786
Erlang	304	256	256	816
Lognormal	270	263	295	828
Fatigue Life	263	289	348	900
Inv. Gaussian	299	307	332	938
Exponential (2P)	217	267	458	942

U Tabeli 25 prikazan je primer postupka rangiranja za slučaj 3-parametarske GEV distribucije.

Tabela 25. Primer postupka rangiranja za slučaj 3-parametarske GEV distribucije, za rezerve vode u zemljištu od 100 mm

Meteo. stanica	Rangiranje po testovima		
	$\chi^2$	Kolmogorov - Smirnov	Anderson - Darling
Bečej	7	1	5
Beograd	3	6	5
Kikinda	4	6	4
Novi Sad	5	4	4
Palić	1	1	1
Sombor	8	4	4
S. Mitrovica	7	7	5
Vršac	2	4	1
Zrenjanin	15	1	2
Suma rangova po testovima	52	34	31
Ukupno:		117	

Dijagrami 3-parametarske GEV distribucije i empirijskih vrednosti viška vode u vanvegetacionom periodu za pojedine meteorološke stanice su prikazani na slici 58.



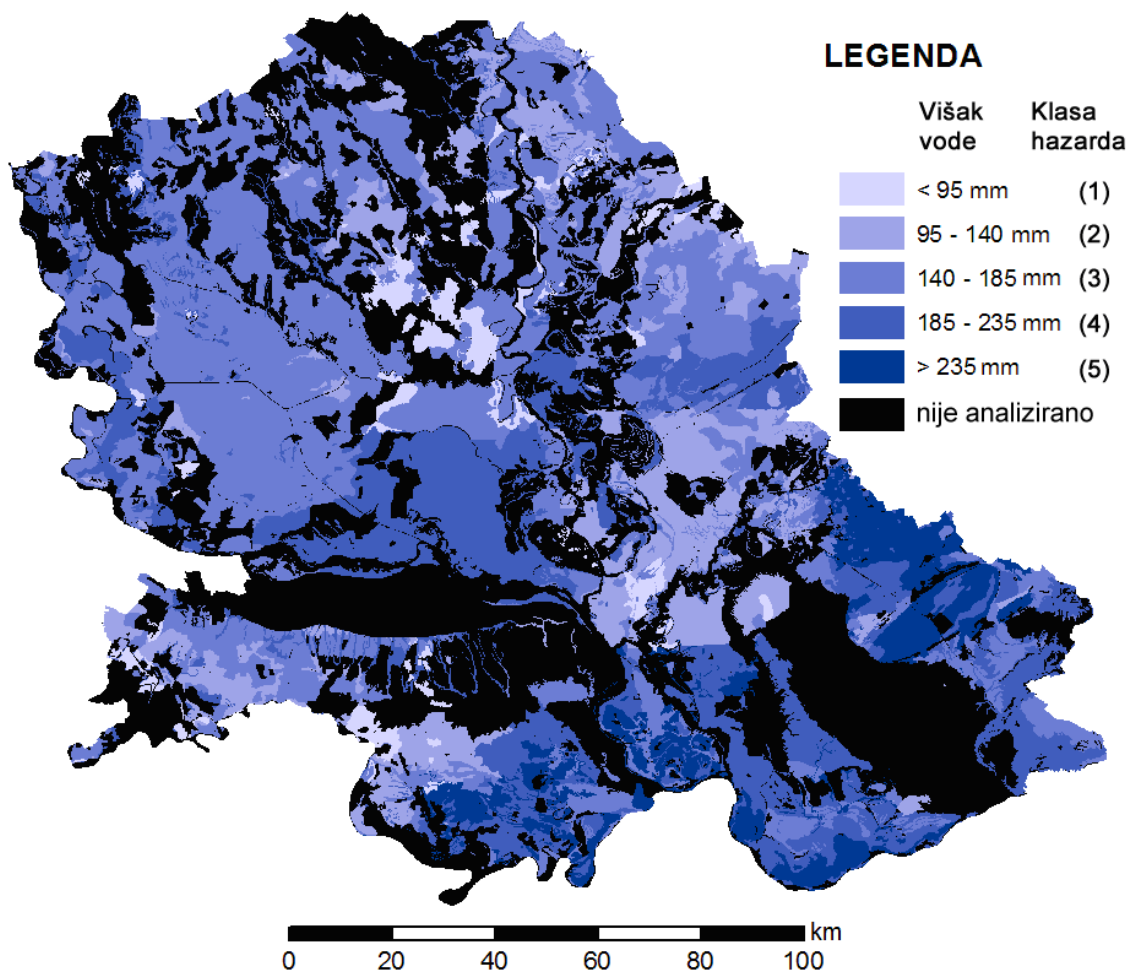
Slika 58. Teorijska i empirijska funkcija raspodele vrednosti viška vode u vanvegetacionom periodu

Sistemi za odvodnjavanje u Vojvodini se uglavnom dimenzionišu na merodavnu količinu viška vode u vanvegetacionom periodu sa povratnim periodom od 10 godina. Korišćenjem 3-parametarske GEV distribucije izračunati su viškovi vode sa desetogodišnjim povratnim periodom za sve analizirane meteorološke stanice i za sve vrednosti rezervi vode u zemljištu koje se na analiziranom području kreću od 10 do 150 mm. Rezultati su prikazani u

tabeli 26 i na karti na slici 59. Rezultati su klasifikovani u pet ekvidistantnih klasa sa vrednostima od 1 do 5, gde vrednost 1 označava najmanju opasnost od viška vode a 5 označava najveću.

Tabela 26. Desetogodišnji višak vode u vanvegetacionom periodu

Meteo. stanica	Rezerve vode u zemljištu (mm)												
	10	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
	Višak vode (mm)												
Bečeј	222	192	182	172	162	151	141	130	119	107	94	80	67
Beograd	303	273	263	253	243	233	222	212	201	190	178	167	154
Kikinda	210	180	170	160	150	140	129	118	107	94	81	67	52
Palić	225	195	185	175	165	154	143	132	121	109	95	82	68
Novi Sad	262	232	222	212	202	192	181	171	159	148	136	123	110
Sombor	240	210	200	190	180	170	159	149	138	127	115	102	89
S.Mitrovica	238	208	198	188	178	168	158	148	137	127	115	104	91
Vršac	275	245	235	225	214	204	193	182	170	158	145	132	118
Zrenjanin	227	197	187	177	166	156	145	135	123	111	98	85	70



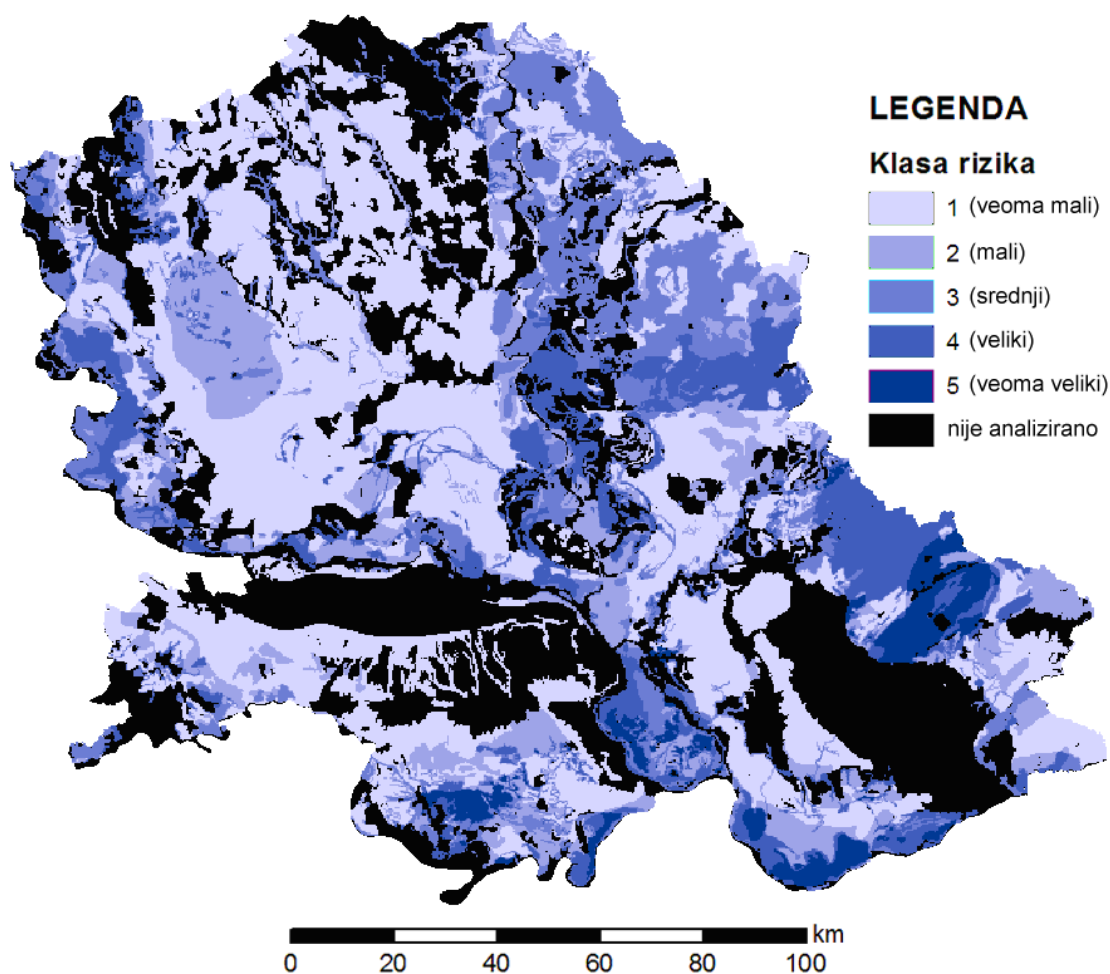
Slika 59. Karta hazarda prema desetogodišnjem višku vode u vanvegetacionom periodu

Vrednosti desetogodišnjeg viška vode u vanvegetacionom periodu se kreću u opsegu od 52 mm za zemljišta čija rezerva vode iznosi 150 mm u okolini Kikinde, do 303 mm za zemljišta sa rezervom vode od svega 10 mm u okolini Beograda. Za zemljišta sa rezervom vode od 100 mm, što je uobičajena vrednost u mnogim analizama vodnog bilansa, desetogodišnji višak vode u vanvegetacionom periodu se kreće od 118 mm za okolinu Kikinde do 212 mm za okolinu Beograda. Na oko 21% teritorije Vojvodine postoji značajna opasnost od pojave suviška vode, na karti prikazano kao klase hazarda 4 i 5. Najviše takvih područja ima u južnoj Bačkoj, jugoistočnom Sremu i jugozapadnom i jugoistočnom Banatu.

### **Procena rizika od pojave suviška vode**

Procena rizika od pojave suviška vode je izvršena prema istoj metodologiji koja je primenjena za procenu rizika od suše i bazira se na formuli gde je rizik jednak proizvodu hazarda i ranjivosti. U predhodnim koracima izvršene su procene ranjivosti i procene hazarda, odnosno opasnosti od pojave suviška vode. Preklapanjem tih slojeva u GIS-u, njihovim množenjem i klasifikacijom rezultujuće karte na pet ekvidistantnih klasa dobijena je karta rizika od pojave suviška vode na teritoriji Vojvodine, slika 60.

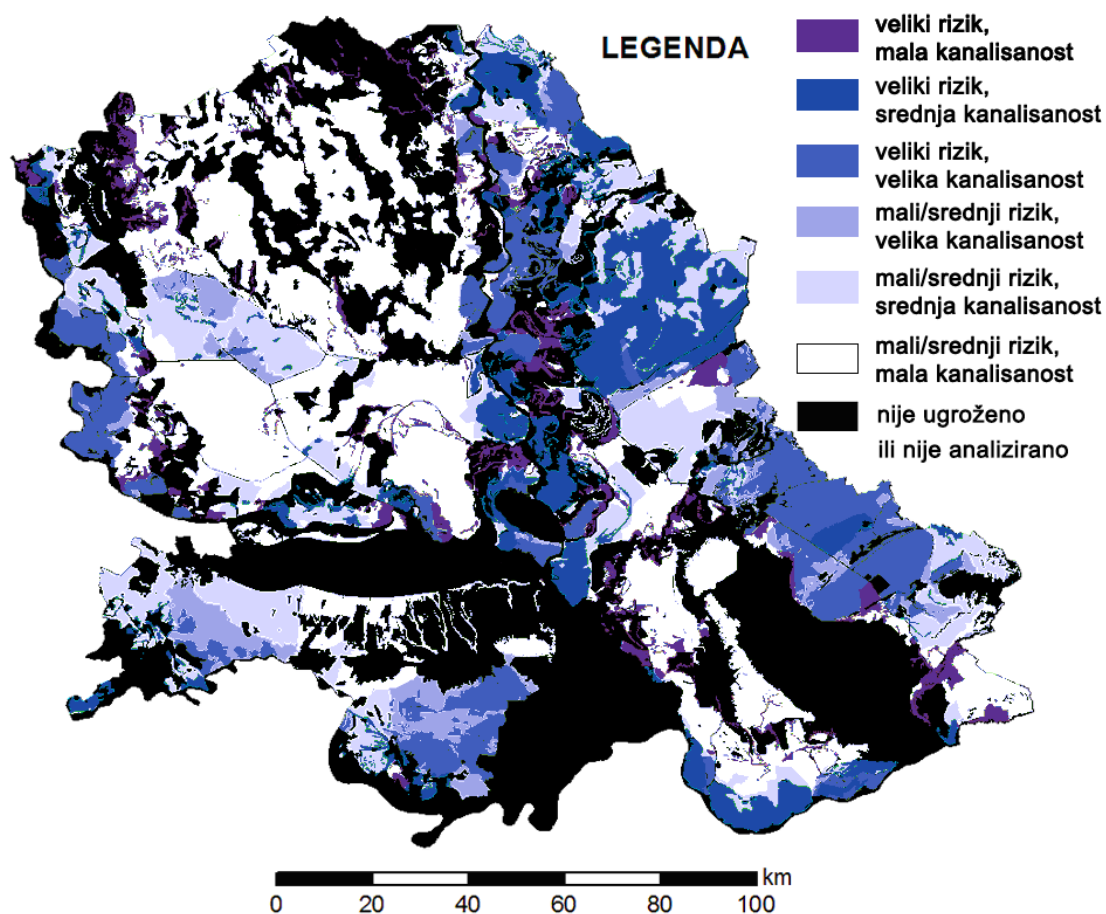
Procenjeno je da se najveći rizici od pojave suviška vode, klase rizika 4 i 5, javljaju na oko 11% površina teritorije Vojvodine. To su uglavnom područja u priobalju Dunava, Tise i Save i područja u jugoistočnom Banatu omeđena severoistočnim obroncima Deliblatske peščare od Vršca do Tamiša. Na tim područjima javlja se nepovoljna kombinacija pedoloških, geomorfoloških, hidroloških i klimatskih uslova. Srednji stepen rizika (klasa 3) javlja se na oko 10% površina, a najmanji rizici (klase 1 i 2) su na oko 42% od ukupne teritorije Vojvodine. Imajući u vidu da se smatra da oko 37% teritorije Vojvodine nije ugroženo viškom vode, može se reći da u današnjim uslovima veći deo teritorije Vojvodine nije ugrožen pojavom suviška vode.



Slika 60. Karta rizika od pojave suviška vode na teritoriji Vojvodine

Ako se uporedi karta rizika od pojave suviška vode sa gustinom kanalske mreže sistema za odvodnjavanje u Vojvodini, koja se kreće u vrlo širokim granicama od 0 m/ha pa do preko 70 m/ha, može se primetiti da kanalisnost na najvećem delu teritorije prati stepen rizika od pojave suviška vode, slika 61. To govori u prilog da je problem pojave suvišnih i štetnih unutrašnjih voda u Vojvodini sistematski rešavan. Međutim, ipak na oko 3,5% površina gde je procena rizika pokazala da postoji značajan rizik, gustina kanalske mreže je relativno mala. Na tim površinama postoji mogućnost nastanka problema i štetnih posledica usled pojave suvišnih unutrašnjih voda. To bi trebalo detaljnije ispitati terenskim istraživanjima da bi se mogle isplanirati i preduzeti odgovarajuće mere zaštite.





Slika 61. Odnos rizika od pojave suviška vode i kanalisanosti sistema za odvodnjavanje

### 6.3. PRIMENA DALJINSKE DETEKCIJE U PROCENI RIZIKA OD SUFICITA I DEFICITA VODE NA MELIORACIONOM PODRUČJU VOJVODINE

Daljinska detekcija omogućava prikupljanje informacija o Zemljinoj površini bez direktnog fizičkog kontakta i na taj način ubrzava i olakšava sagledavanje celine istraživanog prostora. Primenjuje se u mnogim oblastima a posebno su interesantne oblasti vodoprivrede i poljoprivrede gde može imati veoma važnu ulogu.

U ovom radu su procene rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području Vojvodine izvršene bez upotrebe tehnologija daljinske detekcije, ali će se u ovom poglavlju dati osvrt na primenu ove tehnologije u proučavanju pojava suše ili viška vode, što bi moglo biti predmet budućih istraživanja iz ove oblasti.

### Daljinska detekcija u analizi suše

Primenom matematičkih funkcija na spektralne potpise mogu se dobiti pokazatelji i indeksi koji se mogu primenjivati u proceni uslova vlažnosti. Suša, stanje smanjene vlažnosti u odnosu na normalno stanje, može se pratiti indeksima baziranim na tehnologiji daljinske detekcije kao što su tzv. indeksi vegetacije i indeksi vode. U ovom radu su analizirani indeksi NDVI (indeks normalizovane razlike vegetacije), NDWI (indeks normalizovane razlike vode) i FAPAR (frakcija apsorbirane fotosintetičke aktivne radijacije). Pomenuti indeksi u proračunati korišćenjem satelitskih snimaka misije MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

Indeksi NDVI su dobijeni na osnovu MODIS spektralnih kanala 1 (crvena, 620-670 nm) i 2 (blisko infracrvena, 841-876 nm), prostorne rezolucije od 1000 m a vremenske od mesec dana, korišćenjem sledeće formule:

$$NDVI = \frac{\text{kanal 2} - \text{kanal 1}}{\text{kanal 2} + \text{kanal 1}}$$

Indeksi NDWI su dobijeni na osnovu MODIS spektralnih kanala 2 (blisko infracrvena, 841-876 nm) i 7 (kratkotalasno - infracrvena, 2105-2155 nm), prostorne rezolucije od 500m a vremenske od 8 dana, korišćenjem sledeće formule:

$$NDWI = \frac{\text{kanal 2} - \text{kanal 7}}{\text{kanal 2} + \text{kanal 7}}$$

Kako su za određivanje indeksa NDWI korišćeni satelitski snimci vremenske rezolucije od 8 dana, NDWI za avgust mesec za pojedine godine je dobijen kao srednja vrednost indeksa NDWI za tri osmodnevna perioda u mesecu avgustu.

Indeksi FAPAR su dobijeni kao već proračunati indeksi sadržani u MODIS produktu MOD15A2, prostorne rezolucije od 1000 m a vremenske od 8 dana. Kao i u slučaju NDWI, mesečna vrednost indeksa FAPAR je dobijena kao srednja vrednost tri osmodnevna perioda u mesecu avgustu za posmatrane godine.

Kao indikatori suše korišćene su anomalije indeksa vegetacije i indeksa vode, jer se indeksi vegetacije i vode ne mogu direktno koristiti kao pokazatelji suše, zbog toga što suša u suštini predstavlja odstupanje u odnosu na

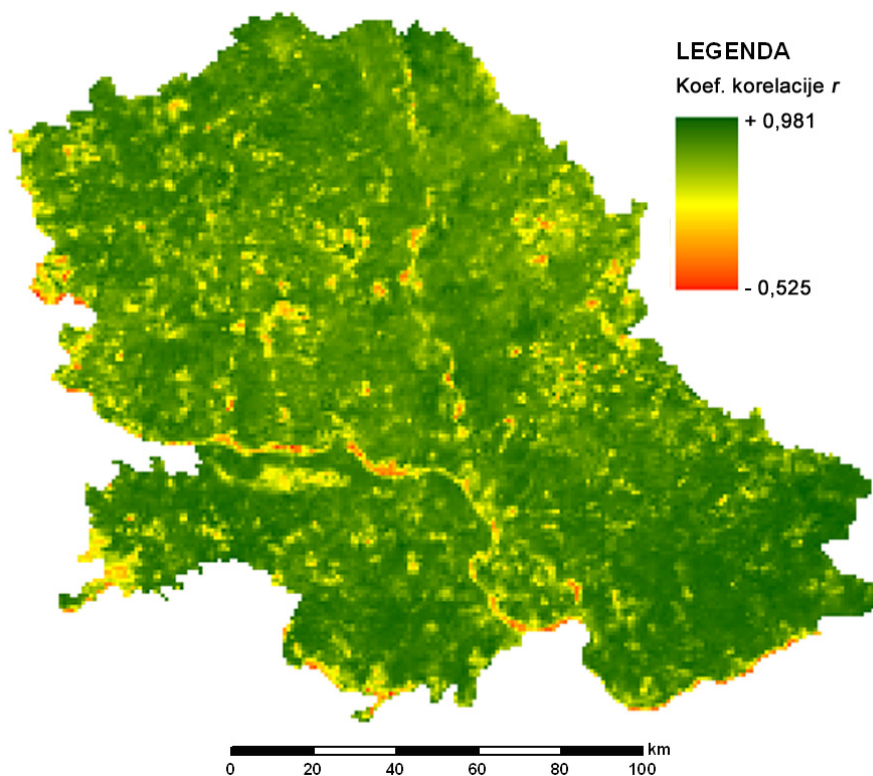
normalno stanje vlažnosti. Anomalija indikatora suše pokazuje veličinu odstupanja trenutne vrednosti indikatora suše u odnosu na višegodišnji prosek:

$$A_t = \frac{X_t - \bar{X}}{\sigma}$$

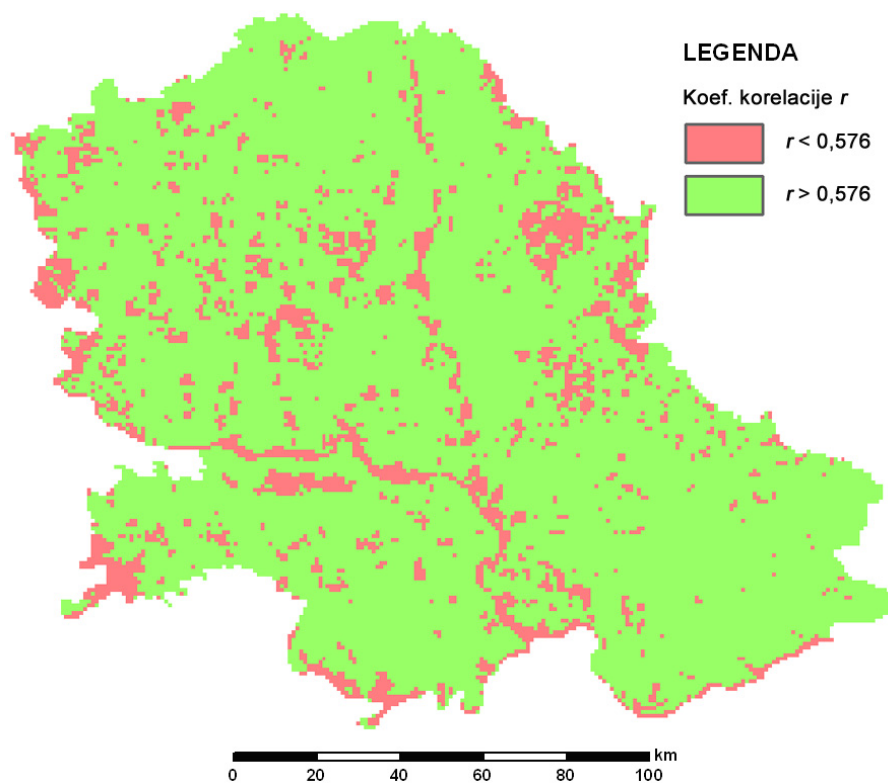
gde je  $A_t$  anomalija indikatora suše u trenutku  $t$ ,  $X_t$  je vrednost indikatora suše u trenutku  $t$  u tekućoj godini,  $\bar{X}$  je srednja vrednost indikatora suše trenutka  $t$  u višegodišnjem periodu a  $\sigma$  je standardna devijacija indeksa. U ovom radu suša je posmatrana u avgustu mesecu u periodu od 2000. do 2011. godine. Srednja vrednost i standardna devijacija su računati na osnovu višegodišnjeg niza vrednosti indeksa vegetacije ili vode za avgust mesec. Negativne vrednosti anomalije ukazuju na sušno stanje a pozitivne vrednosti na stanje povećane vlažnosti.

U cilju određivanja povezanosti između pokazatelja suše baziranih na tehnologiji daljinske detekcije i meteoroloških pokazatelja suše, izvršeni su proračuni prostorne korelacije između anomalija indeksa NDVI, NDWI i FAPAR za avgust meseca u periodu od 2000. do 2011. godine i indeksa SPI3 za avgust mesec u istom periodu. SPI3 za mesec avgust je u ovom radu korišćen i u proceni rizika od suše, kao dobar pokazatelj suše zbog visokog stepena slaganja sa prosečnim prinosima kukuruza.

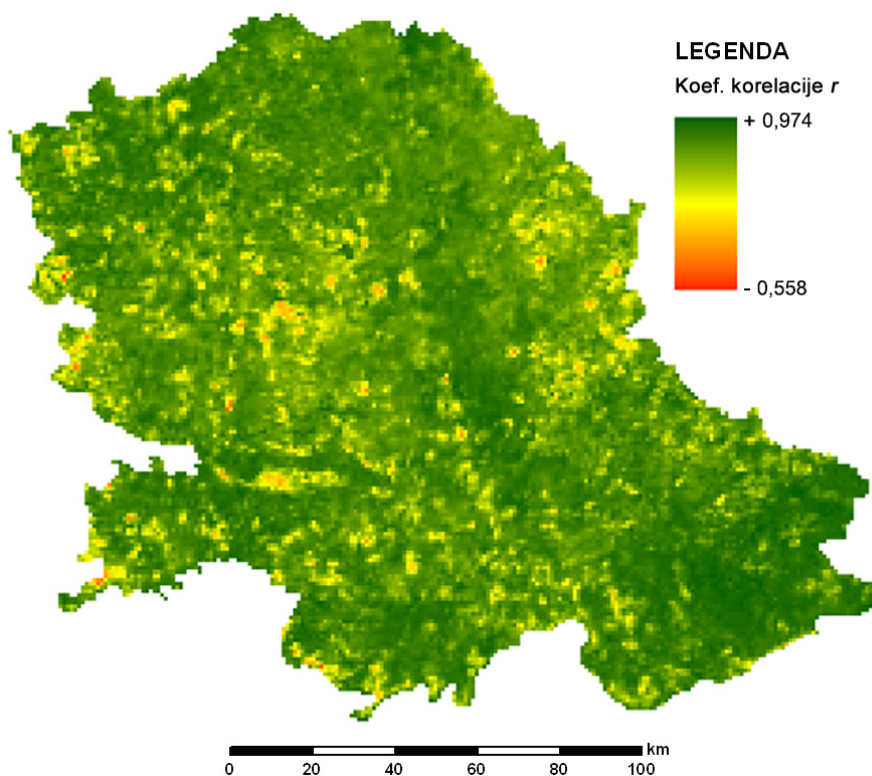
Između NDVI i SPI3 za mesec avgust postoji pozitivna korelacija na 99% teritorije Vojvodine a korelacija se može smatrati značajnom na 84,1% teritorije, jer je na tim površinama koeficijent korelacije  $r$  veći od 0,576 što je granična vrednost za prihvatanje hipoteze o značajnosti korelacije za prag značajnosti  $\alpha = 0,05$  i 10 stepeni slobode (slike 62 i 63). Između NDWI i SPI3 za mesec avgust postoji pozitivna korelacija na 99,7% teritorije Vojvodine a korelacija se može smatrati značajnom na 82,9% teritorije (slike 64 i 65). Između FAPAR i SPI3 za mesec avgust postoji pozitivna korelacija na 96,2% teritorije Vojvodine a korelacija se može smatrati značajnom na 61,8% teritorije (slike 66 i 67). Korelaciona analiza je pokazala da je najveći stepen slaganja između indeksa NDVI i i SPI3 za mesec avgust. Na slici 68 dati su primeri indeksa NDVI za avgust mesec za sušne godine 2000. i 2007. i za umereno vlažne godine 2005. i 2006.



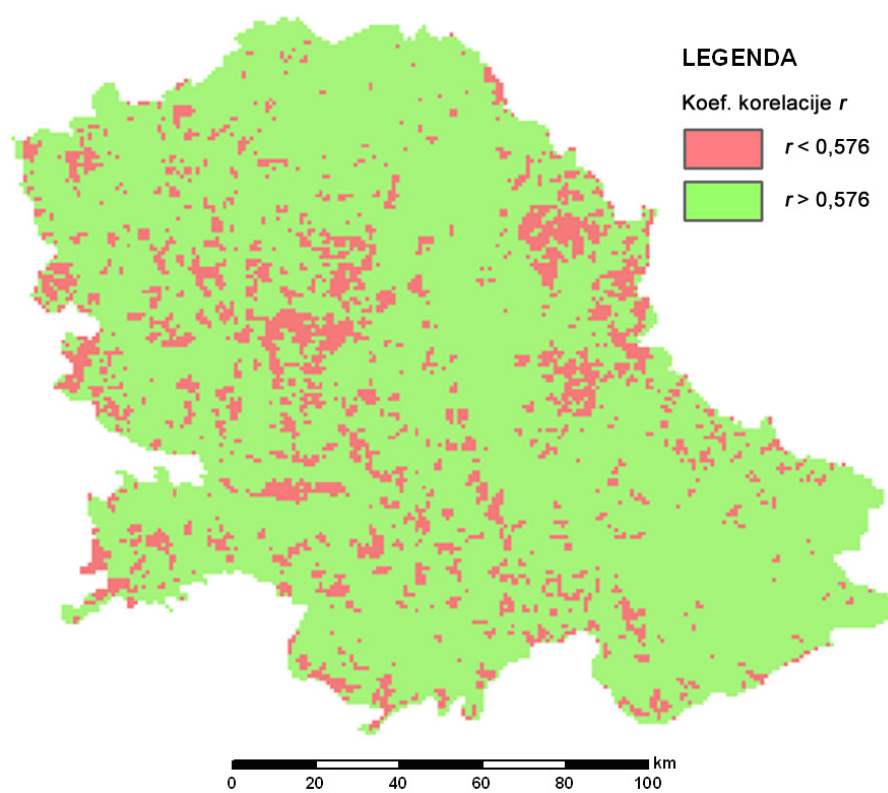
Slika 62. Korelacija NDVI i SPI3 za mesec avgust u periodu 2000. - 2011.



Slika 63. Karta značajnosti korelacije između NDVI i SPI3 za mesec avgust u periodu 2000. - 2011.

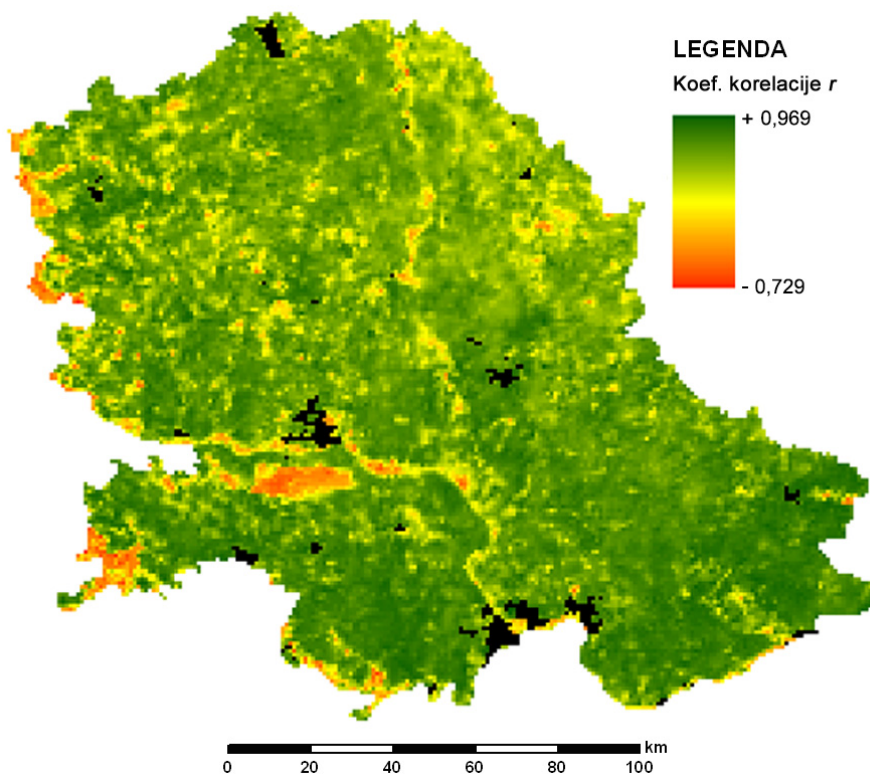


Slika 64. Korelacija NDWI i SPI3 za mesec avgust u periodu 2000. - 2011.

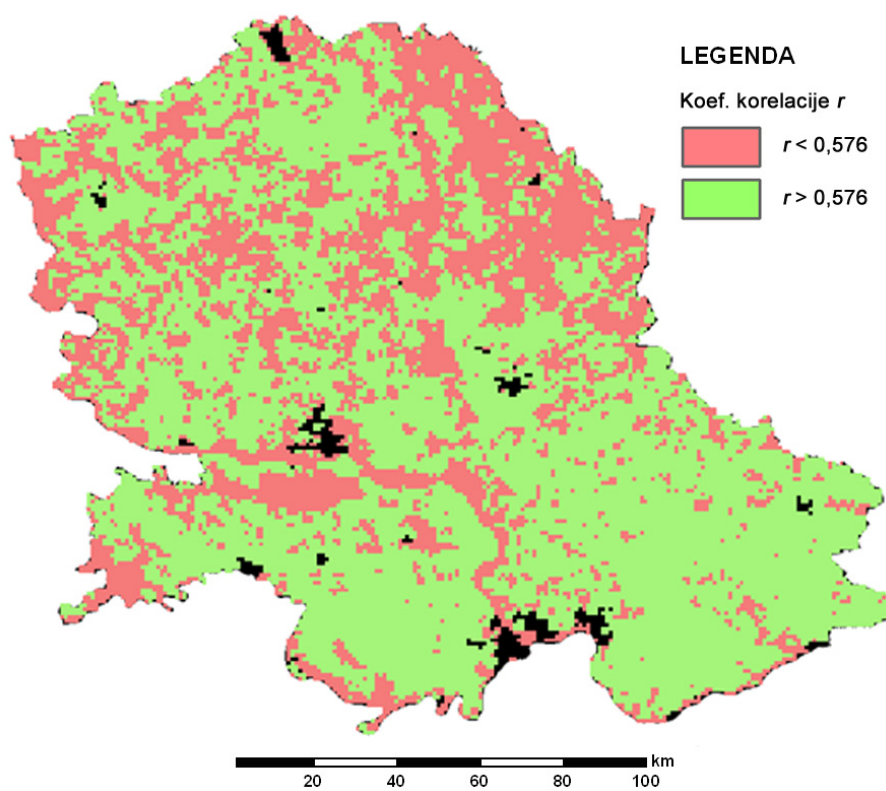


Slika 65. Karta značajnosti korelacije između NDWI i SPI3 za mesec avgust u periodu 2000. - 2011.

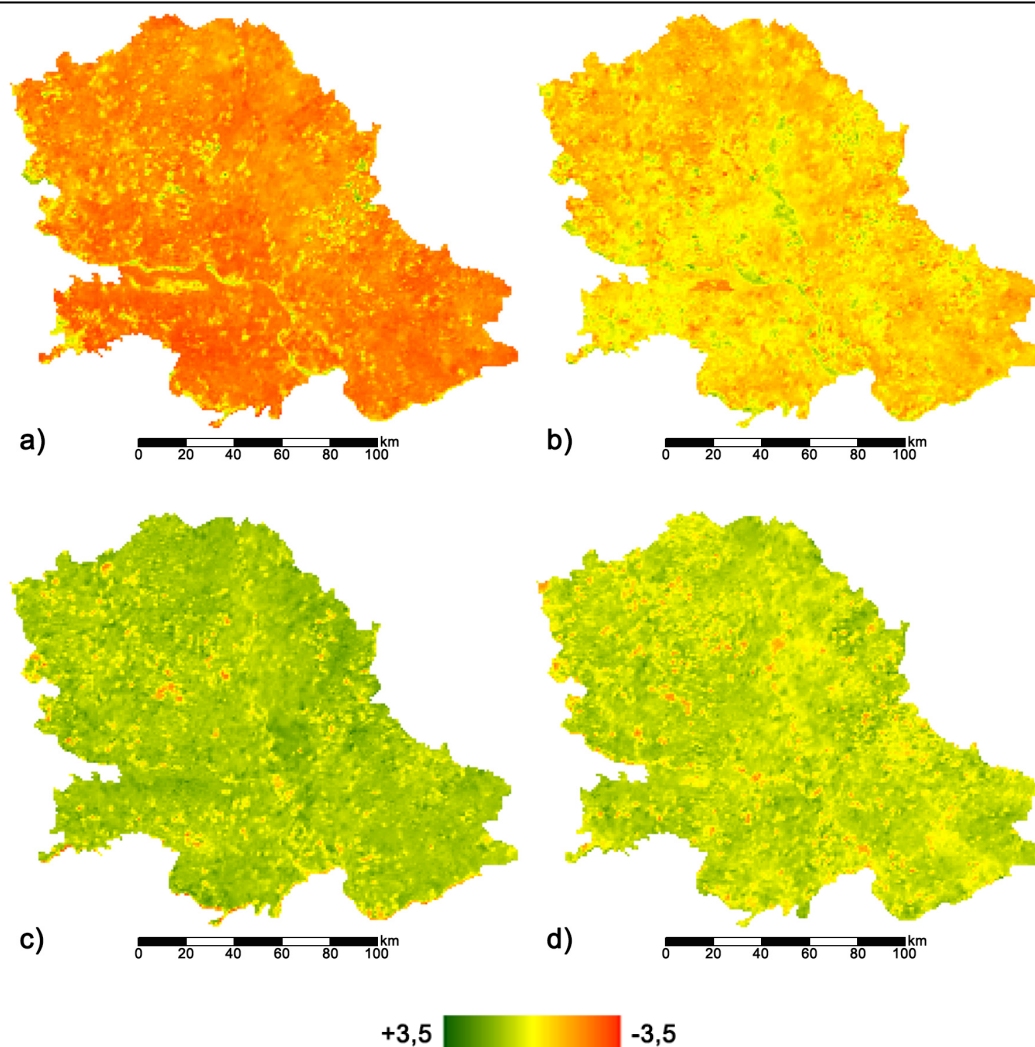




Slika 66. Korelacija FAPAR i SPI3 za mesec avgust u periodu 2000. - 2011.



Slika 67. Karta značajnosti korelacije između FAPAR i SPI3 za mesec avgust u periodu 2000. - 2011.



Slika 68. Anomalije indeksa NDVI za mesec avgust (a) 2000., (b) 2007., (c) 2005. i (d) 2006. godine

Na slici 68a se može uočiti da anomalija indeksa NDVI za mesec avgust jasno pokazuje izrazitu sušu skoro na čitavoj teritoriji Vojvodine u 2000. godini a nešto blažu sušu 2007. godine (slika 68b) u odnosu na umereno vlažne godine 2005. i 2006. (slike 68c i 68d).

### Daljinska detekcija u analizi pojave viška vode

U ovom poglavlju je ispitivana mogućnost praćenja pojave suviška vode indikatorima baziranim na tehnologiji daljinske detekcije kao što su tzv. indeksi vode. Analizirani su indeksi normalizovane razlike vode NDWI<sub>4</sub> i NDWI<sub>7</sub>. Pomenuti indeksi su proračunati korišćenjem satelitskih snimaka misije MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

Indeks  $NDWI_4$  je dobijen na osnovu MODIS spektralnih kanala 2 (blisko infracrvena, 841-876 nm) i 4 (zelena, 545–565 nm) a  $NDWI_7$  je dobijen na osnovu MODIS spektralnih kanala 2 (blisko infracrvena, 841-876 nm) i 7 (kratkotalasno - infracrvena, 2105-2155 nm). Korišćeni satelitski snimci su prostorne rezolucije od 500 m a vremenske od 8 dana. Mesečne vrednosti indeksa  $NDWI_4$  i  $NDWI_7$  su dobijene kao srednje vrednosti tri osmodnevna perioda. Indeksi su računati prema sledećim formulama:

$$NDWI_4 = \frac{\text{kanal 4} - \text{kanal 2}}{\text{kanal 4} + \text{kanal 2}}$$

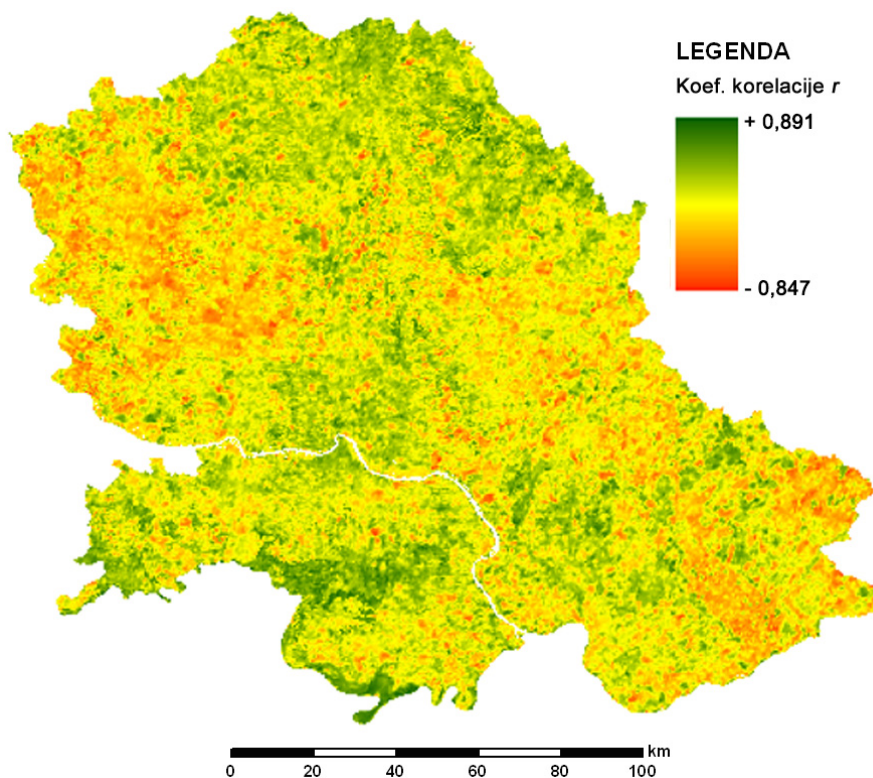
$$NDWI_7 = \frac{\text{kanal 2} - \text{kanal 7}}{\text{kanal 2} + \text{kanal 7}}$$

Kao indikatori povećane vlažnosti, odnosno pojave viška vode korišćene su anomalije indeksa vode. Anomalija pokazuje veličinu odstupanja trenutne ili posmatrane vrednosti indikatora pojave viška vode u odnosu na višegodišnji prosek. Anomalije indikatora pojave viška vode su računane korišćenjem opšte formule korišćene i u slučaju proračuna anomalije satelitskih indikatora suše. Pozitivne vrednosti anomalije indikatora pojave viška vode ukazuju na stanje povećane vlažnosti.

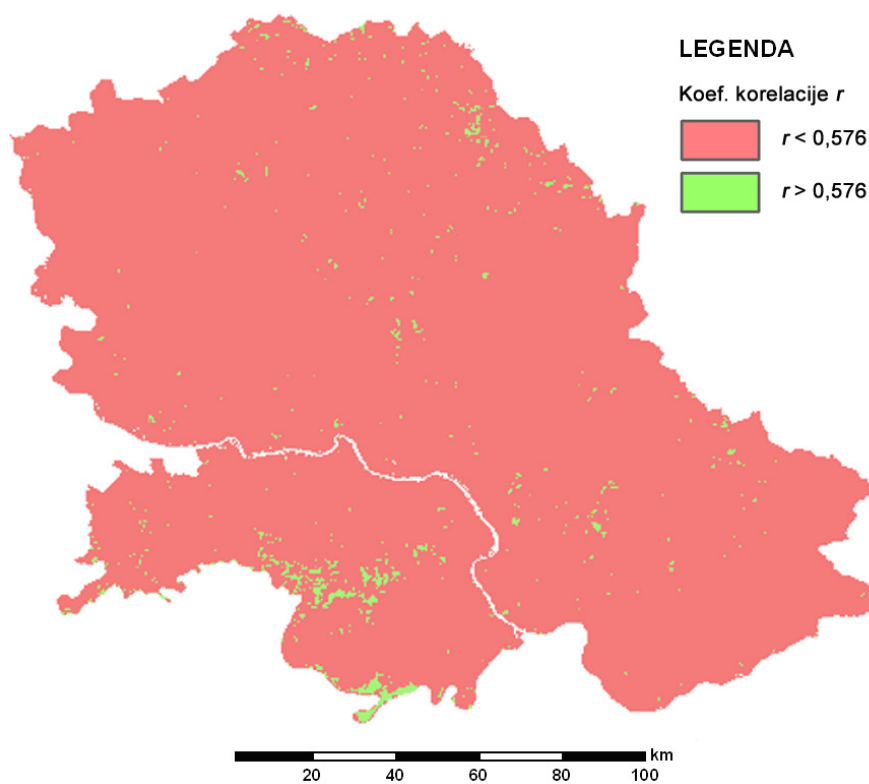
U ovoj analizi, indeksi  $NDWI_4$  i  $NDWI_7$  su proračunati za mart mesec u periodu od 2000. do 2011. godine. Zatim, u cilju utvrđivanja opravdanosti korišćenja ovih indeksa, izvršeni su proračuni prostorne korelacije sa viškovima vode u martu mesecu proračunate metodom Thornthwaite-a u posmatranom periodu. Izabran je mesec mart iz razloga što se u tom mesecu često javlja potreba za odvodnjavanjem suvišne vode sa poljoprivrednih parcela radi pripreme zemljišta za prolećne poljoprivredne radove.

Između  $NDWI_4$  i proračunatog viška vode za mesec mart postoji pozitivna korelacija na 59,1% teritorije Vojvodine a korelacija se može smatrati značajnom samo na 1,5% teritorije jer je na tim površinama koeficijent korelacije  $r$  veći od 0,576 što je granična vrednost za prihvatanje hipoteze o značajnosti korelacije za prag značajnosti  $\alpha = 0,05$  i 10 stepeni slobode (slike 69 i 70). Između  $NDWI_7$  i proračunatog viška vode za mesec mart postoji pozitivna korelacija na 73,7% teritorije Vojvodine a korelacija se može smatrati značajnom samo na 3,7% teritorije (slike 71 i 72).

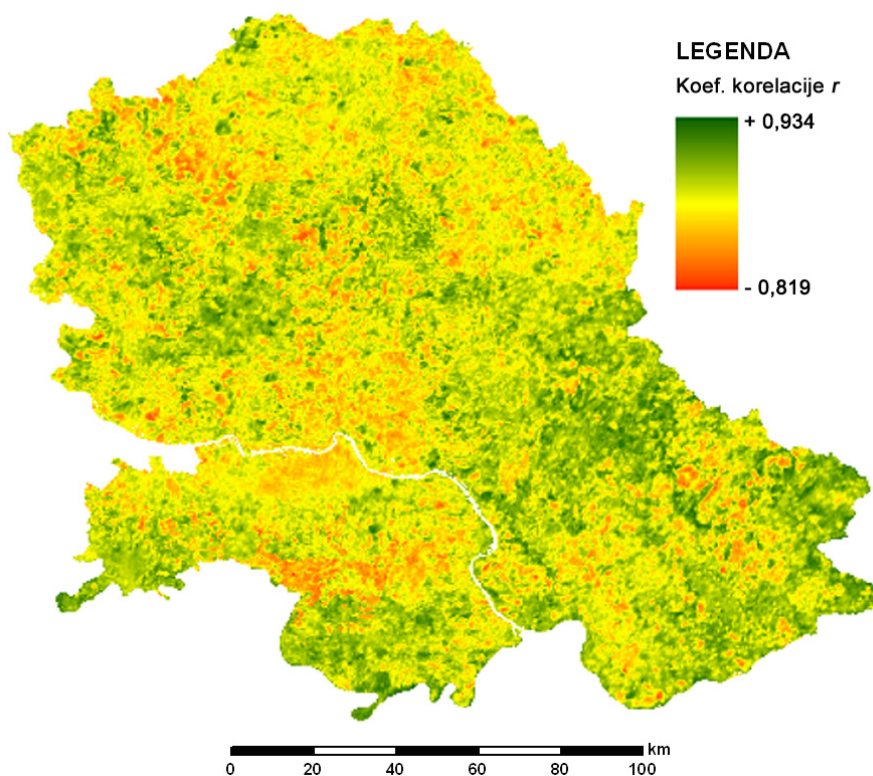




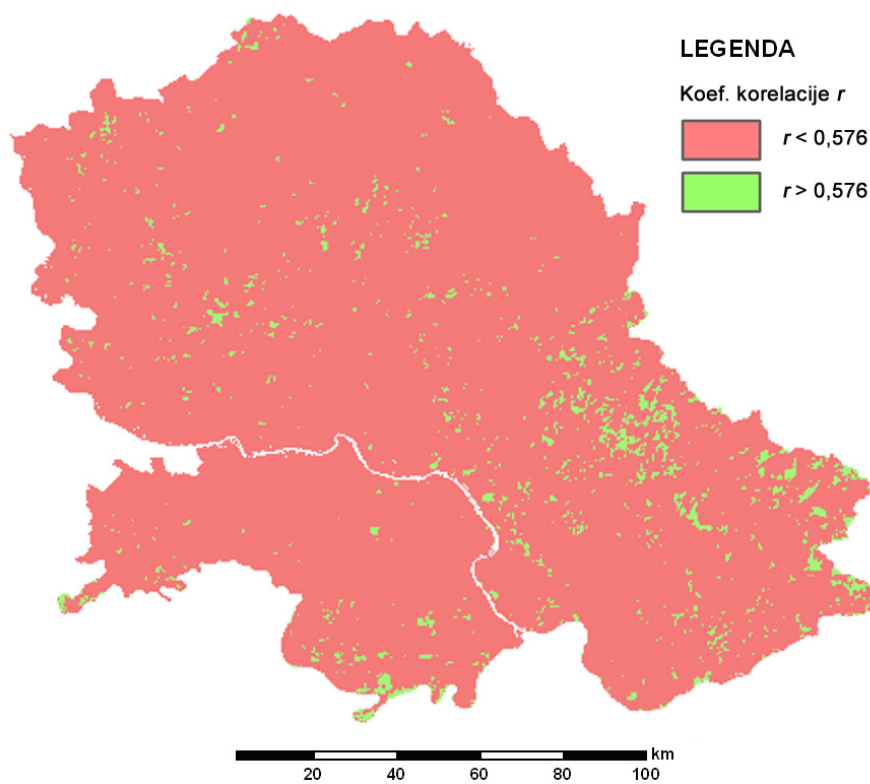
Slika 69. Korelacija  $NDWI_4$  i viška vode u martu mesecu u periodu 2000. - 2011.



Slika 70. Karta značajnosti korelacije između  $NDWI_4$  i viška vode u martu mesecu u periodu 2000. - 2011.



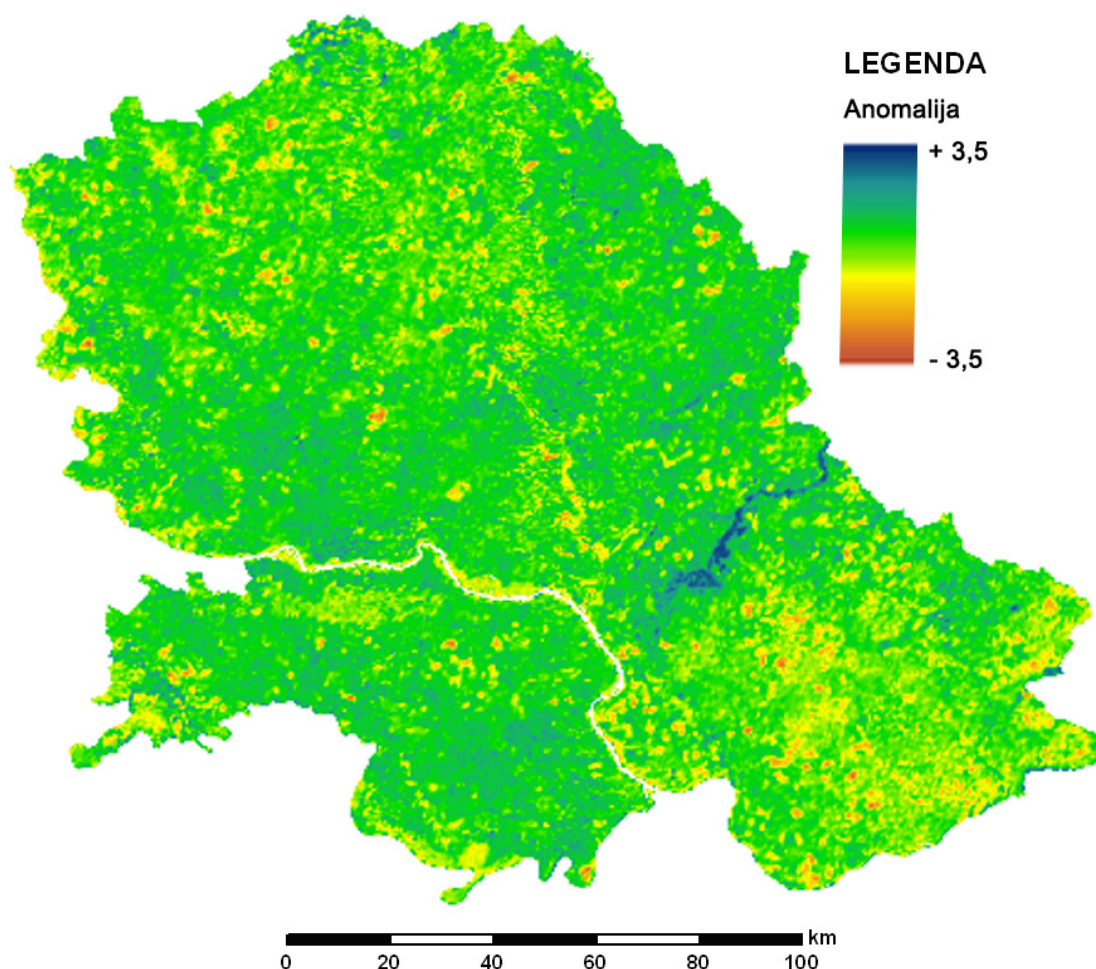
Slika 71. Korelacija  $NDWI_7$  i viška vode u martu mesecu u periodu 2000. - 2011.



Slika 72. Karta značajnosti korelacije između  $NDWI_7$  i viška vode u martu mesecu u periodu 2000. - 2011.

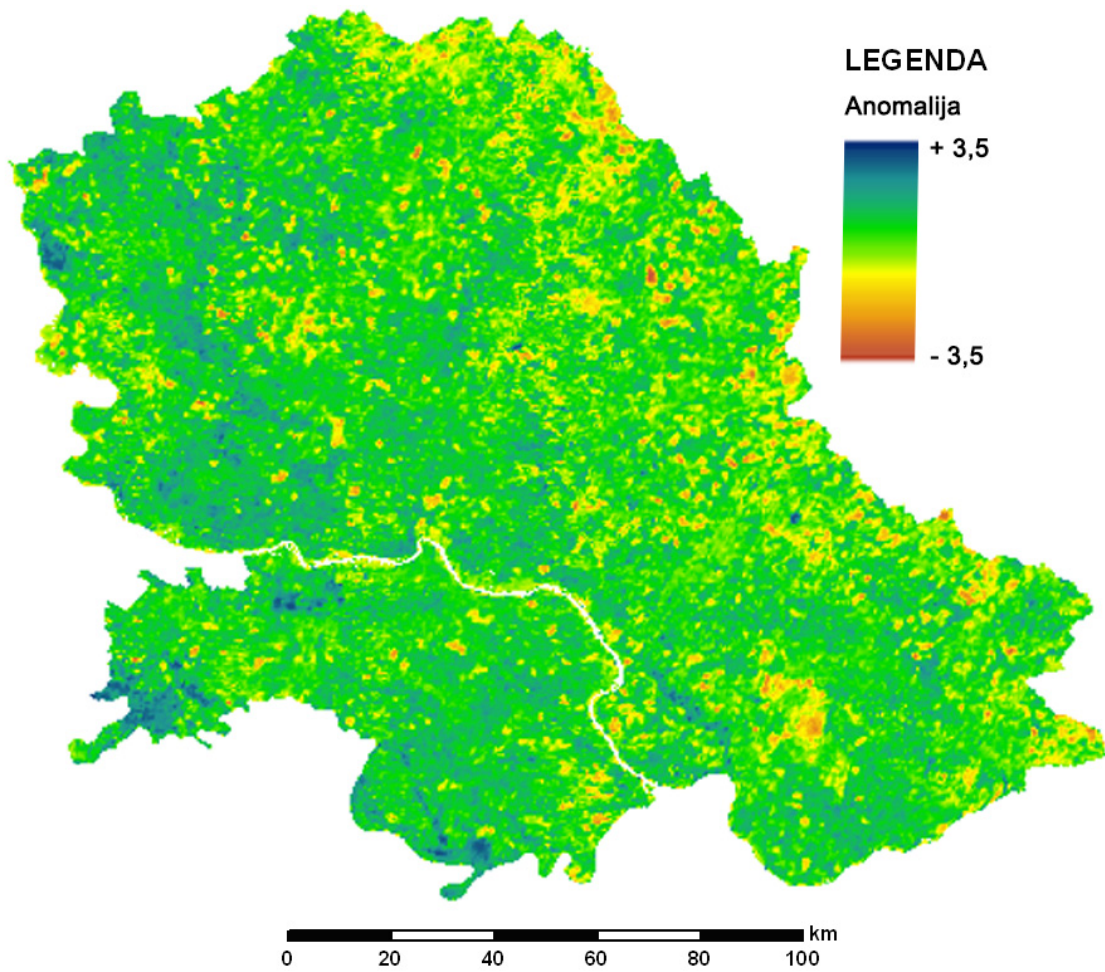
Korelaciona analiza je pokazala da na teritoriji Vojvodine ne postoji značajno slaganje između analiziranih satelitskih indeksa vode i proračunatih viškova vode u martu mesecu. Da bi se mogla opravdati upotreba satelitskih indeksa vode u proceni pojave viška vode potrebno je izvršiti dalja istraživanja.

Primeri na slikama 73 i 74, daju naznaku da bi se satelitski indeksi vode mogli koristiti za praćene pojave viška vode. Na slici 73 anomalija indeksa  $NDWI_4$  za mart mesec 2005. godine jasno ukazuje na pojavu viška vode u slivu reke Tamiš, kada je ona i stvarno zabeležena. Na slici 74 anomalija indeksa  $NDWI_4$  takođe ukazuje na pojavu viška vode u martu mesecu 2010. godine koja je okarakterisana kao veoma vlažna godina.



*Slika 73. Anomalija indeksa  $NDWI_4$  za mart mesec 2005. godine*





Slika 74. Anomalija indeksa NDWI<sub>4</sub> za mart mesec 2010. godine

## **7. DISKUSIJA REZULTATA**

### **Diskusija rezultata procene rizika od deficita vode na melioracionom području Vojvodine**

Rizik od poljoprivredne suše na melioracionom području Vojvodine je određen na osnovu procene ranjivosti i hazarda. Komponente ranjivosti, odnosno faktori na osnovu kojih je izvršena procena ranjivosti su karakteristike pedološkog pokrivača, reljefa, način korišćenja zemljišta, potrebe poljoprivrednih useva za navodnjavanjem (devet ratarskih, povrtarskih i voćarskih kultura) i izgrađenost sistema za navodnjavanje. Ovi faktori su odabrani na osnovu njihovog uticaja na samu pojavu suše ili na ublažavanje efekata suše, na osnovu dostupnosti podataka i na osnovu istraživanja brojnih autora.

Većina autora koji su istraživali ovu problematiku su kao jedan od najznačajnijih komponenti ranjivosti na poljoprivrednu sušu naveli karakteristike pedološkog pokrivača (Wilhelmi i Wilhte, 2002; Bella i sar., 2005; Pandey i sar., 2010b; Slejko i sar., 2010). Uglavnom su uzimani u razmatranje osobine zemljišta kao što su tip zemljišta, tekstura, dubina soluma, sadržaj organske materije i vodna svojstva zemljišta. U ovom radu su kao faktori ranjivosti na sušu razmatrane sledeće karakteristike zemljišta: količina akumulirane vode, irigabilne klase zemljišta i proizvodne osobine zemljišta. Potencijalna količina akumulirane vode u zemljištu se dobija proizvodom dubine soluma zemljišta i razlike PVK i tačke venjenja i u suštini ona zavisi od tipa i teksture zemljišta. Irigabilna svojstva zemljišta zavise od brojnih karakteristika zemljišta kao što su dubina soluma, tip zemljišta, tekstura, vodna svojstva, struktura i stabilnost strukturnih agregata, poroznost, sadržaj humusa, udeo i raspored kreča i mnoga druga. Proizvodne osobine zemljišta zavise od vodno-vazdušnih (fizičkih) osobina zemljišta, a ove zavise od tipa, podtipa, varijeteta i forme zemljišta. Iz navedenog se može konstatovati da se u ovom radu, odabirom navedene tri karakteristike zemljišta uzeta u razmatranje sva bitna svojstva zemljišta koja mogu uticati na pojavu ili na ublažavanje efekata poljoprivredne suše.

Većina zemljišta u Vojvodini su veoma pogodna za poljoprivrednu proizvodnju tako da je analiza ranjivosti pokazala da oko 52% zemljišta Vojvodine ima veoma malu ranjivost na sušu po ovom kriterijumu a da je petina, oko 19%, sa lošim pedološkim karakteristikama i veoma ranjivo na sušu.

Iako je reljef Vojvodine izrazito ravničarski i na niskoj nadmorskoj visini, u ovom radu je ranjivost na poljoprivrednu sušu ipak analizirana i sa aspekta reljefa, prema uzoru na istraživanja drugih autora (Bella i sar., 2005; Pandey i sar., 2010b; Slejko i sar., 2010). Razmatrani su pad terena i količina Sunčeve radijacije. Oko 95% teritorije Vojvodine ima nisku ranjivost na sušu po ovom kriterijumu zbog blagih padova terena a vrednosti Sunčeve radijacije su veoma ujednačene po celoj teritoriji. Međutim, izveštaji sa terena iz 2012. godine, godine koja je okarakterisana kao veoma sušna, pokazuju da su mnoge parcele ili delovi parcela sa orijentacijom pada terena prema severoistoku pretrpele manje štete od suše u odnosu na druge parcele. To ukazuje na opravdanost korišćenja ovog faktora u proceni ranjivosti na poljoprivrednu sušu.

Prostorna baza podataka o načinu korišćenja zemljišta je u ovom radu uglavnom korišćena da bi se izolovale površine koje nisu od interesa za procenu rizika od poljoprivredne suše, a to su urbane i veštačke površine, šumska područja i vodene površine. Pašnjacima i poljoprivrednim područjima gde je prirodna vegetacija znatno zastupljena je prema uzoru na istraživanje Wilhelmi i Wilhte (2002) dodeljena niža vrednost ranjivosti na sušu nego ostalim poljoprivrednim površinama, zbog veće prilagodljivosti vegetacije na tim područjima vremenskim prilikama. Oko 19% teritorije Vojvodine ne spada u poljoprivredne površine i nisu razmatrana u proceni rizika, oko 77% teritorije su oranice a oko 4% su pašnjaci.

Za razliku od istraživanja drugih autora (Wilhelmi i Wilhte, 2002; Bella i sar., 2005; Pandey i sar., 2010b; Slejko i sar., 2010), u ovom radu su u proceni ranjivosti na poljoprivrednu sušu uračunate i potrebe poljoprivrednih kultura za navodnjavanjem. Kako se efekti poljoprivredne suše manifestuju pre svega na prinose, ovaj faktor ranjivosti je od velike važnosti. U ovom radu je izvršena rejonizacija prema potrebama useva za navodnjavanjem. Severni i severoistočni krajevi Vojvodine su najugroženiji po ovom kriterijumu.

Efekat sistema za navodnjavanje je takođe uzet u razmatranje u proceni ranjivosti na poljoprivrednu sušu. Sistemi za navodnjavanje nesporno

ublažavaju ili čak i u potpunosti eliminišu negativno dejstvo poljoprivredne suše, (Bošnjak i Pejić, 1994; Maksimović i Dragović, 2002; Bošnjak i sar., 2005; Dragović i sar., 2005; Maksimović i sar., 2005; Milić i sar., 2010) ali su u Vojvodini sistemi za navodnjavanje izgrađeni na veoma malim površinama, na svega oko 5% od ukupnih poljoprivrednih površina, sistemi su funkcionalni na oko 2,5% površina a redovno se koriste tek na oko 1,5% poljoprivrednih površina.

Težinske vrednosti koeficijenata faktora ranjivosti na poljoprivrednu sušu su određene metodom entropije. U teoriji informacija entropija se tretira kao mera neodređenosti, odnosno dezorganizovanosti nasuprot informacije koja predstavlja meru organizovanosti sistema. Pojam entropije se vezuje i za termodinamičke sisteme i ona pokazuje smer najverovatnijeg odvijanja procesa u prirodi (Mihailović i sar., 2009). Metoda entropije je odabrana zbog objektivnog pristupa određivanju težinskih koeficijenata gde relativna važnost faktora ranjivosti reflektuje količinu informacija sadržanu u svakom od njih. Rezultati određivanja vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti su pokazali da najveći uticaj na ranjivost na poljoprivrednu sušu imaju pedološke karakteristike i potrebe poljoprivrednih kultura za navodnjavanjem. Karakteristike reljefa i način korišćenja zemljišta dobile su male vrednosti težinskih koeficijenata, što je logično zbog toga što je Vojvodina pretežno ravničarski kraj sa dominantnim učešćem poljoprivrednih površina.

Uticaj sistema za navodnjavanje nije određen metodom entropije, već je u ovom radu usvojeno da se površinama pod sistemima za navodnjavanje dodeli najniža klasa ranjivosti, klasa 1 – veoma mala ranjivost na poljoprivrednu sušu, a kasnije u proceni rizika je tim površinama dodeljena i najniža klasa rizika, klasa 1.

Množenjem faktora ranjivosti na sušu za težinskim koeficijentima a zatim njihovim sabiranjem u GIS-u, dobijena je karta ranjivosti na poljoprivrednu sušu u Vojvodini koja ukazuje da su najugroženiji severoistočni krajevi Banata, uglavnom zbog nepovoljnih klimatskih i pedoloških karakteristika, što je u skladu sa dosadašnjim istraživanjima (Berić i Salvai, 1995; Savić i Salvai, 1997; Savić i sar., 1997; Salvai i Savić 2000; Savić i sar., 2000; Rajić, 2004).

Hazard, odnosno opasnost od suše je procenjena analizom odgovarajućih indikatora suše. U ovom istraživanju odabrana su dva indikatora,

SPI i PaDI. Njihove vrednosti su proračunate za devet posmatranih meteoroloških stanica u Vojvodini, u višegodišnjem periodu od 1971. do 2011. godine.

SPI (McKee i sar., 1993) je odabran zbog jednostavnosti proračuna i zbog toga što je u brojnim istraživanjima dokazana opravdanost korišćenja ovog indeksa u proučavanju pojave suše širom sveta. Takođe, korelaciona analiza, koja je izvršena u ovom radu je pokazala 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. Značajno je i to što SPI može da prati razvoj pojave suše na mesečnom nivou. Opasnost od suše je analizirana primenom stohastičke metode Markovljevih lanaca na vremenske serija SPI3. Proračunate su verovatnoće pojave pojedinih stanja suše, povratni periodi stanja suše, očekivano vreme trajanja određenog stanja suše i proračun trajanja prvog prelaza iz posmatranog stanja suše u stanje normalne vlažnosti. Rezultati su pokazali da je najveća opasnost od pojave suše u regionu u okolini Novog Sada. Ti rezultati nisu u skladu sa dosadašnjim istraživanjima drugih autora u ovoj oblasti (Dragović, 2001; Spasov, 2003; Rajić, 2004; Dodik i sar., 2006), ali razlog tome je što indeks SPI predstavlja anomaliju padavina u odnosu na višegodišnju normalu za posmatranu lokaciju, a ne predstavlja aridnost nekog kraja.

Indeks PaDI je modifikovana verzija Palfaijevog indeksa aridnosti koji je razvijen za naše agroklimatske uslove, ali njegova najveća mana je što se on računa na godišnjem nivou i ne može se koristiti za detaljnije praćenje razvoja pojave suše. Istraživanjem se došlo do zaključka da je 3-parametarska log-logistička distribucija, teorijska distribucija koja najviše odgovara empirijskim podacima vrednosti indeksa PaDI na teritoriji Vojvodine. Izračunate su verovatnoće pojava vrednosti indeksa PaDI koje odgovaraju granicama kategorija umerene suše, umereno jake suše i jake suše. Rezultati su pokazali da je najveća opasnost od pojave suše, prema indeksu PaDI, u severoistočnim krajevima Vojvodine.

Preklapanjem GIS slojeva karata hazarda prema indeksu PaDI i indeksa SPI3 dobijena je rezultujuća karta hazarda, odnosno opasnosti od suše koja pokazuje da je najveća vrednost hazarda u centralnim i severoistočnim krajevima Vojvodine, dok je najmanja na jugu i jugoistoku.



Rizik na poljoprivrednu sušu dobijen je množenjem ranjivosti i hazarda. Procenjeno je da je najveći rizik od poljoprivedne suše u severoistočnim krajevima Vojvodine, gde je procenjena i najveća opasnost od suše i visoka ranjivost zbog lošijih osobina zemljišta i visokih potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih kultura. Usled povoljne kombinacije klimatskih i zemljišnih uslova najmanji rizik je procenjen u severozapadnim i južnim krajevima Vojvodine. Rezultati su pokazali da se oko 7% od ukupnih poljoprivrednih površina se nalazi u 4. klasi rizika, oko 14% u 3. klasi, 47% u 2. klasi i oko 32% poljoprivrednih površina se nalazi u 1. klasi rizika od suše.

### **Diskusija rezultata procene rizika od suficita vode na melioracionom području Vojvodine**

Autori koji su istraživali pojavu suviška vode i poplava od unutrašnjih voda u našem regionu ističu da su te pojave uslovljene reljefom i visinskim položajem ugroženog terena, mehaničkim sastavom i vodnim osobinama zemljišta, načinom obrade zemljišta, stepenom izgrađenosti sistema za odvodnjavanje i meteorološkim i hidrološkim prilikama (Belić i sar., 1995; Škorić, 2000; Božinović i Savić, 2000; Savić, 2000; Milošev i Dedić, 2000; Belić i Zdravić, 2004).

U ovom radu, procena ranjivosti na pojavu suviška vode izvršena je na osnovu drenažnih klasa zemljišta (stepen ugroženosti suvišnim vodama na osnovu brzine i razmere uklanjanja viška vode prirodnim putem), geomorfoloških odlika područja, prosečnog višegodišnjeg nivoa prve izdani u vanvegetacionom periodu i načina korišćenja zemljišnog pokrivača.

Kako su podaci o načinu obrade zemljišta teško dostupni, posebno podaci o formiranju tzv. "plužnog đona", oni nisu mogli biti korišćeni u proceni ranjivosti na pojavu suviška vode. Meteorološke prilike analizirane su za potrebe procene hazarda a kanalisnost sistema a odvodnjavanje je korišćena u komparaciji sa kartom rizika od pojave suvišnih voda radi utvrđivanja ugroženih područja.

Prema drenažnim klasama zemljišta oko 30% teritorije Vojvodine je veoma ranjivo na pojavu viška vode. To su područja sa teškim, zaslanjenim ili močvarnim zemljištem i područja u priobalju reka. Na osnovu geomorfoloških odlika, oko 32% teritorije Vojvodine se prostire na aluvijalnim terasama i

ravnima, hipsometrijski najnižim delovima terena i u tom smislu to su područja koja mogu biti ugrožena pojavom viška voda. Na oko 12% teritorije Vojvodine je nivo prve izdani u vanvegetacionom periodu relativno plitak, najčešće na područjima koja se nalaze u priobalju vodotokova i hipsometrijski najniži tereni. Područje od interesa za procenu rizika od pojave viška vode je definisano izdvajanjem prirodno dobro dreniranih zemljišta, visokog terena, vodenih površina i površina pod šumom. Područje od interesa – područje koje je potencijalno ugroženo viškom vode se prostire na oko 63% teritorije Vojvodine.

Vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti na pojavu suviška vode određene su metodom entropije na način koji je primenjen i u slučaju određivanja vrednosti težinskih koeficijenata faktora ranjivosti na poljoprivednu sušu. Rezultati su pokazali da najveći uticaj na ranjivost na pojavu suviška vode imaju drenažne klase zemljišta a nešto manji uticaju imaju nivoi prve izdani u vanvegetacionom periodu i geomorfološke odlike područja.

Množenjem faktora ranjivosti na pojavu suviška vode sa odgovarajućim težinskim koeficijentima, zatim sabiranjem tih slojeva u GIS-u dobijena je karta ranjivosti na pojavu suviška vode koja ukazuje da je zbog nepovoljne kombinacije faktora ranjivosti oko 20% teritorije Vojvodine veoma ugroženo pojavom viška vode. Najranjiviji krajevi su severoistočni Banat, celo priobalje reke Tise i područja omeđena severoistočnim obroncima Deliblatske peščare od Vršca do Tamiša i priobalje Dunava. U Bačkoj su to uglavnom područja uz levu obalu Dunava a u Sremu uz levu obalu Save. Dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima dosadašnjih istraživanja iz ove oblasti (Kolaković, 1998, 2003, 2006; Belić i sar., 1995; Škorić, 2000; Božinović i Savić, 2000; Savić, 2000; Milošev i Dedić, 2000; Belić i Zdravić, 2004).

Opasnost od pojave suviška vode i poplava od unutrašnjih voda procenjena je analizom vodnog bilansa zemljišta gde kao elementi vodnog bilansa ulaze potencijalna evapotranspiracija, sume mesečnih padavina i rezerve vode u zemljištu. Vodni bilans zemljišta je računat za svaki poligon pedološke karte na osnovu podataka sa pripadajuće meteorološke stanice, za višegodišnji period od 1971. do 2011. godine.

Utvrđeno je da 3-parametarska uopštena distribucija ekstremnih vrednosti (GEV - Generalized Extreme-Value distribution) najviše odgovara empirijskim podacima vrednosti viška vode na teritoriji Vojvodine. Ovi rezultati

potvrđuju rezultate istraživanja drugi autora koji su GEV distribuciju koristili u analizama ekstremnih hidroloških pojava kao što su poplave, visoki vodostaji, godišnji protoci, godišnje sume padavina i dr. (Martins i Stedinger, 2000; Markuš, 2006; Diebolt i sar., 2008). Korišćenjem 3-parametarske GEV distribucije izračunati su viškovi vode sa desetogodišnjim povratnim periodom. Rezultati su pokazali da na oko 21% teritorije Vojvodine postoji značajna opasnost od pojave suviška vode, uglavnom na područjima u južnoj Bačkoj, jugoistočnom Sremu i jugozapadnom i jugoistočnom Banatu.

Rizik od pojave suviška vode i poplava od unutrašnjih voda dobijen je množenjem ranjivosti i hazarda. Procenjeno je da se najveći rizici od pojave suviška vode javljaju na oko 11% površina teritorije Vojvodine, usled se nepovoljne kombinacije pedoloških, geomorfoloških, hidroloških i klimatskih uslova. To su uglavnom područja u priobalju Dunava, Tise i Save i područja u jugoistočnom Banatu omeđena severoistočnim obroncima Deliblatske peščare od Vršca do Tamiša. Komparacija kanalisnosti sistema za odvodnjavanje i karte rizika pokazala je da se na većem delu teritorije Vojvodine kanalisnost poklapa sa stepenom rizika, ali i da postoje površine, oko 3,5% od ukupne teritorije Vojvodine, na kojima je kanalisnost relativno mala uz veliki stepen rizika od pojave viška vode.

### **Diskusija rezultata primene daljinske detekcije u analizi pojava suficita i deficita vode na melioracionom području Vojvodine**

Stanje vlažnosti, odnosno pojave suše ili viška vode, mogu se pratiti i indeksima baziranim na tehnologiji daljinske detekcije kao što su tzv. indeksi vegetacije i indeksi vode. U ovom radu su satelitski indeksi proračunati korišćenjem satelitskih snimaka misije MODIS. Suša je analizirana indeksima NDVI, NDWI i FAPAR, a pojava viška vode indeksima NDWI<sub>4</sub> i NDWI<sub>7</sub>, po uzoru na istraživanja Kogan (1995), McFeeters (1996), Gao (1996), Ceccato i sar. (2001), Ceccato i sar. (2002), Gu i sar. (2007), Cheng i sar. (2008), Rossi i sar. (2008), Richards i sar. (2010) i Murad i Saiful Islam (2011).

Kao indikatori pojave suše ili viška vode korišćene su anomalije indeksa vegetacije i indeksa vode. Anomalije pokazuje veličinu odstupanja trenutne vrednosti indikatora u odnosu na višegodišnji prosek. U ovom radu analiziran je period od 2000. do 2011. godine.

U analizi suše, korelaciona analiza je pokazala da je najveći stepen slaganja između indeksa NDVI i SPI3 za mesec avgust (korelacija se može smatrati značajnom na 84,1% teritorije Vojvodine), zatim između NDWI i SPI3 za mesec avgust (korelacija se može smatrati značajnom na 82,9% teritorije) a najmanja između FAPAR i SPI3 za mesec avgust (korelacija se može smatrati značajnom na 61,8% teritorije). Rezultati su u skladu sa rezultatima istraživanja u drugim krajevima sveta, npr. na području Jamajke (Richards i sar.,2010) i na području Bangladeša (Murad i Saiful Islam, 2011) gde je takođe utvrđen visok stepen korelacije između NDVI i SPI. Istraživanja na Iberijskom poluostrvu (Rossi i sar., 2008) su pokazala da postoji značajnija korelacija između indeksa FAPAR i SPI nego između NDVI i SPI.

U analizi pojave viška vode, korelaciona analiza je pokazala da ne postoji značajno slaganje između satelitskih indeksa NDWI<sub>4</sub> i NDWI<sub>7</sub> i viška vode dobijenog računanjem vodnog bilansa zemljišta. U slučaju korelacije viška vode i NDWI<sub>4</sub> korelacija je značajna na samo 1,5% teritorije Vojvodine, a u slučaju korelacije viška vode NDWI<sub>7</sub> korelacija je značajna na samo 3,7% teritorije. Da bi se mogla opravdati upotreba satelitskih indeksa vode u proceni pojave viška vode potrebno je izvršiti dalja istraživanja.

## **8. ZAKLJUČAK**

Učestale smene veoma vlažnih i izuzetno sušnih perioda mogu prouzrokovati značajne negativne posledice na poljoprivredu, životnu sredinu, ekonomiju i na društvo u celini. Strogi zahtevi poljoprivredne proizvodnje i specifičnosti agroklimatskih uslova i samog područja Vojvodine čine ga veoma vulnerabilnim na pojavu viška ili manjka vode. Hidromelioracione mere kojima se otklanjaju negativni uticaji viška i manjka vode su mere odvodnjavanja i navodnjavanja. Neadekvatno planiranje hidromelioracionih mera kao i loše upravljanje i održavanje melioracionih sistema mogu prouzrokovati višestruke štete. Jasnije sagledavanje vremenske i prostorne pojave viška i manjka vode i procena rizika od njihove pojave moglo bi dovesti do preduzimanja odgovarajućih mera pripreme i ublažavanja negativnih posledica i pre pojave hazardnog događaja.

U ovom radu su kreirane metodologije na osnovu kojih su izvršene procene rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području Vojvodine. Procene rizika dobijene su kombinacijom procena ranjivosti i procena hazarda, a baziraju se na identifikaciji ključnih faktora koji utiču na pojavu suficita i deficita vode, na njihovoj analizi i adekvatnom vrednovanju i uz korišćenje geografskog informacionog sistema. Ključni faktori su odabrani na osnovu njihovog uticaja na samu pojavu ili na ublažavanje efekata suše ili pojave viška vode, na osnovu dostupnosti podataka i na osnovu istraživanja brojnih autora. Vrednovanje faktora ranjivosti je izvršeno objektivnom metodom entropije. Analize hazarda su izvršene savremenim hidrometeorološkim stohastičkim metodama koje sveobuhvatno sagledavaju opasnosti od pojave suše ili viška vode. Rezultati procena ranjivosti, hazarda i rizika su dobijene korišćenjem geografskog informacionog sistema u vidu karata.

Identifikovani su sledeći faktori ranjivosti na poljoprivrednu sušu: karakteristike pedološkog pokrivača, karakteristike reljefa, način korišćenja zemljišta, potrebe poljoprivrednih useva za navodnjavanjem i izgrađenost sistema za navodnjavanje. Rezultati primene metode entropije za određivanje težinskih vrednosti faktora ranjivosti na poljoprivrednu sušu su pokazali da najveći uticaj na ranjivost imaju pedološke karakteristike i potrebe

poljoprivrednih kultura za navodnjavanjem dok su karakteristike reljefa i način korišćenja zemljišta dobile male vrednosti težinskih koeficijenata. Usvojeno je da se površinama pod sistemima za navodnjavanje dodeli najniža klasa ranjivosti a kasnije u proceni rizika je tim površinama dodeljena i najniža klasa rizika. Sprovedena procena ranjivosti na poljoprivrednu sušu pokazala je da su najranjiviji severoistočni krajevi Banata, uglavnom zbog nepovoljnih klimatskih i pedoloških karakteristika.

Hazard, odnosno opasnost od pojave suše je analizirana indeksima SPI3 za letnje mesece jun, jul i avgust i indeksom PaDI. Indeks SPI predstavlja anomaliju padavina u odnosu na višegodišnju normalu za posmatranu lokaciju i može se izračunati na mesečnom nivou. Indeks PaDI se bazira na Palfaievom indeksu aridnosti i ovaj indeks opisuje jačinu suše tokom poljoprivedne godine jednom numeričkom vrednošću, koja korespondira sa lošim stanjem useva. Zbog toga što SPI omogućava praćenje razvoja pojave suše na mesečnom nivou, analiziran je stohastičkom metodom Markovljevih lanaca koja omogućava proračun verovatnoća pojava pojedinih stanja suše, povratnih perioda stanja suše, očekivano vreme trajanja određenog stanja suše i proračun trajanja prvog prelaza iz posmatranog stanja suše u stanje normalne vlažnosti. Za indeks PaDI izračunate su verovatnoće pojava koje odgovaraju granicama kategorija umerene suše, umereno jake suše i jake suše korišćenjem 3-parametarske log-logističke distribucije. Primena ovih metoda za analizu opasnosti od pojave suše pokazala je da je najveća opasnost od suše u centralnim i severoistočnim krajevima Vojvodine, dok je najmanja na jugu i jugoistoku.

Množenjem ranjivosti i hazarda dobijena je karta rizika na poljoprivrednu sušu u Vojvodini koja pokazuje da je najveći rizik od poljoprivedne suše u severoistočnim krajevima Vojvodine gde je procenjena i najveća opasnost od suše i visoka ranjivost zbog lošijih osobina zemljišta i visokih potreba za navodnjavanjem poljoprivrednih kultura. Na taj način su identifikovani reoni gde je potrebno isplanirati i preduzeti odgovarajuće mere, kao što su izgradnja sistema za navodnjavanje, primena odgovarajuće agrotehnike i odabir odgovarajućih kultura i hibrida otpornijih na sušu koje će omogućiti ublažavanje ili otklanjanje mogućih negativnih efekata poljoprivredne suše.

Identifikovani su sledeći faktori ranjivosti na pojavu viška vode: drenažne klase zemljišta, geomorfološke odlike područja, prosečni višegodišnji nivoi prve

izdani u vanvegetacionom periodu i način korišćenja zemljišnog pokrivača. Rezultati primene metode entropije za određivanje težinskih vrednosti faktora ranjivosti na pojavu viška vode su pokazali da najveći uticaj na ranjivost imaju drenažne klase zemljišta a nešto manji uticaju imaju nivoi prve izdani u vanvegetacionom periodu i geomorfološke odlike područja. Prostorna baza podataka o načinu korišćenja zemljišta je korišćena za definisanje područja od interesa za koje se vršila procena ranjivosti, hazarda i rizika. Procena ranjivosti je pokazala da je oko 20% teritorije Vojvodine ranjivo na pojavu viška vode. Najviše takvih područja se prostire uz priobalje reka Dunava, Save i Tise, kao i područja na severoistoku i istoku Banata.

Proračunom i analizom vodnog bilansa zemljišta procenjena je opasnost od pojave viška vode. Izračunati su viškovi vode sa desetogodišnjim povratnim periodom korišćenjem 3-parametarske uopštene distribucije ekstremnih vrednosti za koju je utvrđeno da najviše odgovara empirijskim podacima vrednosti viška vode na teritoriji Vojvodine. Procena hazarda je pokazala da na oko 21% teritorije Vojvodine postoji značajna opasnost od pojave suviška vode. Slično kako i u slučaju procene ranjivosti, najugroženija područja su u priobalju reka Dunava, Save i Tise i na istoku Banata.

Množenjem ranjivosti i hazarda dobijena je karta rizika na pojavu viška vode na melioracionom području Vojvodine koja pokazuje da se usled nepovoljne kombinacije pedoloških, geomorfoloških, hidroloških i klimatskih uslova visok stepen rizika javlja na oko 11% površina teritorije Vojvodine. To su uglavnom područja u priobalju Dunava, Tise i Save i područja u jugoistočnom Banatu omeđena severoistočnim obroncima Deliblatske peščare od Vršca do Tamiša. Kako je komparacija gustine kanalske mreže i rizika od pojave viška vode identifikovala površine na kojima je kanalisnost relativno mala uz veliki stepen rizika, te površine bi trebalo detaljnije ispitati terenskim istraživanjima da bi se mogle isplanirati i preduzeti odgovarajuće mere zaštite.

Analiza mogućnosti primene tehnologija daljinske detekcije pokazala je da se tzv. indeksi vegetacije i indeksi vode mogu uspešno koristiti za praćenje pojave poljoprivredne suše u Vojvodini. Zbog zadovoljavajuće prostorne i vremenske rezolucije satelitskih snimaka, indikatori suše bazirani na daljinskoj detekciji se mogu koristiti za detaljno praćenje nastanka, razvoja i završetka pojave suše kako na globalnom tako i na lokalnom nivou, što može biti veoma značajno i u meliorativnoj praksi. Sa druge strane, istraživanja sprovedena u

ovom radu nisu dala zadovoljavajuće rezultate u pogledu primene daljinske detekcije u praćenju pojava viška vode. Međutim, dobijeni rezultati ipak daju naznaku da bi se daljim i opsežnijim istraživanjima u ovoj oblasti moglo doći do zadovoljavajućih rešenja. U daljim istraživanjima na razvoju i unapređenju metodologija za procenu rizika od suficita i deficita vode, neophodno bi bilo uključiti i tehnologije daljinske detekcije koje omogućavaju sve brže i jednostavnije sakupljanje kvalitetnih podataka visoke preciznosti.

Identifikacijom ključnih faktora koji utiču na pojavu suficita i deficita vode, njihovom analizom i adekvatnim vrednovanjem, uz korišćenje geografskog informacionog sistema sveobuhvatno je sagledana vremenska i prostorna pojava viška i manjka vode. Dobijeni rezultati zasnovani su na savremenim, i u nauci prihvaćenim statističkim metodama, proverenim teorijskim osnovama, unapređenim tehnikama posebno prilagođenim i inoviranim za analizu suficita i deficita vode na području Vojvodine. Dosadašnja istraživanja procene rizika od suficita i deficita vode nisu uzimala u obzir sve aspekte koji su obuhvaćeni ovim analizama i sadržani u tako dobijenim rezultatima. Poseban doprinos ogleda se u tome što se u proceni rizika, hazarda i ranjivosti do sada nisu na ovaj način sagledavani elementi od značaja za poljoprivrednu proizvodnju, ni analizirani prirodni i antropogeni uslovi, karakteristike i parametri realno prisutni na području Vojvodine koji mogu da budu od presudnog značaja za uspešnost poljoprivredne proizvodnje, visine i kvaliteta prinosa. Pored primenjenih novih teorijskih pristupa, otvaraju se mogućnosti za dalje analize slične problematike u poljoprivredi, agro-hidrotehničkim melioracijama, vodoprivredi i drugim sličnim delatnostima. Navedenom teorijskom doprinosu treba dodati i izražen praktični značaj i vrednost kako primenjenih metoda tako i dobijenih rezultata. Metodologije na osnovu kojih su u ovom radu sprovedene procene rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području Vojvodine, omogućavaju stvaranje uslova za podizanje pripravnosti na pojavu ekstremnih hidrometeoroloških događaja, unapređenje planiranja meliorativnih mera kao i izbor i donošenje optimalnijih odluka vezanih za upravljanje i ulaganje u meliorativne sisteme, a sve u skladu sa načelima i principima održivog razvoja poljoprivrede, vodoprivrede i melioracija. Razvijene metodologije omogućavaju integralni pristup procene rizika od suficita i deficita vode na melioracionom području, usklađene su sa direktivama i politikama EU o vodnim resursima i mogu biti od značaja prilikom njihove implementacije u našoj zemlji kroz realizaciju planova upravljanja rečnim slivovima.



## **9. LITERATURA**

1. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., (1998): Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrig. Drain. Pap. 56, FAO, Rome, pp. 300.
2. Abramowitz, M., Stegun, A., (1965): Handbook of mathematical formulas, graphs and mathematical tables. Dover publications, Inc.: New York.
3. Batini, G., Benedini, M., (2000): Facing a changeable hydrological regime in a Mediterranean country, The Extremes of the Extremes: Extraordinary Floods (Proceedings of a symposium held at Reykjavik, Iceland, July 2000). IAHS Publ. no. 271, 3–8.
4. Belić, S., Savić, R., (2005): Crpne stanice na sistemima za odvodnjavanje u Vojvodini, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, Novi Sad, 178 str.
5. Belić S., Conić, J., Škorić, M., Stojšić, M., Šević, Đ., Stojiljković, D., Zdravić, M., Nešković-Zdravić, V., (1995): Zaštita zemljišta od suvišnih unutrašnjih voda (odvodnjavanje), Monografija "Hidrotehničke melioracije u Vojvodini", str. 93-124, Poljoprivredni fakultet, Institut za uređenje voda, Novi Sad.
6. Belić S., Zdravić, M., (2004): Metode uređenja vodoleža, Poljoprivreda između suša i poplava, Tematski zbornik radova, str. 157-164, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
7. Bella, Sz., Nemeth, A., Szalai, S., (2005): Examination of Drought Vulnerability with GIS Tools: Somogy County Case Study, Remote Sensing & GIS for Environmental Studies, 209-217.
8. Benka, P., (2012): Uređenje zemljišne teritorije na meliorisanom području, Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
9. Benka, P., Bezdan, A., Grabić Jasna, Salvai, A., (2011): Mogućnost praćenja suše primenom karata SPI, Melioracije 11, 16-24, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
10. Benka, P., Bezdan, A., Grabić Jasna, Gregorič, G., Salvai, A., (2010): Application of Geostatistical Interpolation Methods for Drought Indices Mapping, Contemporary Agriculture, 59, 3-4, 363-370.
11. Benka, P., Salvai, A., (2005): Digitalizacija pedološke karte Vojvodine za potrebe GIS-a, Tematski zbornik radova: Melioracije u održivoj poljoprivredi, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda Novi Sad, str. 53-59, Novi Sad.
12. 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, 2006.
13. Beric, M., Salvai, A., (1995): Comparison of Two Different Methods for Stochastic Analysis of Extreme Dry Weather Intervals, Proc. of the International Workshop on Drought in the Carpathians Region, Budapest-Alsogod, Hungary, 1995, pp. 87-99.
  14. Bezdán A., Savić R., Salvai A., (2009): Analysis of precipitation quantity in Vojvodina, Journal of Engineering Annals of Faculty of Engineering Hunedoara, Tome VII, Fascikule 4, Years 2009, p. 199-202, Hunedoara, Romania.
  15. Bezdán, A., Benka, P., Grabić Jasna, Gregorič, G., Salvai, A., (2011): Characterization of Droughts in Serbia Using Standardized Precipitation Index and Markov Chains, Contemporary Agriculture, 60, 3-4, 333-341.
  16. Bezdán, A., Benka, P., Grabić Jasna, Salvai, A., (2012a): Estimation of Agricultural Drought Vulnerability Using GIS Tools: A Case Study of Vojvodina Region (Serbia), BALWOIS 2012 Conference on Water, Climate and Environment, Ohrid, R. Macedonia.
  17. Bezdán, A., Vranešević Milica, Belić, S., (2012b): Ugroženost površina poljoprivrednog zemljišta u različitim režimima pumpanja, Melioracije 12, 30-36, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
  18. Bezdán, A., Salvai, A., (2012): Development of irrigation scheduling system – Case study for Serbia, Development of irrigation scheduling tools - project deliverable, Drought Management Centre for South East Europe (DMCSEE), [Popova, Z. (ed.)], Institute of soil science "Nikola Poushkarov", Bulgaria, 134-165.
  19. Blaikie, P., Cannon, T., Davies, I., Wisner, B., (1994): At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters, Routledge, New York, NY, USA, 284 pp.
  20. Bošnjak, Đ., (1999): Navodnjavanje poljoprivrednih useva, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, 340 str.
  21. Bošnjak, Đ., Pejić, B., (1994): Realizacija racionalnog zalivnog režima kukuruza, Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, 22, 167-179.
  22. Bošnjak, Đ., Pejić, B., Maksimović, L., (2005): Irrigation: A condition for high and stable corn production in the Vojvodina province, Savremena poljoprivreda, 54(3-4), 82-86.
  23. Božinović, M., Savić, R., (2000): O zaštiti od unutrašnjih voda, Poplave od unutrašnjih voda, Tematski zbornik radova, str. 81-90, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
  24. Cancelliere, A., Di Mauro, G., Bonaccorso, B., Rossi, G., (2006): Drought forecasting using the Standardized Precipitation Index, Water Resources Management Volume 21, Number 5, 801-819.
  25. Cannon, T., Twigg, J., (2005): Social Vulnerability, Sustainable Livelihoods and Disasters, Report to DFID Conflict and Humanitarian Assistance Department (CHAD) and Sustainable Livelihoods Support Office. London, DFID: 63.
  26. CCRS - The Canada Centre for Remote Sensing, (2007): Fundamentals of Remote Sensing Tutorial, Natural Resources Canada, pp. 258.

27. Ceccato, P., Flasse, S., Gregoire, J.M., (2002a): Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1: Theoretical approach, *Remote Sensing of Environment* 82, 188-197.
28. Ceccato, P., Flasse, S., Gregoire, J.M., (2002b): Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2: Validation and applications, *Remote Sensing of Environment*, 82, 198– 207.
29. Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemond, S., Gregoire, J.M., (2001): Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment* 77: 22–33.
30. Chen, Y., Chen, J., Xevi, E., Ahmad, M., Walker, G., (2010): GIS-based Spatial Hydrological Zoning for Sustainable Water Management of Irrigation Areas, *International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada.*
31. Cheng, Y.B., Ustin, S.L., Riaño, D., Vanderbilt, V.C., (2008): Water Content Estimation from Hyperspectral Images and MODIS Indexes in Southeastern Arizona. *Remote Sensing of Environment* 112, 363-374, <http://www.doc88.com/p-070194923822.html>
32. Ćosić, Đ., (2010): Razvoj integralnog modela osiguranja u cilju smanjenja rizika od hazardnih pojava, *Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.*
33. Davies, P.J., Bruce, D., Fitzpatrick, R.W., Cox, J.W., Maschmedt, D., Bishop, L., (1998): A GIS using remotely sensed data for identification of soil drainage/waterlogging in southern Australia, *Proceedings of the International Soil Science Society Congress, Montpellier, France.*
34. Deni, S.M., Jemain, A.A., (2009): Fitting the distribution of dry and wet spells with alternative probability models, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 104: 13–27.
35. Deni, S.M., Jemain, A.A., Ibrahim, K., (2008): The spatial distribution of wet and dry spells over Peninsular Malaysia, *Theoretical and Applied Climatology*, 94:163–173.
36. Diebolt, J., Guillou, A., Naveau, P., Ribereau, P., (2008): Improving probability-weighted moments methods for the generalized extreme value distribution, *REVSTAT*, 6(1) Special issue on "Statistics and related fields", 33-50.
37. DMCSEE, (2012): Centar za upravljanje sušom – DMCSEE, Rezime rezultata projekta [Krajinović, Z., Arsić Milica (eds.)], *Republički hidrometeorološki zavod Srbije, Beograd, 66 pp.*
38. Dobi-Wantuch, I., Mika, J., Szeidl, L., (2000): Modeling wet and dry spells with mixture distributions, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 71: 245–256.
39. Dodig, D., Spasov, P., Miletić, R., (2006): The occurrence of drought and its effects on plant production in Eastern Serbia. *Acta agriculturae Serbica*, vol. 11, 21, 45-51.
40. Dragović, S., (2001): Potrebe i efekti navodnjavanja na povećanje i stabilizaciju prinosa u poljoprivrednim područjima Srbija, *Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo u Novom Sadu, Sv. 35: 445-456.*

41. Dragović, S., Maksimović, L., Radojević, V., Cicmil, M., Radojević, V., (2005): Sunflower water requirement and irrigation effect in agroecological conditions of the Vojvodina province, *Acta biologica iugoslavica - serija A: Zemljište i biljka*, 54(2), 115-124.
42. European Commission, (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy, *Official Journal of the European Communities (OJ L 327)*, 1-72.
43. European Commission, (2007a): Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks, *Official Journal of the European Communities (OJ L 288)*, 1-27.
44. European Commission, (2007b): *Water Scarcity and Droughts, in-depth Assessment. Second Interim Report. June 2007. European Commission. DG Environment.*
45. European Commission, (2007c): *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union. July 18, 2007. European Commission. DG Environment.*
46. Falvey, M., Garreaud, R., (2006): Characteristics of wet and dry periods over the South American Altiplano observed during the South American Low Level Jet Experiment (SALLJEX), *Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguacu, Brazil, April 24-28, INPE*, 1025-1028.
47. Fazlović, S., (2006): *Statistika: Deskriptivna i inferencijalna analiza*, Denfas, Tuzla.
48. Gao, B., (1996): NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, 58(3):257–266.
49. Greiving, S., Fleischhauer, M., Lückenkötter, J., (2006): A methodology for an integrated risk assessment of spatially relevant hazards, *Journal of Environmental Planning and Management* 49 (1), 1–19.
50. Gu, Y., Brown, J. F., Verdin, J. P., & Wardlow, B., (2007): A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, 34. doi:10.1029/2006GL029127
51. 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.
52. Guttman, N. B., (1999): Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35: 311 – 322.
53. Hadživuković, S., (1991): *Statistički metodi s primenom u poljoprivrednim i biološkim istraživanjima*, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Institut za ekonomiku poljoprivrede i sociologiju sela, Novi Sad, 585 str.
54. Hayes, M., (2004): *Drought Indices*, National Drought Mitigation Centre, <http://www.drought.unl.edu/whatis/indices.htm>

55. Herceg, A., (2012): The Palfai Drought Index, In: Droughr Management Centre for South-East Europe (DMCSEE) - Summary of the result of the project, Ed: Gregorič, G., Slovenian Environmental Agency, 17-22.
56. Huang, D.P., Liu, C., Fang, H.J., Peng, S.F., (2008): Assessment of waterlogging risk in Lixiahe region of Jiangsu Province based on AVHRR and MODIS image, *Chin Geogr Sci*, 18(2):178–183.
57. Hughes, B., L., Saunders, M., A., (2001): A Drought Climatology For Europe, *Int. J. Climatol.*, Vol.22, pp. 1571- 1592.
58. IPCC (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [ Pachauri, R. K and Reisinger, A. (eds)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp. ISBN 92-9169-122-4
59. Javno vodoprivredno preduzeće "Vode Vojvodine", Novi Sad, [www.vodevojvodine.com](http://www.vodevojvodine.com) , preuzeto: maj 2013.
60. Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R.T., Anderson, M., Imhoff, M., Gutman, G.G., Pavov, N., Goldberg, A., (2010): Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations *J. Climate*, 23(3), 618-633.
61. Kingtse, C.M., Schemm, J.E., (2008): Droughts and Persistent Wet Spells over the United States and Mexico, *Journal Of Climate*, 21, 980-994.
62. Knutson, C., Hayes, M., Philips, T., (1998): How to reduce drought risk, Preparedness and Mitigation Working Group of the Western Drought Coordination Council, Lincoln, Nebraska.
63. Kogan, F.N., (1995): Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite ata, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76:655-668.
64. Kogan, F. N., (1997): Global drought watch from space, *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 78(4), 621–636.
65. Kolaković, S., (1998): Hidrotehničke melioracije – Odvodnjavanje, Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet Subotica, 204 str.
66. Kolaković, S., (2003): Vode Vojvodine - neki aspekti funkcionalnosti sistema za zaštitu spoljnih i unutrašnjih voda na području Vojvodine, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
67. Kolaković, S., (2006): The analysis of the pump station operations on the drainage systems in Vojvodina, BALWOIS 2006 Conference on Water, Climate and Environment, Ohrid, R. Macedonia.
68. Kumpulainen, S., (2006): Vulnerability concepts in hazard and risk assessment, Natural and technological hazards and risks affecting the spatial development of European regions, Geological Survey of Finland, Special Paper 42, 65–74.
69. Lohani, V.K., Loganathan, G.V., Mostaghimi, S., (1998): Long-term analysis and short-term forecasting of dry spells by the Palmer drought severity index, *Nordic Hydrology* 29(1):21–40.
70. Lojo, A., Ponjavić, M., (2004): GIS u gazdovanju prirodnim resursima, Gauss d. o. o. Tuzla, Bosna i Hercegovina.

71. Longley, P.A., Goodchild, M.F., Maguire, D.J., Rhind, D.W., (2002): Geographical information systems, John Wiley and sons, New York.
72. Maksimović, L., Dragović, S., (2002): Effect of sugar beet irrigation in different environmental growing conditions, Zbornik radova Instituta za ratarstvo i povrtarstvo, (36), 43-56.
73. Maksimović, L., Pejić, B., Milić, S., Radojević, V., (2005): Effect of irrigation on evapotranspiration and yield of soybean, Vodoprivreda, 37(4-6), 239-244.
74. Markuš, M., (2006): Analysis of the changes in floods on small watersheds in northeastern Illinois, Vodoprivreda, 38(1-3), 131-140.
75. Martins, E.S., Stedinger, J.R., (2000): Generalized maximum-likelihood generalized extreme-value quantile estimators for hydrologic data, Water Resources Research, 36(3), 737-744.
76. McFeeters, S.K., (1996): The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, International Journal of Remote Sensing, 17(7):1425-1432.
77. 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, 179 – 184.
78. Mihailović, B., Simonović, Z., Paraušić, V., (2009): Entropija kao mera organizacione neefikasnosti, Industrija, 37(3), 109-121.
79. Mijatović, B., Jovanović, B., Miljković, N., Putarić, V., Stojilković, 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.
80. Milić, S., Bošnjak, Đ., Maksimović, L., Pejić, B., Sekulić, P., Ninkov, J., Zeremski-Škorić, T., (2010): Potato yield and yield structure depending on irrigation, Ratarstvo i povrtarstvo, 47(1), 257-265.
81. Milić, M. R., Župac, G. Ž., (2012): An objective approach to determining criteria weights. Vojnotehnički glasnik, 60(1), 39-56.
82. Milošev, Ž., Dedić, M., (2000): Zašto Vojvodina pliva ?, Poplave od unutrašnjih voda, Tematski zbornik radova, str. 66-80, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
83. Miljković, N., (2005): Meliorativna pedologija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, JVP "Vode Vojvodne", Novi Sad, 550 str.
84. Molnar, I., Milišev, D., (1995): Agroekologija, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 187 str.
85. Moreira, E.E., Coelho, C.A. , Paulo, A.A., Pereira, L.S. , Mexia, J.T., (2008): SPI-based drought category prediction using loglinear models, Journal of Hydrology, Volume 354, Issue 1-4, 15 June 2008, 116-130.
86. Murad, H., Saiful Islam, A.K.M., (2011): Drought Assessment Using Remote Sensing and Gis in North-West Region of Bangladesh, 3rd International Conference on Water & Flood Management (ICWFM-2011), 8-10 January 2011, Dhaka, Bangladesh

87. Nemani, R., Running, S., (1997): Land cover characterization using multitemporal red, near-IR, and thermal-IR data from NOAA/AVHRR. *Ecological Applications*, 7(1), 79–90.
88. Nestorov, I., Protić, D., (2006): Implementation of the CORINE Land Cover project in Serbia and Montenegro, *Geodetska služba*, 35(105), 25-29.
89. O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L., West, J., (2004): Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India, *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 14(4): 303-313.
90. Ochola, W.O., Kerkides, P., (2003): A Markov chain simulation model for predicting critical wet and dry spells in Kenia: Analysing rainfall events in the Kano plains, *Irrigation and Drainage* 52(4):327–342.
91. Palfai, I., Herceg, A., (2011): Droughtness of Hungary and Balkan Peninsula, *Riscuri Si Catastrofe*, X, 9, 145-154.
92. Pandey, A.C., Singh, S.K., Nathawat, M.S., (2010a): Water logging and flood hazards vulnerability and risk assessment in Indo Gangetic plain, *Natural Hazards*, 55:273–289.
93. Pandey, R.P., Pandey, A., Galkate, R.V., Byun, H., Mal, B.C., (2010b): Integrating Hydro-Meteorological and Physiographic Factors for Assessment of Vulnerability to Drought, *Water Resources Management*, 24(15), 4199-4217.
94. Panofsky, H.A., Brier, G.W., (1958): Some applications of statistics to meteorology. University Park, Mineral Industries Extension Services, College of Mineral Industries, Pennsylvania State University.
95. Paredes, P., Pereira, L.S., (2010): Water balance and irrigation scheduling simulation model - the WinISAREG model, Draft manual (v. 1.3), CEER-Biosystems Engineering, Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon, pp. 69.
96. Paulo, A.A., Pereira, L.S., (2007): Prediction of SPI drought class transitions using Markov chains, *Water Resource Manage*, 21:1813–1827.
97. Pereira, L.S., A.A. Paulo, (2003): Drought: Concepts, Indices and Prediction, *Options Mediterraneennes, Serie B. n. 47*, 113 – 144.
98. Pereira, L.S., Teodoro, P.R., Rodrigues, P.N., Teixeira, J.L., (2003): Irrigation Scheduling Simulation: The Model Isareg, in: *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*, *Water Science and Technology Library*, 4, 161-180.
99. Petronijević, M., Dihovični, Đ., Petrović, S., (2010) Uticaj eko rizika na kvalitet života, 5. nacionalna konferencija o kvalitetu života, Kragujevac
100. Polsky, C.; Neff, R.; Yarnal, B., (2007): Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. In: *Global Environmental Change*, vol. 17 (3-4), pp. 472-485.
101. Prohaska, S., (2006): Hidrologija II deo; izd. Inst. za vodoprivredu "Jaroslav Černi".
102. Prohaska, S., Ristić, V., (2002): Hidrologija kroz teoriju i praksu, Univerzitet u Beogradu, Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 580 str.

103. Putarić, V., (1994): Hidrološki uslovi Vojvodine, Monografija "Uređenje, korišćenje i zaštita voda Vojvodine", str. 3-15, Poljoprivredni fakultet, Institut za uređenje voda, Novi Sad.
104. Rajić, M., Bezdan, A., (2012): Contribution to Research of Droughts in Vojvodina Province, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 7, 3, 101 - 107.
105. Rajić, M., Josimov-Dunđerski, J., (2009): Opšta hidrologija, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 168 str.
106. Rajić, M., (2004): Klimatske promene i potrebe za vodom u regionu Južne Bačke, Letopis naučnih radova, Godina 28, broj 1, str. 137–145, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
107. Rajić, M., Bezdan, A., (2011): Sušni periodi vegetacione sezone na području južne Bačke, Melioracije 11, 33-39, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
108. Richards, J., Madramootoo, C.A, Trotman, A., (2010): The development of the SPI and NDVI for 3 study sites in Jamaica, with an investigation into their use in understanding soil water during water stressed conditions in Jamaica, Caribbean Environmental Forum, 21-25 June, 2010, Montego Bay, Jamaica, pp. 16.
109. Rossi, S., Weissteiner, C., Laguardia, G., Kurnik, B., Robustelli, M., Niemeyer, S., Gobron, N., (2008): Potential of Meris fAPAR for Drought Detection, Proceedings of the MERIS and (A)ATSR Workshop held on 22-26 September 2008 at ESRIN in Frascati, Italy
110. Salvai, A., Savic, R., (2000): Periodicity of Precipitation in Vojvodina, ENVIRO NITRA 2000, Slovenskej pol'nohospodarskej univerzity Nitra, Nitra, Slovakia, 25, 193-197.
111. Salvai, A., Bezdan, 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.
112. Savić, R., (2000): Ekstremne padavine – najznačajniji uzrok poplava od unutrašnjih voda u Vojvodini 1999/2000. godine, Melioracija - poplave od unutrašnjih voda, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad, 118-124.
113. Savić, R., Salvai, A., Belić, S., (1997): Padavine - trajno smanjenje ili ciklične promene?, Eko-konferencija '97, Novi Sad, 175-180.
114. Savić, R., Letić, Lj., Salvai, A., (2000): Precipitation quantity changes in Vojvodina, Jubileen sbornik naučni dokladi 75 godini više lesotehničko obrazovanije v Bulgarija, Sofia, Bulgaria, 341-346.
115. Savić, R., Salvai, A., (1997): Precipitation periodicity as a factor in drought analysis, International symposium Drought and plant production, Belgrade, 61-67.
116. 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.
117. Seiler, R.A., Hayes, M., Bressan, L., (2002): Using the Standardized Precipitation Index for Flood Risk Monitoring. In: International Journal of Climatology, Volume 22, 1365-1376.



118. Slejko, M., Gregorič, G., Bergant, K., (2010): Drought Vulnerability Assessment for the Agriculture: a Case Study for the West part of Slovenia, Drought Management Centre for the Southeastern Europe, [www.dmcsee.eu](http://www.dmcsee.eu)
119. Spasov, P., (2003): Pojava suše u Srbiji, njeno praćenje i mogućnosti prognoze, *Vodoprivreda*, vol. 35, br. 1-2, 30-36.
120. 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.
121. Srđević, B., Medeiros, Y., da Faria, A. S., Schaer, M., (2003). Objective evaluation of performance criteria for a reservoir system. *Vodoprivreda*, 35(3-4), 163-176.
122. Steinemann, A., (2003): Drought indicators and triggers: a stochastic approach to evaluation, *J Am Water Resour Assoc* 39(5):1217–1233.
123. Stephens, M.A., (1974): EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons, *Journal of the American Statistical Association*, 69, 347, 730-737.
124. 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.
125. Škorić, M., (2000): Uzroci poplava od unutrašnjih voda u Vojvodini, Poplave od unutrašnjih voda, Tematski zbornik radova, str. 1-12, Poljoprivredni fakultet, Novi Sad.
126. Thornthwaite, C.W., (1948): An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38, 55-94.
127. Thywissen, K., (2006) "Components of Risk: A Comparative Glossary", Source 2, Bonn: Publication Series of UNU-EHS.
128. Tomić, P., Romelić, J., Kicošev, S., Lazić, L., (2002): Vojvodina, monografija, Prirodno-matematički fakultet, Departman za geografiju, turizam i hotelijerstvo, Novi Sad.
129. Trajković, S., (2009): Metode proračuna potreba za vodom u navodnjavanju, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, Niš, 100 str.
130. Turner II, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M.L., Polsky, C., Pulsipher, A., Schiller, A., (2003): A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*. Vol. 100, No. 14. pp. 8074-8079, <http://www.pnas.org/cgi/reprint/100/14/8074.pdf>
131. UN/ISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), (2004): *Living with Risk. A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. 2004 version. United Nations, Geneva, pp. 430.
132. United Nations Development Programme (UNDP), (1992): *Disaster Management Training Programme: An Overview of Disaster Management*, 2nd ed., United Nations, Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator (UNDP/UNDRO), pp. 134.

133. Van Leeuwen, B., Mezősi, G., Tobak, Z., Szatmári, J., Barta, K., (2012): Identification Of Inland Excess Water Floodings Using An Artificial Neural Network, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7, 4, 173 - 180.
134. Van Leeuwen, B., Henits, L., Mészáros, M., Tobak, Z., Szatmári, J., Pavić, D., Savić, S., Dolinaj, D. (2013): Classification Methods for Inland Excess Water Modeling, *Journal of Environmental Geography*, 6(1-2):1-8.
135. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., (2010): A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI. *Journal of Climate* DOI:10.1175/2009JCLI2909.1
136. Vodoprovredna osnova Vojvodine (prednact), Samoupravna interesna zajednica za osnovno uređenje voda Vojvodine, Poljoprivredni faklutet, Institut za uređenje voda, Novi Sad, 1985.
137. Weiss, L., (1964): Sequences Of Wet Or Dry Days Described By A Markov Chain Probability Model, *Monthly Weather Review*, 92, 169–176.
138. Wilhelmi, O.V., Wilhite, D.A., (2002): Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study, *Natural Hazards* 25:37–58.
139. Wilhite, D.A. (ed.), (2005): *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*. CRC Press. Boca Raton, FL., pp. 406.
140. Wilhite, D.A., Svoboda, M.D., (2000): Drought Early Warning Systems in Context of Drought Preparedness and Mitigation. In: D.A. Wilhite, M.V.K. Sivakumar, and D.A. Wood (eds.). *Early Warning Systems for Drought Preparedness and Management*. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.
141. Wilhite, D.A., Glantz, M.H., (1985): Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10(3):111–120.
142. Wilks, D.,S., (2006): *Statistical methods in the atmospheric sciences*, 2nd edition, International Geophysics Series, Elsevier Academic Press, pp. 627.
143. Winston, W., (2003) : *Operations Research: Applications and Algorithms*, 4th.Edition, pp.1400.
144. Wu, H., Wilhite, D.A., (2004): An Operational Agricultural Drought Risk Assessment Model for Nebraska, USA *Natural Hazards* 33(1):1–21.
145. WWF, Centar za unapređenje životne sredine (2012): *PROCENA RANJIVOSTI NA KLIMATSKE PROMENE –Srbija*, Beograd, Srbija, 66 pp.
146. Živkovic, B., Nejgebauer, V, Tanasijevic, Dj, Miljkovic, N., Stojkovic, L., Drezgic, P., (1972): *Soils of Vojvodina*, Institute for agricultural research, Novi Sad, pp. 685.

## **BIOGRAFIJA**

Atila Bezdán je rođen 5.8.1975. godine u Novom Sadu, gde je završio osnovnu školu i srednju elektrotehničku školu. Na Poljoprivredni fakultet u Novom Sadu, smer za Uređenje i korišćenje voda u poljoprivredi, upisao se školske 1997/98. godine, a diplomski rad pod nazivom "Analiza primene programskog paketa StormCAD u sistemima atmosferske kanalizacije" odbranio je 12.9.2003. godine sa ocenom 10. Prosečna ocena iz svih predmeta tokom osnovnih studija iznosila je 8,36. Na posle diplomске studije na Poljoprivrednom fakultetu u Novom Sadu, smer za Hidrologiju, upisao se školske 2003/04. godine, a magistarsku tezu pod nazivom "Optimizacija uslova tečenja u kanalima sistema za odvodnjavanje" odbranio je 8.7.2010. godine. Prosečna ocena iz svih predmeta tokom posle diplomskih studija iznosila je 9,67.

Od 2005. godine, na Departmanu za uređenje, korišćenje i zaštitu voda Poljoprivrednog fakulteta u Novom Sadu, učestvuje u nastavnom procesu na više predmeta. Učestvovao je u radu više savetovanja, konferencija i seminara. Samostalno ili kao koautor, objavio je 47 naučnih radova iz oblasti Uređenja, zaštite i korišćenja voda.

Kao saradnik bio je uključen u realizaciju više domaćih i međunarodnih naučno istraživačkih projekata koji su finansirani od strane EU kroz SEE program transnacionalne saradnje i program TEMPUS, Ministarstva nauke i zaštite životne sredine republike Srbije, Ministarstva za poljoprivredu, šumarstvo i vodoprivredu republike Srbije i Javnog vodoprivrednog preduzeća "Vode Vojvodine". U okviru učešća na međunarodnim projektima boravio je na stručnim usavršavanjima u inostranstvu u Velikoj Britaniji (University of Exeter, Exeter), Španiji (Estacion Experimental de Aula Dei, Saragossa), Sloveniji (Environmental Agency of Slovenia, Biotechnical Faculty, Ljubljana), Mađarskoj (OMSZ, Budapest), Rumuniji (Babes Bolyai University, Baile Felix), Grčkoj (Agricultural University of Athens, Nauplion), Turskoj (Aegean Agricultural Research Institute, Menemen) i Izraelu (Robert H Smith Faculty of Agriculture, Food and Environment, Rehovot).

Služi se engleskim jezikom.