

PERCEPTIVES

Stanje šumskih i vodenih ekosustava šumarije Koška s preporukama za prilagodbu gospodarenja klimatskim promjenama

STUDIJA

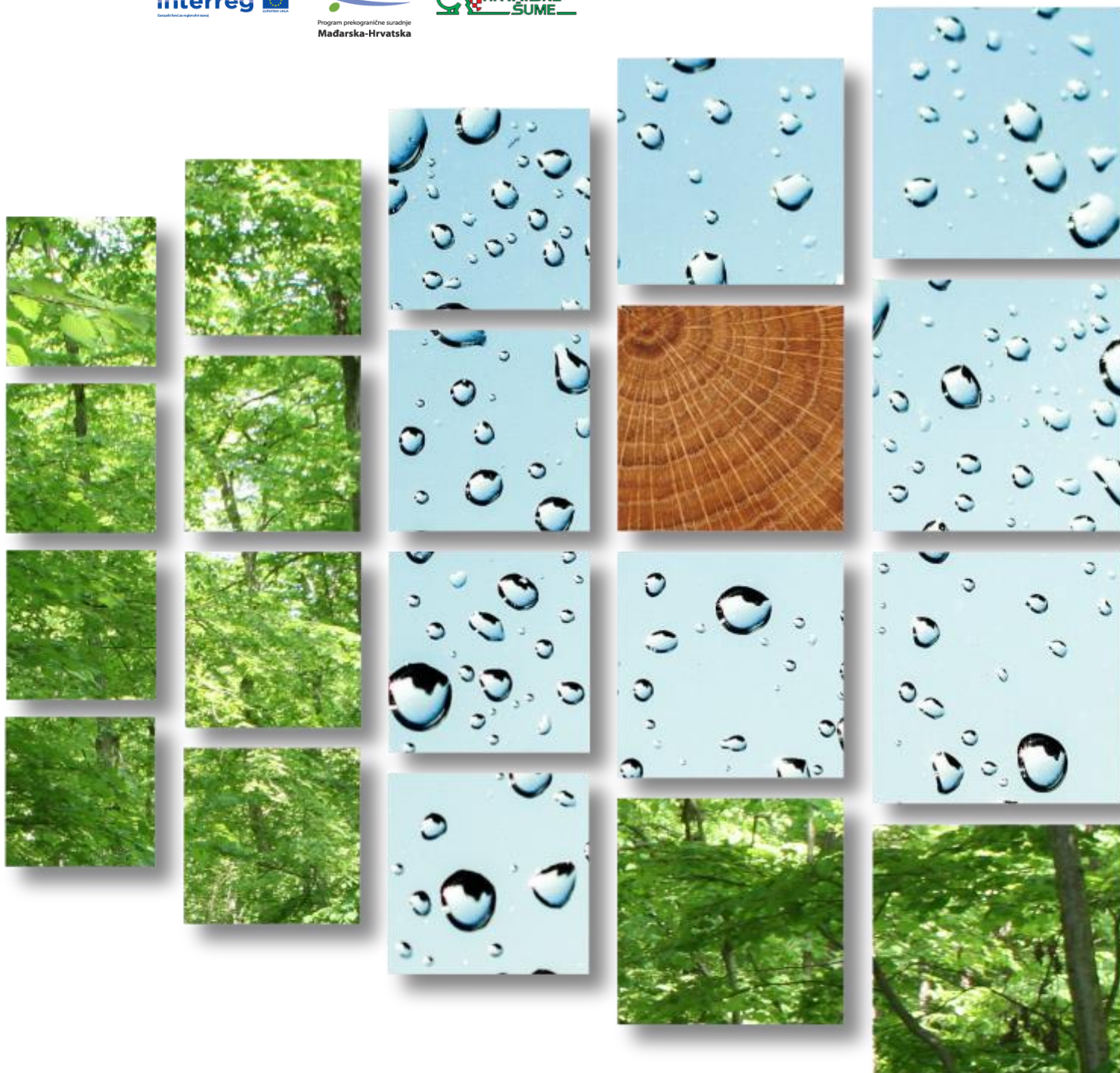
Zagreb / lipanj / 2019

Interreg



Program prekogranične suradnje
Mađarska-Hrvatska

HRVATSKE
ŠUME



Dokument

STUDIJA

Projekt

Stanje šumskih i vodenih ekosustava šumarije Koška s preporukama za prilagodbu gospodarenja klimatskim promjenama

Broj Ugovora

URBROJ: NA-01/JK-2017-1707/05

Naručitelj**Hrvatske šume d.o.o.**

Ulica Kneza Branimira 1; 10000 Zagreb

OIB: 69693144506

Izvršitelji

vodeći član zajednice ponuditelja:



Koprivnička 38; HR-10000 Zagreb

www.perceptives.org

++ 385 99 67 868 20

info@perceptives.org

OIB: 17113702394

član zajednice ponuditelja:



Braće Radića 128A, HR-43290 Grubišno Polje

++ 385 98 67 868 20

OIB: 00559208747

Voditelj projekta

Dr.sc. Stjepan Dekanić, dipl.ing.šum.

Stručnjaci

Doc.dr.sc. Stjepan Mikac, dipl.ing.šum.

Dr.sc. Boris Vrbek, dipl.ing.šum.

Dr.sc. Dušan Jelić, prof.biol.

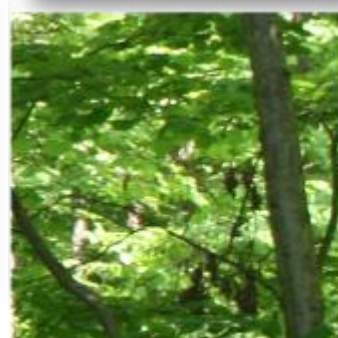
Ova studija izrađuje se u okviru projekta
Oak protection - Protection of English oak in cross-border area

[www.oakprotection.eu/hr] Application form ID:

HUHR/1601/2.2.1/0002

koji se financira iz Europskog fonda za regionalni razvoj (EFRR).

**PROGRAM: INTERREG V-A HUNGARY-CROATIA CO-OPERATION
PROGRAMME 2014.-2020. ACRONYM: OAK PROTECTION**



SADRŽAJ

1	Uvod	1
2	Stanje šumskih i vodenih ekosustava	2
2.1	Stanje šumskih ekosustava	2
2.1.1	Odumiranje hrasta lužnjaka	5
2.1.2	Strukturne značajke sastojina šumarije Koška	18
2.1.3	Prirast stabala hrasta lužnjaka	29
2.2	Tla šumskih sastojina istraživanog područja	37
2.2.1	Litološke i pedološke karakteristike područja šumarije Koška	39
2.2.2	Terensko uzorkovanje tala	39
2.2.3	Vrste tala istraživanog područja	41
2.2.4	Boja tla prema Münsel katalogu za sve horizonte	48
2.2.5	Klimatske promjene i razina podzemnih voda	50
2.3	Stanje vodenih ekosustava	51
2.3.1	Terensko uzorkovanje vodenih organizama	54
3	Klima i klimatske promjene istraživanog područja	60
3.1	Osnovne značajke hidrološkog ciklusa u nizinskim lužnjakovim sastojinama	60
3.1.1	Utjecaj pada razine podzemne vode na vitalitet stabala	62
3.1.2	Utjecaj povišenja razine podzemne vode na vitalitet stabala	64
3.2	Dosadašnje klimatske prilike istraživanog područja	64
3.2.1	Klimatske prilike	64
3.2.2	Dinamika podzemne vode	66
3.3	Procjene budućih klimatskih promjena područja istraživanja	71
3.3.1	Klimatske promjene i njihov utjecaj na šumske ekosustave	77
4	Preporuke za prilagodbu gospodarenja klimatskim promjenama	80
4.1	Smjernice za adaptaciju gospodarenja sastojinama hrasta lužnjaka	80
4.2	Mogućnosti provedbe hidrouzgojnih adaptivnih mjera	81
4.2.1	Snimanje LiDAR podataka za područje istraživanja	81
4.2.2	Prirodne mjere zadržavanja vode – smjernice EU	88
4.2.3	Potencijalne lokacije hidrouzgojnih mjera na istraživanom području	88
4.2.4	Katalog potencijalnih lokacija za provedbu hidrouzgojnih mjera	94
4.3	Mogućnosti korištenja LiDAR podataka za motrenje razvoja šumskih ekosustava i uspjeh provođenja adaptivnih mjera	98
5	Popis slika	103
6	Popis tablica	109
7	Literatura	110

1 Uvod

Hrvatske šume d.o.o. Zagreb i zajednica ponuditelja: PERCEPTIVES j.d.o.o. za istraživanje, razvoj i usluge (vodeći član zajednice) i Biota j.d.o.o. za trgovinu i usluge (član zajednice), sklopili su Ugovor za "Uslugu izrade stručne studije i planova za šumariju Koška za projekt "Protection of English oak in cross-border area" Project acronym: Oak protection; Application form ID: HUHR/1601/2.2.1/0002 (URBROJ: NA-01/JK-2017-1707/05 od 28.12.2017.). Uz zaposlenike tvrtki ponuditelja, u istraživanju i izradi ove studije sudjelovali su i stručnjaci sa Šumarsko fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i drugi vanjski stručnjaci.

Za potrebe izrade Studije obavljeni su terenski radovi koji su uključivali istraživanje strukture sastojina na pokusnim plohama, dendrokronološke obrade izvrtaka radi utvrđivanja prirasta glavne vrste drveća (hrast lužnjak), otvaranje pedoloških profila i uzorkovanje i analizu značajki šumskih tala, terensko istraživanje stanja vodenih ekosustave uključujući uzorkovanje vodenih organizama.

Također su za potrebe izrade Studije iz baze podataka "Hrvatskih šuma" d.o.o. preuzeti podaci o šumskim sastojinama i obavljenim radovima, a iz dostupnih internetskih baza podataka preuzeti su podaci o klimi i klimatskim promjenama te podaci o drugim značajkama atmosfere važnima za ciklus kruženja vode u šumskim sastojinama istraživana područja. Obradeni su i podaci LiDAR snimanja koje je za područje istraživanja obavljeno u dva navrata: u travnju 2018. godine i u travnju 2019. godine.

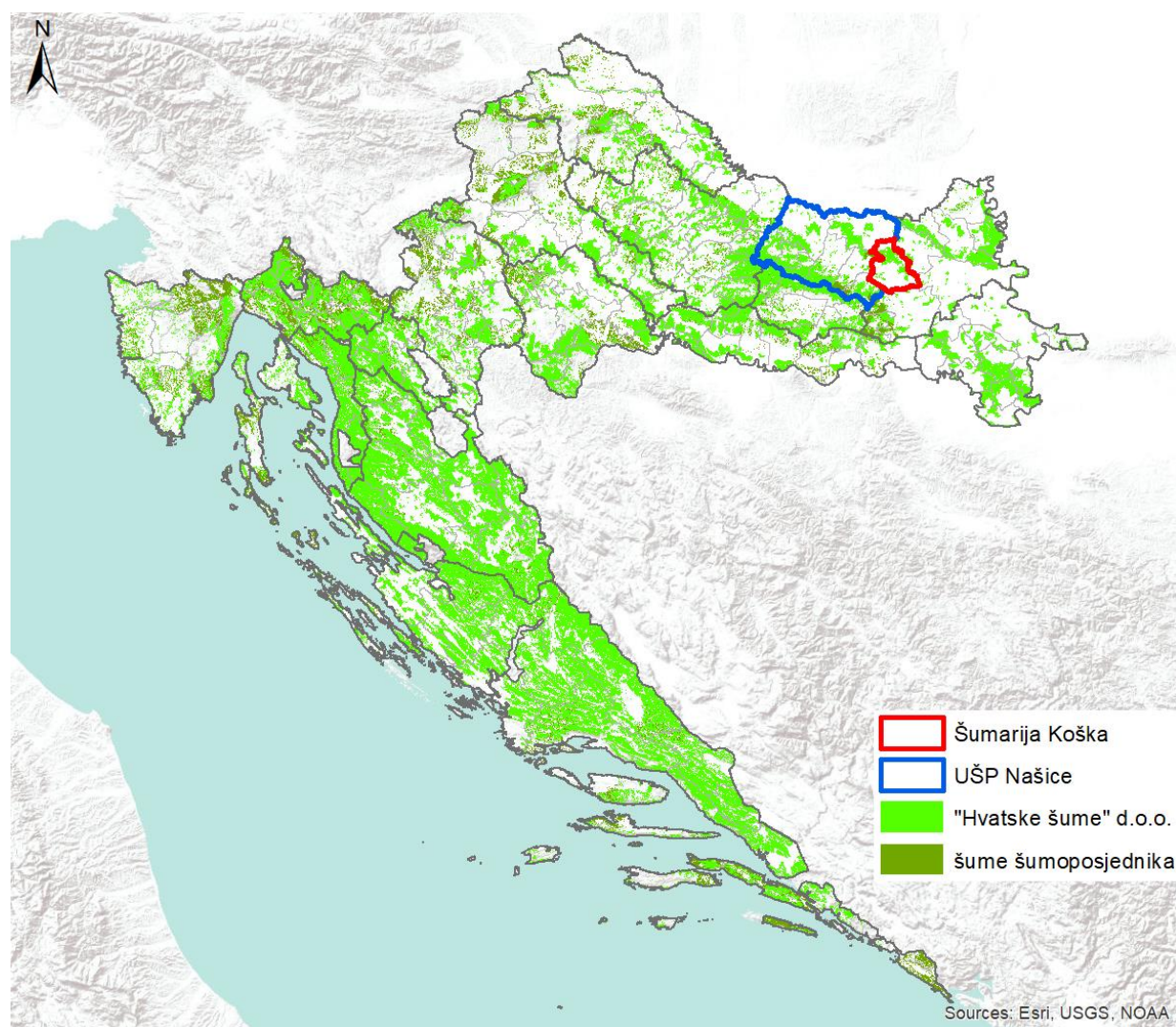
Temeljem prikupljenih i analiziranih podataka razrađene su mjere za adaptivno gospodarenje šumskim sastojinama u srednjoročnom vremenskom razdoblju kako bi se povećala otpornost ovih sastojina na predstojeće promjene klime. Posebice se ovo odnosi na definiranje potencijalnih lokacija za provedbu tzv. hidrouzgojnih adaptivnih mjera u svrhu ublažavanja hidroloških ekstrema u uvjetima klimatskih promjena.

Tijekom izrade Studije sklopljen je i dodatak gore navedenom Ugovoru čime je obuhvat Studije proširen i na dio područja šumarije Donji Miholjac. Dodatnim radovima obuhvaćena je analiza sastojina na dodanom području, kao i obrada LiDAR snimke tog područja u svrhu određivanja potencijalnih lokacija za provedbu hidrouzgojnih mjera.

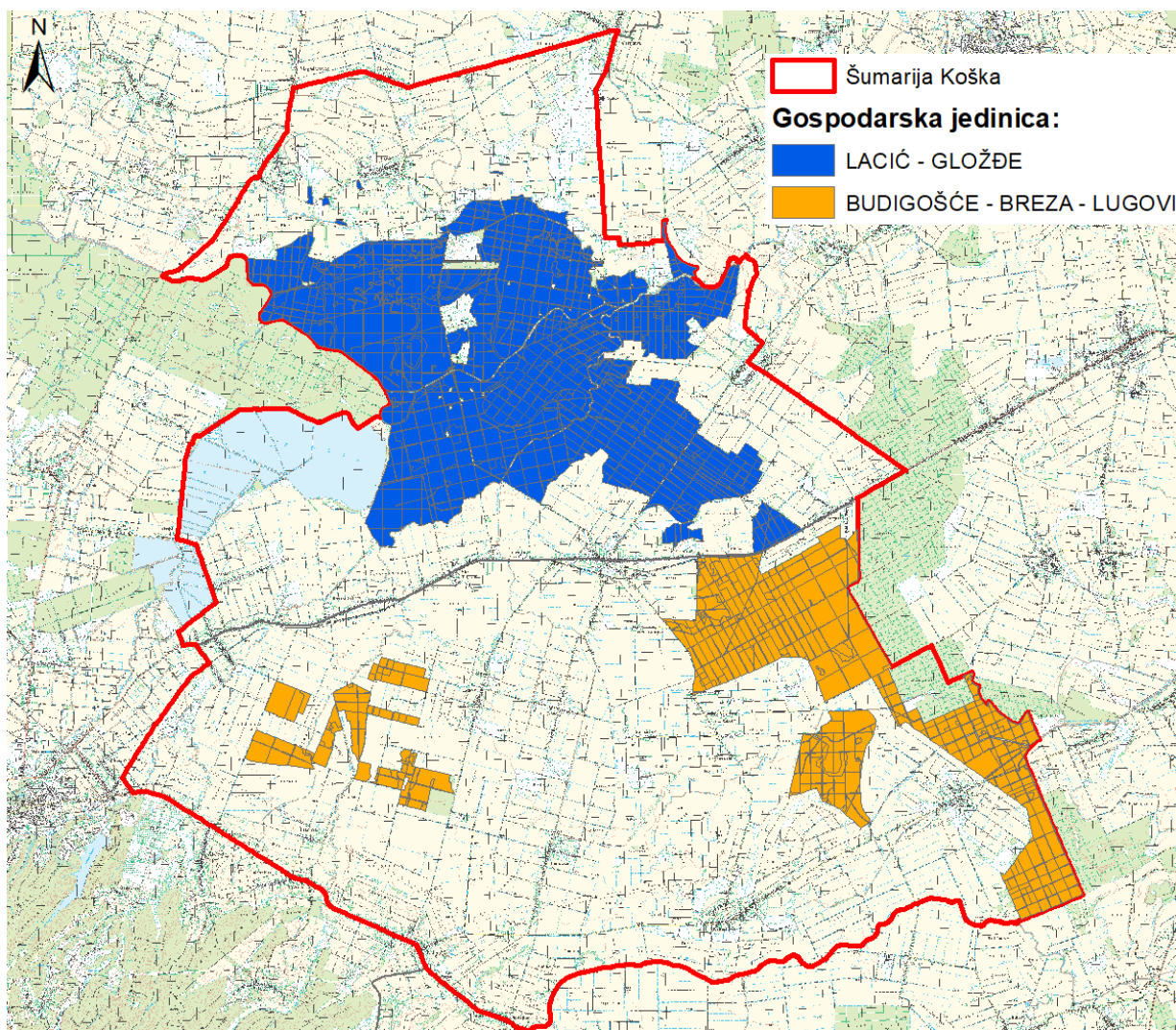
2 Stanje šumskih i vodenih ekosustava

2.1 Stanje šumskih ekosustava

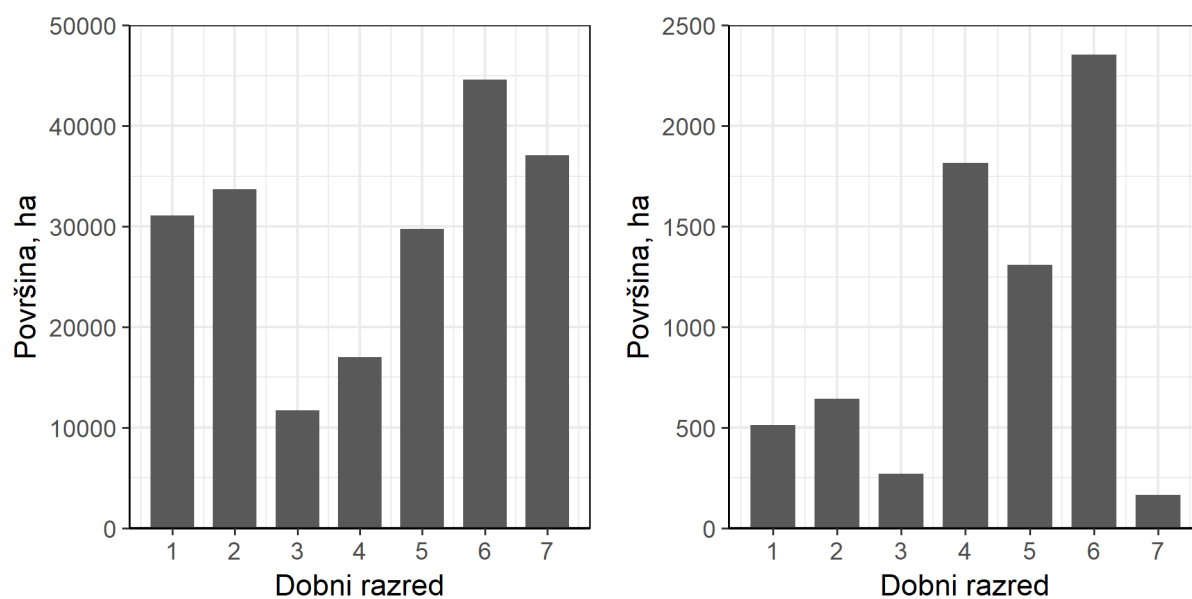
Šumarija Koška nalazi se u sastavu Uprave šuma Podružnica Našice u sjeveroistočnom dijelu Hrvatske (Slika 2-1) i obuhvaća dvije gospodarske jedinice: GJ Budigošće Breza Lugovi i Lacić Gložđe (Slika 2-2). Uređajni razred sjemenjače hrasta lužnjaka zauzima 75% površine gospodarskih jedinica šumarije Koška (Slika 2-4), a prostorni raspored dobnih razreda prikazuje Slika 2-5. Slika 2-5 osim prostornog rasporeda dobnih razreda prikazuje i odsjeke u kojima je primijećeno značajno odumiranje hrasta lužnjaka (plavi krugovi) i lipe (ljubičasti krug). Usporedba razmjera površine dobnih razreda uređajnog razreda hrasta lužnjaka šumarije Koška s područjem cijele Hrvatske prikazuje Slika 2-3.



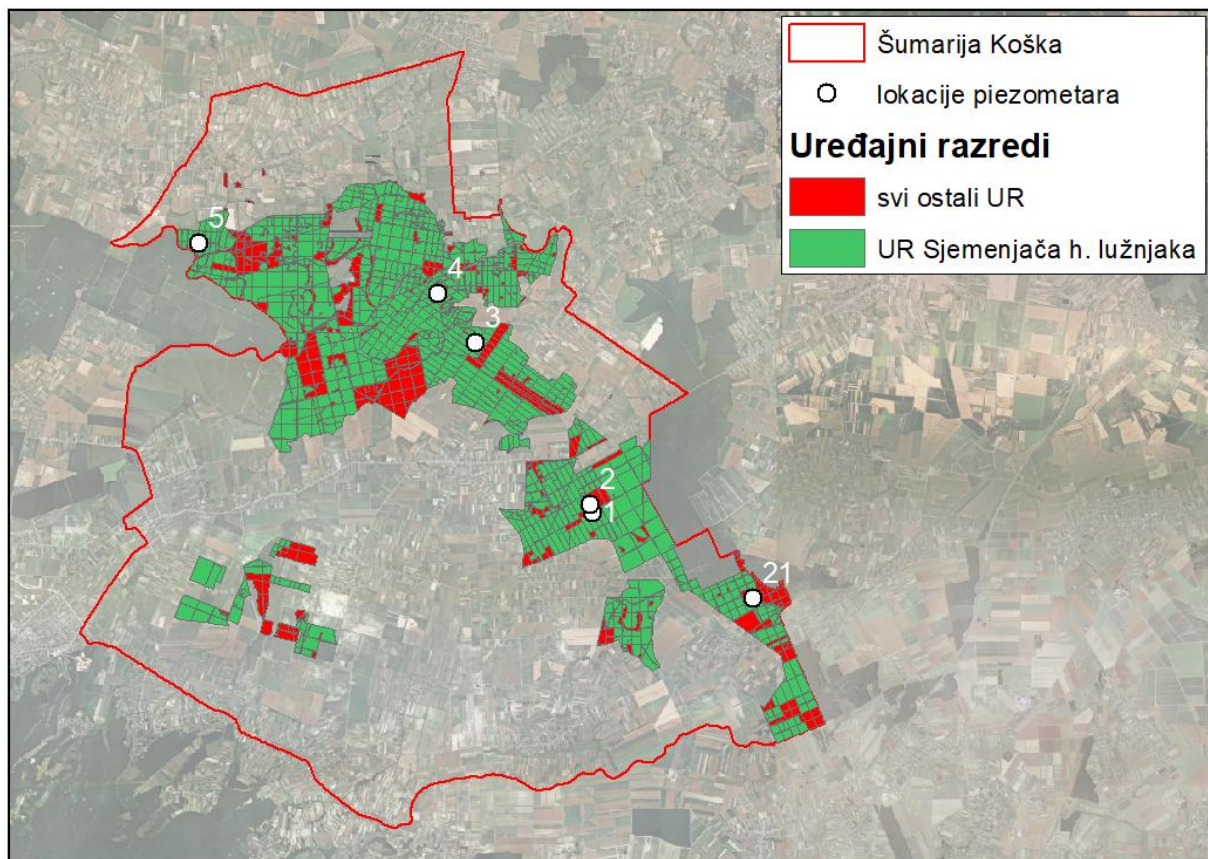
Slika 2-1 Zemljopisni položaj šumarije Koška



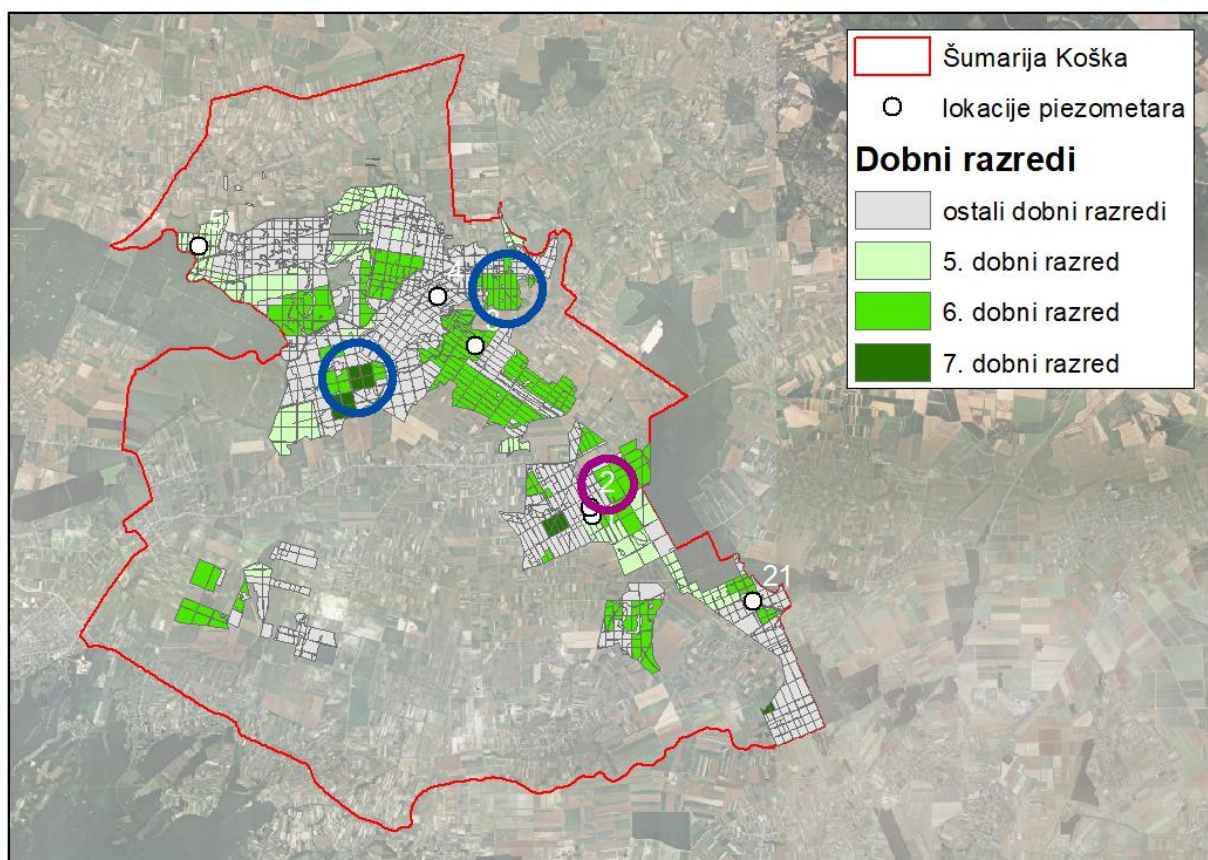
Slika 2-2 Gospodarske jedinice šumarije Koška



Slika 2-3 Usporedba raspodjele površine uređajnog razreda sjemenjače hrasta lužnjaka po dobnim razredima u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i na području Šumarije Koška (desni grafikon)



Slika 2-4 Prostorni raspored uređajnih razreda sastojina šumarije Koška i lokacije piezometarskih postaja



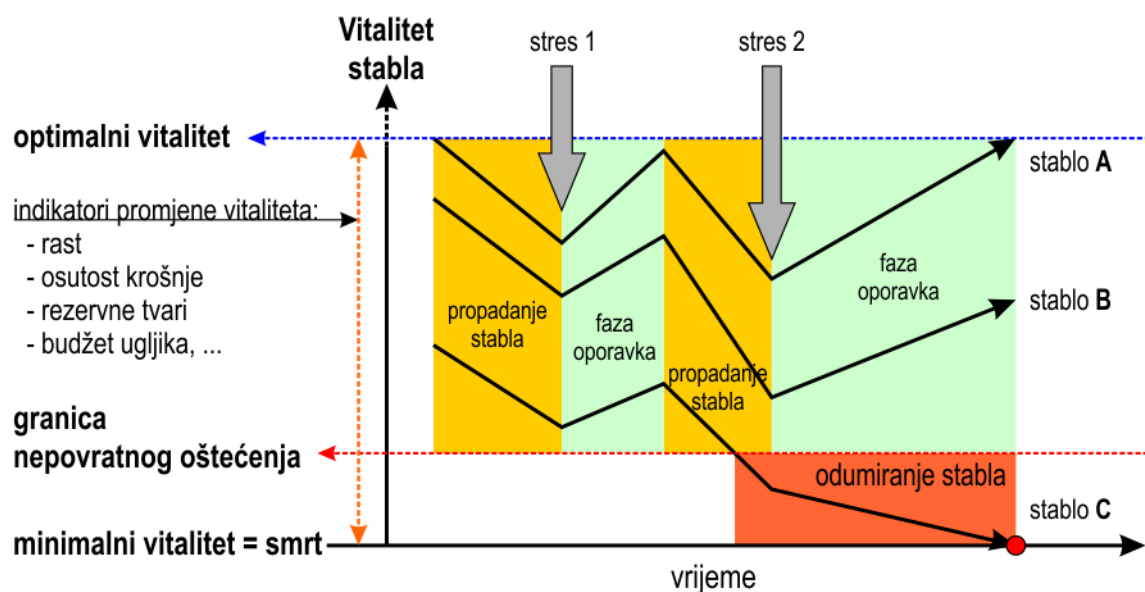
Slika 2-5 Prostorni raspored dobni razreda sastojina šumarije Koška i lokacija piezometarskih postaja. Plavi krugovi označavaju odsjeke s primijećenim intenzivnim odumiranjem hrasta lužnjaka, a ljubičasti krug odsjeke u kojima je zabilježeno intenzivno odumiranje lipe.

2.1.1 Odumiranje hrasta lužnjaka

Mortalitet stabala u šumskim sastojinama prirodni je proces i sastavni dio dinamike šumskih ekosustava. U gospodarskim se sastojinama prirodni mortalitet nastoji ograničiti provođenjem odgovarajućih uzgojnih zahvata (Anić 2004b). No, u slučajevima kada dolazi do značajnih promjena uvjeta u kojima se razvija šumski ekosustav, kao što su promjene stanišnih i klimatskih prilika, može doći i do značajnoga povećanja propadanja i odumiranja stabala.

Do mortaliteta – odumiranja – stabala dolazi uslijed smanjenja njihova vitaliteta. Vitalitet stabla je teoretski koncept. Hipotetski optimalni vitalitet zapravo je nemoguće izmjeriti i odrediti, te je jedina pouzdana vrijednost ona u kojoj dolazi do smrti stabla, odnosno kada vitalitet padne na nulu (Dobbertin 2005; Dobbertin 2001) (Slika 2-6). Složenost teoretskoga koncepta vitaliteta dovela je i do mnoštva njegovih definicija. Najopsežnijom se za potrebe ovoga rada čini definicija Branga (1998, prema Dobbertin 2005), koji vitalitet definira kao sposobnost organizma (stabla) da asimilira ugljik, da se odupire stresu, da se prilagođava okolišnim promjenama te da se razmnožava.

Vitalitet stabla smanjuje se zbog stresa koji u stablu nastaje negativnim djelovanjem raznih čimbenika. Stres je stanje u kojem dolazi do značajnog odstupanja od optimalnih uvjeta za život (Larcher 2003), te do fizičkih, fizioloških i kemijskih promjena u stablu (Wargo 1996). Nomenklatura u definicijama fiziološkoga stresa potekla je iz fizike, odnosno iz ideje da vanjska sila koja djeluje na tijelo u njemu uzrokuje reakciju ili naprezanje (eng. *strain*) (Waring 2004; Larcher 2003). U skladu s tim dolaze i pojmovi koji su bitni za razumijevanje djelovanja stresa na vitalitet stabla. To su, na primjer, intenzitet (jačina) i trajanje djelovanja negativnog čimbenika na stablo koji onda određuju i jačinu i trajanje stresnoga stanja u kojem se stablo nalazi. Intenzitet stresnoga stanja također ovisi i o stanju vitaliteta stabla u trenutku nastupa djelovanja stresnoga čimbenika.



Slika 2-6 Shematski prikaz kretanja vitaliteta tri stabla pod utjecajem stresa. Naznačeni su i osnovni pojmovi važni kod razmatranja utjecaja stresa na vitalitet stabala (preuzeto i dorađeno iz Dobbertin (2005) i Dekanić (2014))

U slučaju prestanka negativnoga djelovanja stresnog čimbenika, obično slijedi faza oporavka stabla, odnosno povratak na prijašnju razinu vitaliteta (Larcher 2003; Dobbertin 2005). Tijekom faze oporavka, stablo svojim unutarnjim fiziološkim mehanizmima nastoji popraviti nastala oštećenja ili povećati otpornost na buduće slične stresne situacije. Pri tome redovito dolazi do trošenja unutarnjih rezervi i promjena uobičajenih prioriteta za raspodjelu ugljika unutar funkcionalnih komponenata stabla (Waring 1987).

Također je važan i pojam točke ili granice nepovratnoga oštećenja (eng. *point of no return*) koja predstavlja onu vrijednost nakon koje stablo više ne može povratiti prijašnju razinu vitaliteta

(Dobbertin 2005) (Slika 2-6). U ovom slučaju izostaje faza oporavka, a propadanje postaje odumiranje koje neminovno završava smrću stabla (Larcher 2003). Ovaj je scenarij redovit kod stabala koja se nalaze u trajnom stresnom stanju tijekom kojega se konstantno smanjuju količine rezervnih tvari (Waring 1987) (stablo C, Slika 2-6).

Treba spomenuti i da u određenoj mjeri stres može djelovati i pozitivno unaprjeđujući adaptivnu sposobnost stabala na okolišne promjene (Kozłowski i Pallardy 2002). Postupno i lagano povećanje intenziteta stresa može potaknuti fiziološku adaptaciju kojom stablo može umanjiti oštećenja ili redukciju prirasta do kojih bi došlo u slučaju nenadane i nagle pojave intenzivnoga stresa.

Opažanja diljem Europe ukazuju na značajno povećanje učestalosti prirodnih poremećaja (*disturbances*) zadnjih desetljeća. Kao glavni razlog povećanja šumskih šteta od vjetroloma i vjetroizvala, štetnih kukaca, suše i šumskih požara često se navode klimatske promjene (Seidl i dr. 2011).

Prema Nicholšu (1968) u SAD-u se mortalitet se definira kao ozbiljan problem kada u jednoj godini odumre više od 5%, obično 20-50% stabala po jedinici površine. Prema Kandleru (1992), u gospodarenim sastojinama Švicarske uobičajena (normalna) stopa mortaliteta kreće se od 0,1 do 0,4%, dok su u nekim negospodarenim šumama te vrijednosti veće i kreću se od 1 do 3% godišnje. U šumama sjeveroistoka SAD-a, godišnje stope mortaliteta od 0,5 do 2,8% smatraju se prirodnim odumiranjem zbog procesa prirodnoga izlučivanja (Manion i Lachance 1992).

Za hrast lužnjak u Austriji Monserud i Sterba (1999) su utvrdili prosječne godišnje stope mortaliteta hrasta od 0,6%, odnosno 3,2% kroz pet godina. Drobyšev i dr. (2009) u negospodarenim šumama sjeverozapadne Rusije utvrđuju stope mortaliteta za hrast lužnjak od 1,0% godišnje. Za sve vrste stope mortaliteta kretale su se od 1 do 3% za vitalna i umjereno vitalna stabla, pa do 3,9 do 9,3% godišnje za stabla u stadiju propadanja.

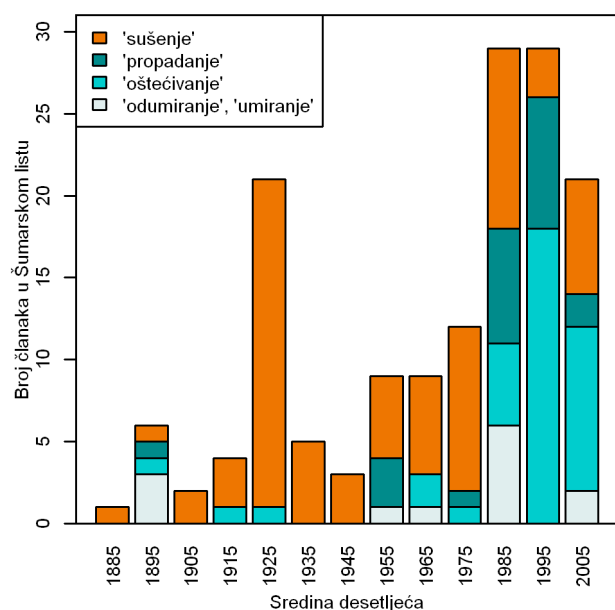
U nizinskim lužnjakovim ekosustavima Hrvatske ključne stanišne promjene koje su do sada značajno utjecale na mortalitet stabala i sastojina jesu promjene hidrološke dinamike (Prpić i Anić 2000). Osim promjena stanišne hidrologije, već se neko vrijeme može osjetiti i značajan utjecaj klimatskih promjena (Matić i dr. 1998; Matić 2009), a sigurno je da će njihov utjecaj u budućnosti biti još i značajniji.

Povijesni prikaz odumiranja hrasta lužnjaka u Hrvatskoj

U nizinskim šumama Hrvatske još od početka prošloga stoljeća zabilježen je proces odumiranja stabala hrasta lužnjaka (Manojlović 1926; Harapin i Androić 1996; Matić 2009). Slična je situacija i diljem lužnjakovoga areala u Europi (Führer 1998; Hartmann 1996; Sonesson i Drobyšev 2010; Thomas i dr. 2002; Thomas 2008). Odumiranje lužnjaka pojavljuje se na području cijeloga njegovog areala, od Engleske na zapadu do Ukrajine na istoku, te od Švedske na sjeveru do Italije na jugu Europe (Tomiczek 1993).

Najranija pojava odumiranja hrasta u Središnjoj Europi koja se može potvrditi u povijesnim izvorima dogodila se u sjeveroistočnoj Njemačkoj u razdoblju od 1739. do 1748. godine (Thomas i dr. 2002) nakon iznimno hladne zime 1739/40. godine.

U Hrvatskoj se prva velika epizoda značajnog odumiranja hrasta lužnjaka dogodila u razdoblju između 1909. i 1925. godine kada je tijekom 17 godina posječeno oko 1,7 mil. m³ odumrlih stabala (Manojlović 1926). Postoje zapisi i o ranijim slučajevima odumiranja koja su bila puno manjeg intenziteta i lokalnog karaktera (Prpić 1996; Harapin i Androić 1996; Matić 2009).



Slika 2-7. Broj članaka s tematikom odumiranja i propadanja stabala i sastojina po desetljećima objavljenih u Šumarskom listu

Dinamika pojave odumiranja stabala hrasta lužnjaka i ostalih vrsta drveća, kao i općenito pogoršanje stanja šumskih ekosustava u Hrvatskoj od početka je praćeno stručnim i znanstvenim istraživanjima. Slika 2-7 prikazuje broj članaka objavljenih u staleškom časopisu "Šumarski list" po desetljećima, koji se na neki način bave problematikom odumiranja i propadanja šuma. Za ovaj su prikaz iz digitalne arhive Šumarskog lista (www.sumari.hr, (Meštrić 2005; Meštrić 2008)) izdvojeni svi članci kod kojih su se u naslovu pojavile neke od varijacija sljedećih izraza: sušenje, odumiranje, propadanje, oštećivanje, i umiranje.

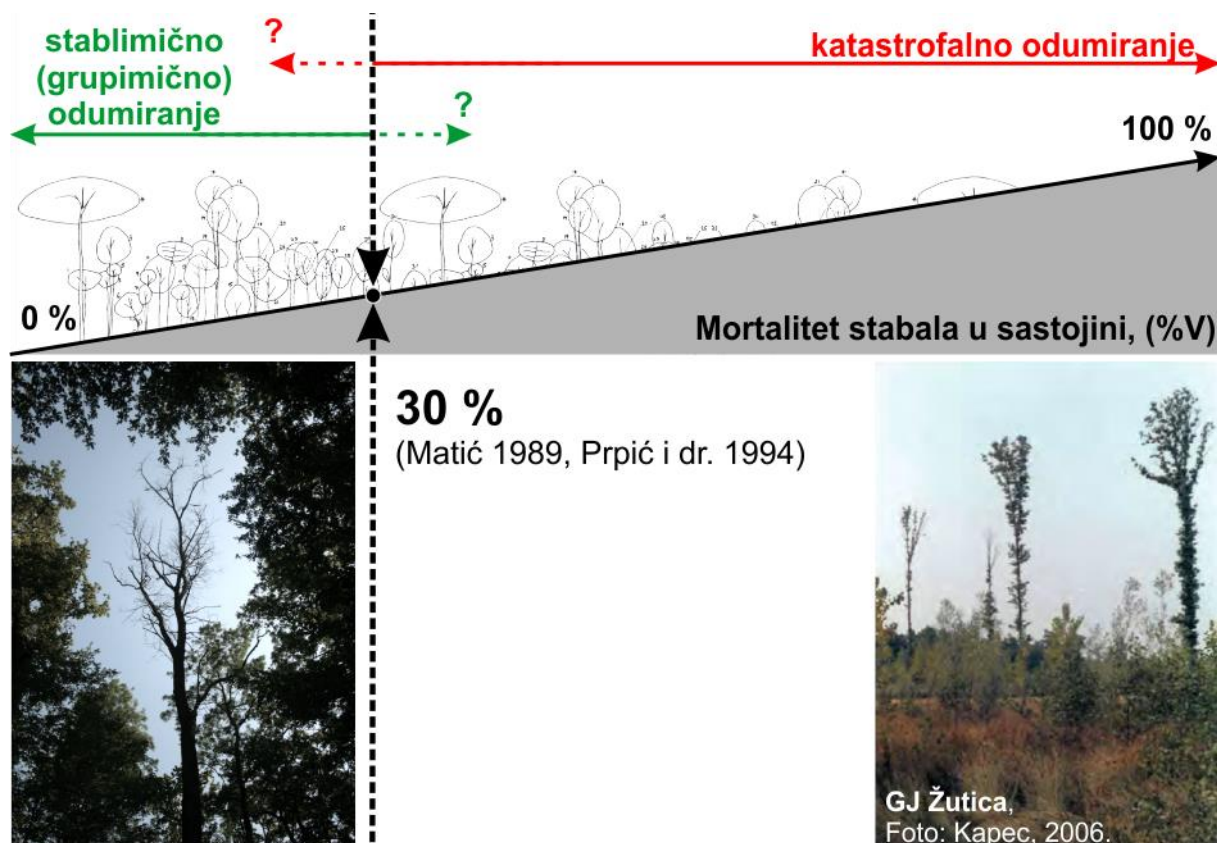
Prva epizoda odumiranja hrasta lužnjaka izazvala je veliku zabrinutost šumarskih stručnjaka i znanstvenika, što je odraženo i neuobičajeno velikim brojem članaka s ovom tematikom objavljenih od 1920. do 1930.

godine. Svi se ovi članci odnose isključivo na hrast lužnjak.

Drugo povećanje broja članaka vezanih uz propadanje šuma događa se nakon 1980.-ih godina. I sada su također zastupljeni članci o hrastu lužnjaku, međutim pojavljuju se i druge vrste drveća, na prvom mjestu obična jela. Osim toga, dolazi i do povećanja broja članaka koji se odnose na općenito globalno pogoršanje vitaliteta šumskih ekosustava što se povezuje s početkom klimatskih promjena, globalnim zagrijavanjem i onečišćenjem.

Dva tipa odumiranja stabala hrasta lužnjaka

S obzirom na intenzitet i opći karakter sušenja može se razlikovati dva osnovna ekstrema: (1) sušenje pojedinačnih stabala ili malih grupa stabala hrasta lužnjaka nasumično raspoređenih po površini sastojine, i (2) sušenje katastrofalnoga karaktera gdje u kratkom vremenskom razdoblju dolazi do odumiranja cijelih sastojina (Slika 2-8).



Slika 2-8. Dva tipa odumiranja stabala hrasta lužnjaka prema intenzitetu odumrle drvene zalihe sastojine

Kod nas je empirički preporučena granična vrijednost od 30% drvene zalihe zahvaćene odumiranjem u sastojinama starijim od 60 godina prema kojoj se može razlikovati katastrofalno od stablimičnog i grupimičnog odumiranja lužnjaka (Prpić i dr. 1994). Za sastojine u kojima u kratkom vremenskom razdoblju odumre preko 30% drvene zalihe, i u kojima nastanu velike nesuvislo obrasle površine, smatra se da su zahvaćene katastrofalnim sušenjem, te se preporuča pristupiti njihovoj sanaciji (Matić 1989).

Katastrofalna propadanja cijelih sastojina gdje se uz hrast lužnjak suše i druge vrste drveća danas su u Hrvatskoj rijetka. Prva ozbiljna epizoda sušenja (1909.-1925. godine) može se ubrojiti u tu kategoriju, kao i pojave sušenja u dijelovima šuma Kalje (Prpić i dr. 1994; Anić i dr. 2002), Žutica (Baričević 1999; Kapec 2006) ili Turopoljski lug (Prpić i dr. 1994). Ako i dođe do odumiranja cijelih sastojina, ta je pojava ograničena na dio odsjeka, ili u najgorem slučaju na jedan odsjek. Umjesto toga, prevladava odumiranje pojedinačnih stabala ili manjih grupa stabala hrasta lužnjaka, slično kao i u ostalim dijelovima lužnjakovoga areala u srednjoj i zapadnoj Europi (Hartmann 1996; Thomas i dr. 2002; Thomas 2008; Sonesson i Drobyshev 2010).

Međutim, iako katastrofalna sušenja danas izostaju, intenzitet i rasprostranjenost pojedinačnog odumiranja predstavlja veliki problem u gospodarenju lužnjakovim sastojinama. O tome dovoljno govori podatak da je u razdoblju od 1995. do 2006. u Hrvatskoj posječeno 2,7 mil. m³ slučajnoga prihoda hrasta lužnjaka (Anon.2006b) koji je skoro u potpunosti ostvaren sječom suhih i odumirućih stabala. Ako se za usporedbu zbroji posječeni drveni obujam odumrlih stabala u navedenim slučajevima katastrofalnih odumiranja (1909-1925. godine: 1,7 mil m³, GJ Žutica: 180 000 m³, šuma Kalje: 176 000 m³, GJ Turopoljski lug: 100 000 m³, GJ Česma, GJ Bolčanski lug i GJ Varoški lug: 168 700 m³) dolazi se do brojke od oko 2,3 mil m³. To znači da je kroz 10 godina stablimičnoga odumiranja (1995. do 2006.) oštećen veći volumen hrasta lužnjaka nego u svim slučajevima katastrofalnih odumiranja u prošlom stoljeću zajedno. Današnje su prosječne godišnje količine gotovo dvostruko veće od onih zabilježenih u prvoj epizodi sušenja (270 000 m³/god nasuprot 108 000 m³/god),

No, treba imati na umu da osim drvnoga obujma oštećenih stabala, postoje i druge razlike. Tijekom prve epizode sušenja na 82 % zahvaćene površine radilo se o sastojinama mlađim od 80 godina (I. do IV. dobni razred) (Manojlović 1926), dok danas najveća količina posječenih oštećenih stabala dolazi iz sastojina starijih od 80 godina (Dubravac i Dekanić 2009).

Posljedice odumiranja stabala hrasta lužnjaka

Odumiranje hrastovih stabala predstavlja veliki ekonomski problem zbog gubitka vrijednosti sortimenata koji se pridobivaju iz odumrlih i oštećenih stabala (Kraljić i Golubović 1980; Vuletić 2001; Tikvić i dr. 2006; Tikvić i dr. 2009). Zbog toga se u praksi nastoji češćim sanitarnim doznakama i sječama u sastojinama starijima od 80 godina užiti stabla zahvaćena odumiranjem prije negoli dođe do propadanja sortimenata. Na primjer, na području spačvanskog bazena utvrđeno je da je tijekom 11 godina (1996. - 2006. godine) u 69% od 101 odsjeka (ukupne površine 21 506 ha) sječa obavljena tri i više puta (Dekanić i dr. 2009; Dubravac i Dekanić 2009). Kako se radi o sastojinama u kojima su propisani isključivo radovi prethodnog prihoda, u njih bi u uvjetima bez propadanja lužnjakovih stabala u 11 godina trebalo ući samo jedan put.

Povećani broj ulazaka teške mehanizacije sa sobom donosi i povećanje rizika od negativnoga djelovanja šumske mehanizacije, u prvom redu sabijanja tla (Gaertig i dr. 2002; Poršinsky 2005; Hartmann i Messier 2008) i oštećivanja vitalnih dubelih lužnjakovih stabala (Poršinsky i Ožura 2006). Posljedice učestaloga korištenja teške mehanizacije na šumsko tlo posebno su ozbiljne u starim sastojinama koje se nalaze pred postupkom prirodne obnove oplodnim sječama. Duboki kolotragovi mogu prekinuti površinske tokove vode i dovesti do pretjeranog zadržavanja vode na površini tla, što dovodi do zamočvarivanja (Posarić 2008). Ova je pojava naročito izražena nakon dovršenoga sijeka kada se uklanjanjem stabala stare sastojine značajno smanji transpiracija, odnosno u ekosustavu ostaje značajno više vode.

Iako su navedene gospodarske posljedice odumiranja lužnjaka ozbiljne (s ekonomskoga i radno-organizacijskoga aspekta), još su teže posljedice ekološko-biološkoga karaktera. Intenzivno odumiranje stabala može izazvati trajno prekidanje sklopa sastojine, povećano izlaganje šumskog tla direktnom Sunčevom zračenju, zakorovljivanje i mjestimično zamočvarivanje (Anić i dr. 2002). Sastojine u kojima se događa odumiranje i propadanje stabala ne samo da ne mogu u potpunosti ispuniti svoju gospodarsku funkciju, nego u pitanje dolazi i ostvarivanje puno vrednijih općekorisnih funkcija šume.

Iz svega navedenoga jasno proizlazi potreba da se sastojine zahvaćene sušenjem saniraju odabirom najpogodnije metode šumsko-uzgojnih radova. Također je iznimno bitno poznavati uzroke odumiranja i ukloniti ih tamo gdje je to moguće, jer bez toga niti sanacija sastojine ne može dugoročno biti uspješna (Oršanić i dr. 1996).

Literaturni prikaz dosadašnjih istraživanja odumiranja hrasta lužnjaka

Mnogim je istraživanjima utvrđeno da se odumiranje hrasta lužnjaka u ogromnoj većini slučajeva ne može pripisati djelovanju pojedinačnoga čimbenika (Vajda 1948b; Hartmann 1996; Harapin i Androić 1996; Führer 1998; Thomas i dr. 2002; Thomas 2008; Sonesson i Drobyshev 2010; Matić 2009), već da pripada grupi tzv. "složenih bolesti propadanja" (eng. *complex decline disease*) (Manion 1991; Manion 2003). Unutar ovoga okvira odumiranje lužnjakovih stabala promatra se kao rezultat negativnoga djelovanja pripremnih, poticajnih i terminalnih čimbenika koji se međusobno isprepliću u vremenu i prostoru (Thomas i dr. 2002; Thomas 2008; Hartmann 1996).

S obzirom na promatrane uzročne čimbenike u procesu odumiranja lužnjaka, može se reći da je s vremenom rasla njihova složenost i brojnost u stručnoj i znanstvenoj literaturi. Prvi je ovu gradaciju složenosti opisao i sistematizirao (Spaić 1970), a kasnije su taj prikaz nadopunili i drugi autori (npr. Prpić 1989b; Harapin i Androić 1996; Matić 2009).

Prpić (1996) je sintetizirao spoznaje o odumiranju hrasta lužnjaka u Hrvatskoj i dao sustavni pregled uzroka i posljedica pogođenih sastojina (Tablica 2-1). U ovome kompleksu uzročnika odumiranja

hrasta napadi insekata i patogenih gljiva predstavljaju samo zadnju kariku procesa, što je potvrđeno i u drugim istraživanjima (Donaubauer 1998). Puno su ozbiljnije promjene u staništu i klimatskim uvjetima koje dovode do manjka, odnosno suviška vode čime se smanjuje vitalitet lužnjakovih stabala čineći ih podložnijima napadu insekata i patogenih gljivičnih organizama (Prpić i Anić 2000).

Tablica 2-1 Kompleks uzroka sušenja hrasta lužnjaka u Hrvatskoj (Prpić 1996)

Stanište, opseg i način odumiranja stabala	Uzroci odumiranja
Odumiranje skupina i sastojina u svim lužnjakovim staništima, preživljavaju barske vrste drveća: bijela vrba, crna joha, poljski jasen.	Stajanje oborinske i poplavne vode tijekom vegetacijskog razdoblja na površini tla. Nedostatak kisika i nagomilavanje CO ₂ u rizosferi. Ugibanje korijenja zbog nagomilavanja CO ₂ i opća nekroza korijenja. Napad kukaca i gljiva na oslabljena stabla.
Odumiranje hrasta lužnjaka u njegovim različitim staništima uz vodne akumulacije (hidroelektrane, umjetna jezera, zalihe pitke i tehničke vode i dr.)	Trajno povišenje razina podzemne vode uz izostanak kolebanja razina podzemne vode. Usporeno kretanje podzemne vode, nagomilavanje CO ₂ u rizosferi uz nedostatak kisika, nekroza korijenja.
Najprije pojedinačna odumiranja hrasta lužnjaka, a nakon 3 do 5 godina odumiranje skupina i čitavih sastojina sve u srednjodobnim i starim sastojinama. Lužnjakova stabla mlađa od 30 god. preživljavaju. Pad prirasta.	Trajno sniženje razina podzemnih voda tijekom vegetacijskog razdoblja za više od 0,5 m u odnosu na prijašnje prosječne vrijednosti.
Odumiranje ponika i pomlatka hrasta lužnjaka. Pojava higrofitnog bilja u sloju prizemnog rašća. Sva staništa hrasta lužnjaka osim ocjeditih greda. Odumiranje nakon dovršnog, ali i nakon naprodnog sijeka oplodne sječe.	Nakon naprodnog sijeka sastojina je slabo pomlađena. Zabarivanje tla zbog viška vode u staništu koju su prije naprodnog sijeka stara lužnjakova stabla isparavala transpiracijom i zadržavala intercepcijom.
Pojava umiranja šuma većih razmjera u svim staništima ekosustava hrasta lužnjaka. Utvrđena imisijska acidifikacija. Vrijednost pH manja od 4 u akumulacijskom horizontu tla. Pojava štetnika i bolesti. Odumiru sve vrste drveća. Opseg odumiranja stabala poprima razmjere ekološke katastrofe.	Sinergizam u smislu uzajamnog djelovanja zamočvarenja, pada razine podzemne vode, klimatskih ekscesa, napada štetnika i bolesti, pojava imisija štetnih tvari u zraku i vodi, izgospodarene monokulture. U sinergizmu je najopasnija pojava zamočvarenja (poplave i obilne oborine tijekom vegetacije) i istodobnog pada razine podzemne vode za više od 0,5 m u 1-2 godine.

U hidrološkome je smislu najopasnija istodobna pojava zamočvarenja gornjih slojeva tla uslijed slabe propusnosti za vodu i trajno sniženje razine podzemne vode u dubljim slojevima tla. Ako uz ovakve hidrološke promjene dođe i do niza ekstremno sušnih razdoblja uz istovremenu gradaciju defolijatora, vrlo lako dolazi do pojave katastrofalnog sušenja. Posljedice ovakvih sušenja su najizraženije u starijim, pretežito čistim hrastovim sastojinama koje su podignute na staništu pogodnijem za poljski jasen, kao što je bio slučaj u šumi Kalje (Prpić i dr. 1994; Anić i dr. 2002).

Kod istraživanja morfoloških značajki stabala hrasta lužnjaka općenito najveća se pažnja posvećuje dimenzijama krošnje. U Hrvatskoj su se istraživanjima krošanja hrasta lužnjaka u različitim šumskim zajednicama bavili na primjer Hren (1980), Krejči (1988), Hren i Krejči (1992), Dubravac (2002, 2003, 2004), Dubravac i dr. (2009, 2013). Ovdje se radi o istraživanjima kojima se nastoje utvrditi alometrijske zakonitosti razvoja nekih dimenzija krošanja (npr. promjera, krošnjatosti ili volumena) o prsnom promjeru ili dobi stabla za potrebe praktičnoga gospodarenja šumama. Iako su prosječne vrijednosti krošanja, pogotovo ako postoji funkcionalni oblik veze s lako mjerljivim varijablama stabla kao što je prsni promjer, bitne za općenito šumarstvo, u promatranju utjecaja morfoloških obilježja stabala u procesima odumiranja puno su važnija odstupanja od tih prosječnih vrijednosti u detekciji abnormalnih stabala i/ili sastojina (Zarnoch i dr. 2004).

U istraživanju odumiranja lužnjakovih stabala često puta se razmatrala oštećenost i osutost krošanja. Na primjer, oštećenost krošanja stabala u sastojinama spačvanskoga bazena istraživali su metodama fotointerpretacije Kalafadžić i dr. (1993) te Pernar i dr. (2007), dok su Dubravac i dr. (2011) utvrdili smanjeni prirast temeljnice oštećenih u odnosu na vitalna stabla.

Osutost ili oštećenost krošnje ne može se smatrati morfološkim parametrom, nego predstavlja indikator njihova vitaliteta, te posljedicu a često puta i prvi simptom procesa propadanja stabala. No,

varijacije zdravstvenoga stanja krošanja (osutosti) na razini stabla, vrste ili regije mogu biti rezultat i prirodnoga procesa diferencijacije stabala u sastojini. Na taj proces mogu utjecati među- ili unutar vrsna konkurencija unutar sastojine, te prostorne i regionalne varijacije klimatskih i drugih stanišnih parametara (Kandler 1992).

Relativno je dobro istražen utjecaj morfoloških parametara krošnje na prirast pojedinačnih lužnjakovih stabala, odnosno širinu goda i kvalitetu drva. Ova se istraživanja temelje na korelaciji koja postoji između veličine krošnje i lisne površine, odnosno ukupnog fotosintetskog potencijala stabla (Maguire i Kanaskie 2002).

Tako na primjer Novotny i dr. (1994) utvrđuju vrlo jaku pozitivnu korelaciju između površine horizontalne projekcije krošnje i debljinskog prirasta lužnjakovih stabala. Kint i dr. (2011) utvrđuju negativni utjecaj na radijalni prirast vitalnih (ko)dominantnih lužnjakovih stabala već kod uvjeta umjerene kompeticije ili relativno male temeljnice sastojine ($20 \text{ m}^2/\text{ha}$). S druge strane, dobro razvijene krošnje (prosječnoga polumjera $> 4 \text{ m}$ i udjela krošnje u visini stabla $> 0,5$) kao i veći stajališni prostor imaju pozitivan utjecaj na prosječne širine godova. Sukladno tome, Kint i dr. (2011) zaključuju kako već i male varijacije u načinu gospodarenja i provedenim uzgojnim zahvatima mogu imati važne učinke na unutarnju morfologiju lužnjakovih stabala i kvalitetu drva.

Spiecker (1991) utvrđuje da u jednodobnim sastojinama kitnjaka i lužnjaka stabla s većim stajališnim prostorom i većim krošnjama u pravilu ostvaruju i veći prirast temeljnice. Na temelju ovoga saznanja i vrlo čvrste povezanosti između razvoja krošanja i debljinskoga prirasta Spiecker (1991) razvija model i donosi smjernice o upravljanju debljinskim prirastom lužnjakovih stabala putem upravljanja dimenzijama krošanja individualnih stabala.

Navedena istraživanja povezanosti morfoloških značajki krošnje i prirasta mogu se posredno uzeti u obzir kod razmatranja uloge veličine krošnje u procesu odumiranja. Naime, u prethodnim je poglavljima opisano kako se prirast može koristiti kao indikator vitaliteta, pri čemu vitalna stabla u pravilu ostvaruju veći godišnji prirast u odnosu na oštećena stabla. Posredno bi se, dakle, moglo zaključiti kako su stabla s većim krošnjama i ujednačenim prirastom ujedno i vitalnija.

Konkretna razmatranja o ulozi morfoloških značajki stabala u procesu odumiranja hrasta lužnjaka u Hrvatskoj nisu novijega datuma. Dapače, čak i prije prve velike epizode sušenja, u Šumarskome se listu pojavio članak (J.E. 1884) u kojem autor donosi opažanja o povećanom odumiranju hrastovih stabala u jednoj tada srednjodobnoj poplavnoj hrastovoj šumi. Autor opaža da odumiru uglavnom ona stabla koja su u mladosti rasla u uskom sklopu, pa imaju visoka debla i male krošnje. Nasuprot njima, ona stabla koja su u mladosti na raspolaganju imala više prostora, pa su sada kraćega debla i široke krošnje, nisu zahvaćena sušenjem.

Mahr (1926) je, s druge strane, protiv jačeg prorjeđivanja kao sredstva za postizanje većih krošanja pojedinačnih stabala i povećanja njihove otpornosti. Kao glavni razlog navodi svoje mišljenje da se ne može točno odrediti koja bi to granica intenziteta prorjeđivanja trebala biti, pa se nedovoljnim intenzitetom ništa ne bi postiglo, dok se jačim intenzitetom prekida sklop što uzrokuje zakorovljivanje tla i jače grananje stabala već na visinama od 1-3 m.

Nakon prve velike epizode odumiranja lužnjakovih sastojina u Hrvatskoj, pojavljuju se brojni stručni i znanstveni doprinosi raspravi o uzročnicima ovoga procesa. Kao što je naprijed navedeno, većinom su razmatrani utjecaji patogenih organizama i stanišnih promjena. No pojavljuju se i radovi koji, uglavnom posredno i opisno, u cijeli kompleks uzročnika odumiranja lužnjaka uvode i osvrte na moguću ulogu strukture sastojine, a u vrlo malom broju i utjecaj morfoloških značajki krošanja kao posljedice pregustih lužnjakovih sastojina.

S obzirom na strukturu sastojine odnosno omjer smjese, najveći broj autora zauzima slično stanovište o pogubnim posljedicama čistih hrastovih sastojina. Naime, tijekom obnove posječenih starih hrastika, mnogo se puta nastojalo uzgojiti čiste hrastove sastojine zbog očekivane ekonomske dobiti, o čemu

piše već i Kozarac (1896). No nakon masovnog sušenja lužnjaka '20.-ih godina prošlog stoljeća umnožili su se dokazi o smanjenoj otpornosti čistih sastojina na stanišne promjene i napade patogenih organizama (npr Spaić 1974; Prpić 1989b). Sa stanovišta dinamike šumskih sastojina i njihovom odnosu s ostalim čimbenicima biocenoze, može se reći da antropogeno utjecano povećanje udjela jedne vrste drveća u odnosu na sastav vrsta drveća u prirodnome ekosustavu predstavlja selekcijski pritisak na populaciju patogenih organizama koja se s prirodnim sustavom nalazi u delikatnoj ravnoteži nastaloj tijekom njihovog dugotrajnog zajedničkog razvoja (Manion 1991). Ovakvim se selekcijskim pritiskom favorizira povećanje udjela upravo onih štetnih organizama kojima je izvor hrane prevladavajuća vrsta drveća. U slučaju pojave izvanjskih štetnih utjecaja poput suše, patogeni organizmi su u tom slučaju puno brojniji i opasniji nego što bi bili u uravnoteženome prirodnom sustavu.

Osim omjera smjese, drugi aspekt strukture sastojine koji se razmatrao u kontekstu sušenja hrasta lužnjaka bio je gustoća sastojine, točnije utjecaj prevelikoga broja stabala po jedinici površine na otežano oblikovanje krošanja i korijenovoga sustava. Najglasniji zagovornici ovoga pristupa bili su Marković i Manojlović (1929); Manojlović i Marković (1930), koji su tvrdili da su svi štetnici i stanišne promjene sekundarnoga karaktera, a da su glavni uzrok masovnoga odumiranja stabala zapravo guste sastojine sa stablima uske, malene krošnje. Kako bi svoje navode poduprli konkretnim brojkama, sudjelovali su u osnivanju niza trajnih pokusnih ploha u sastojinama u kojima se sušio hrast lužnjak tijekom 1927. godine. U sklopu izmjera, na postavljenim plohama se nije mjerilo dimenzije krošanja, nego se procjenjivao njihov oblik u šest kategorija: jednostrana, normalna, slaba, prevršena, račvasta i suhovrha krošnja. No, od postavljenih pokusa ostali su samo izvještaji o postavljanju ploha (Marković i Manojlović 1933), a izostali su dugotrajno motrenje razvoja lužnjakovih stabala i sinteza dobivenih rezultata.

Svojim se istraživanjima na radove Markovića i Manojlovića nadovezao Nenadić (1931, 1940) koji je u šumama Gradiške imovne općine i u šumi Žutici pokušao donijeti zaključke o utjecaju gustoće sastojine na sušenje hrasta lužnjaka. Na pokusnim plohama bilježi broj stabala, ali i broj panjeva posječenih osušenih lužnjakovih stabala, te zaključuje kako su sastojine prije sušenja imale značajno veći broj stabala od onoga u Wimmenauerovim prirasno-prihodnim tablicama. Prema stanju krošanja preostalih stabala zaključuje kako je većina stabala u sastojini prije sušenja imala slabo razvijenu krošnju. Nenadić također ne vrši izmjeru dimenzija krošanja, ali pokušava posredno doći do veličina promjera krošanja, računajući međusobne udaljenosti stabala prije i nakon sušenja, te ih uspoređuje s vrijednostima izračunatima iz Wimmenauerovih tablica. Tako na primjer u šumi Žutica utvrđuje da je normalni razmak stabala trebao iznositi 7,9 m, a da je prije velikoga sušenja taj razmak bio 5,7 m.

Vajda (1948a) u kontekstu razmatranja utjecaja klimatskih promjena na odumiranje hrastovih stabala u obzir uzima morfološke značajke stabala, posebice korijenovoga sustava, ali samo teoretski i posredno preko utjecaja gustoga sklopa. Pa tako zaključuje da su stabla uzrasla u gustom sklopu razvila skromne korijenove sustave na dubini uobičajene oscilacije podzemne vode. Kada dođe do promjena u režimu podzemne vode, ta su stabla najranjivija, zaostaju u rastu, suše im se vrhovi, nisu otporna na napade štetnike, te na kraju i ugibaju.

Iz navedenih se istraživanja može vidjeti da se razdoblju nakon prvog velikog sušenja, morfološke značajke pojedinačnih stabala promatraju na razini sastojine, kroz prizmu njene strukture, i posredno bez konkretnih izmjera.

Vajda (1968), međutim, prenosi rezultate opsežne studije iz 1966. godine u kojoj je istraživano odumiranje hrastovih stabala Rumunjskoj. Između ostaloga, utvrđeno je da je u jednakim stanišnim uvjetima udio odumrlih stabala manji u grupi stabala s velikim prsnim promjerom i jako razvijenom krošnjom, dok u vladajućem sloju najviše odumiru kodominantna stabla s manjim, slabo osvijetljenim krošnjama. U ovoj se studiji donose i konkretne brojke, pa se tako navodi da je u sastojinama dobi od oko 80 godina progresivno i totalno odumiranje najviše pogodilo stabla koja su imala promjer krošnje manji od 3 m, a u sastojinama oko 100 godina dobi stabla čija je krošnja imala promjer manji od 5 m.

U usporedbi s istraživanjem morfoloških značajki stabala u procesu odumiranja, dendrokronološka su istraživanja prirasta oštećenih stabala puno brojnija. Tako na primjer Pranjić i Lukić (1989) utvrđuju konstantan pad radijalnoga prirasta hrastovih stabala u razdoblju od 20 godina prije pojave odumiranja. Lukić i dr. (1996) u šumama pokupskoga bazena koriste dendrokronološke metode za utvrđivanje stresnih razdoblja za rast lužnjakovih stabala s obzirom na klimatske uvjete. Također su već relativno česta dendrokronološka istraživanja u kojima se uspoređuje radijalni prirast oštećenih i vitalnih stabala na istom staništu, te se donose zaključci o utjecajima klimatskih čimbenika na rast stabala različitih klasa vitaliteta (Drobyshev i dr. 2007b; Čater i dr. 2008; Helama i dr. 2008; Levanić i dr. 2011; Pilaš i Potočić 2004; Pilaš i dr. 2007). Dendrokronološkim je istraživanjima bez iznimke utvrđeno konstanto opadanje prirasta oštećenih stabala u određenome razdoblju prije konačnoga odumiranja, te u komparativnim studijama istovremeno normalni prirast vitalnih stabala na istom staništu.

Odumiranje hrasta lužnjaka na istraživanom području

U okviru ove aktivnosti preuzete su baze podataka "Hrvatskih šuma" d.o.o. Zagreb o gospodarenju šumskim sastojinama i to: baza HS Fond (stanje 3.srpnja 2018.) za cijelo područje Republike Hrvatske i HS PPI za područje Šumarije Koška.

Preliminarno su analizirani podaci kako bi se utvrdilo koji se parametri o dosadašnjem gospodarenju, s posebnim naglaskom na proces odumiranja hrasta lužnjaka, mogu dobiti iz preuzetih skupova podataka. U nastavku se donose neki preliminarni rezultati obrade podataka iz baze podataka HS Fond.

Neke od ključnih značajki odumiranja hrasta lužnjaka tijekom zadnjih 20 godina na području Republike Hrvatske mogu se iščitati iz podataka u Šumskogospodarskim osnovama područja (Tablica 2-2). U razdoblju od 1996. do 2015. godine ukupno je posječeno oko 17 mil. m³ stabala hrasta lužnjaka od čega je oko jedne trećine ostvareno kroz slučajni prihod (5,6 mil. m³).

Ključna je činjenica da je preko 90% ove drvene mase posječeno u sastojinama prethodnog prihoda, dakle u prorjedama. Udio slučajnog prihoda u ukupno užitoj drvnj zalihi prethodnog prihoda iznosi oko 57%. Drugim riječima, preko polovice drvnog obujma hrasta lužnjaka koji se posječe u prorjedama odnosi se na sječu odumrlih ili odumirućih lužnjakovih stabala, kao i stabala oštećenih u vjetrolomima. Sortimenti dobiveni od ovih stabala redovito su lošije kvalitete od sortimenata zdravih stabala što predstavlja značajan gubitak novčanih prihoda od gospodarenja lužnjakovim sastojinama.

Tablica 2-2 Podaci o užitoj drvnj zalihi i propisu za hrast lužnjak tijekom važenja dvije zadnje Šumskogospodarske osnove područja

Razdoblje	propis	ukupno užita drvena zaliha	redoviti prihod		izvanredni prihod		slučajni prihod	
		m ³	m ³	%	m ³	%	m ³	%
GLAVNI PRIHOD								
1996-2005	3.472.193	3.616.757	3.337.430	92,3	58.868	1,6	220.459	6,1
2006-2015	4.581.775	4.442.549	4.129.035	92,9	52.227	1,2	261.287	5,9
Ukupno	8.053.968	8.059.306	7.466.465	92,6	111.095	1,4	481.746	6,0
PRETHODNI PRIHOD								
1996-2005	2.524.972	4.306.129	1.830.526	42,5			2.475.603	57,5
2006-2015	3.328.660	4.638.949	1.993.428	43,0			2.645.521	57,0
Ukupno	5.853.632	8.945.078	3.823.954	42,7	-	0,0	5.121.124	57,3
SVEUKUPNO	13.907.600	17.004.384	11.290.419	66,4	111.095	0,7	5.602.870	32,9

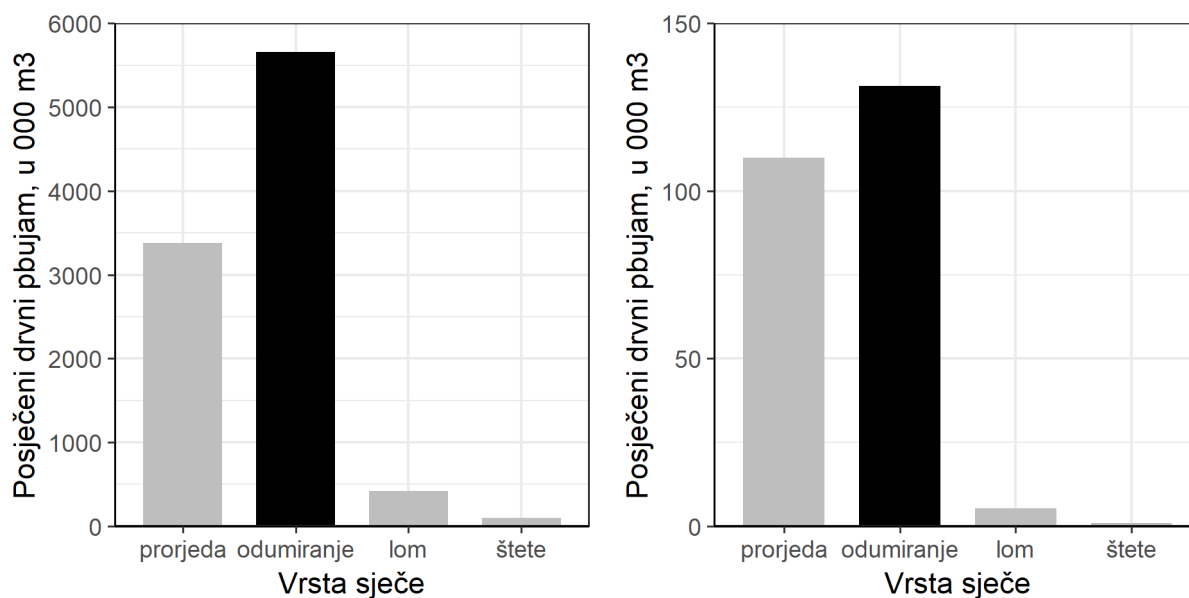
Daljnji, detaljniji uvid u strukturu sječe slučajnog prihoda u prorjedama lužnjakovih sastojina dobiven je analizom podataka iz baze HS Fond o posjećenoj drvnj masi hrasta lužnjaka u prethodnom prihodu za razdoblje od 1996. do 2017. godine. Uspoređeni su podaci za cijelo područje Republike

Hrvatske i podaci za Šumariju Koška, kako bi se utvrdilo u kojoj su mjeri podaci na razini analizirane šumarije reprezentativni za cijeli lužnjakov areal u Hrvatskoj.

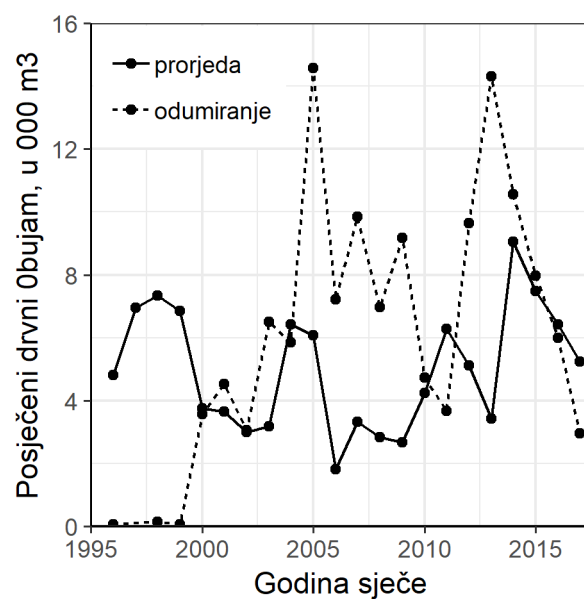
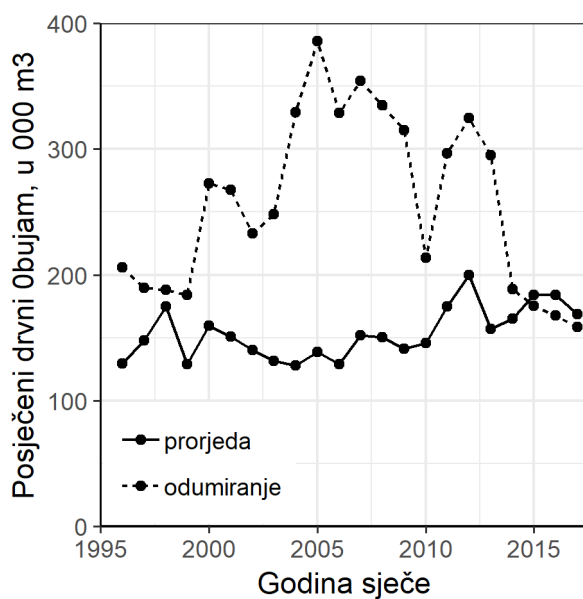
Za potrebe analize izdvojeni su svi zapisi o užitom etatu prorjede za razdoblje od 1996. do 2017. godine. Zapisi su grupirani prema vrsti sječe kako prikazuje Tablica 2-3, grički prikaz donosi Slika 2-9. Na grafičkim prikazima u nastavku (Slika 2-10 do Slika 2-15) daje se usporedni prikaz osnovnih značajki pojave obujma odumrlih i odumirućih stabala hrasta lužnjaka u prethodnom priходу na razini Republike Hrvatska i Šumarije Koška.

Tablica 2-3 Udio pojedini vrsta sječe u ukupnom etatu prorjede

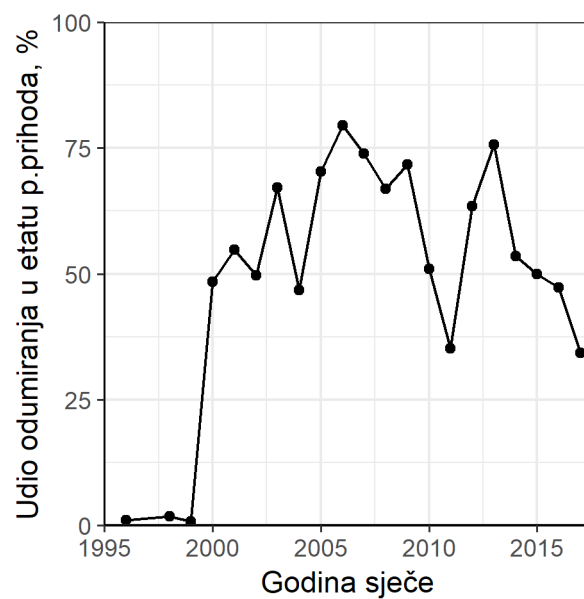
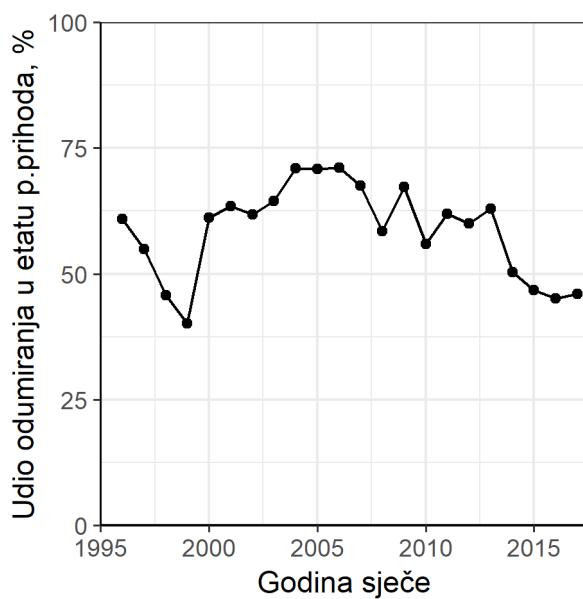
naziv grupe	šifre HS Fond	Udio u ukupnom etatu prorjede	
		Ukupno	Šumarija Koška
prorjede	07 – prorjeda	35%	44%
odumiranje	20 – polusušci 30 – sanitarna sječa 40 – sušci	59%	53%
lom	11 – vjetrolom 12 – snjegolom	4%	2%
štete	8 – AD-stabla 13 – šumske štete 14 – ratne štete	1%	0,4%



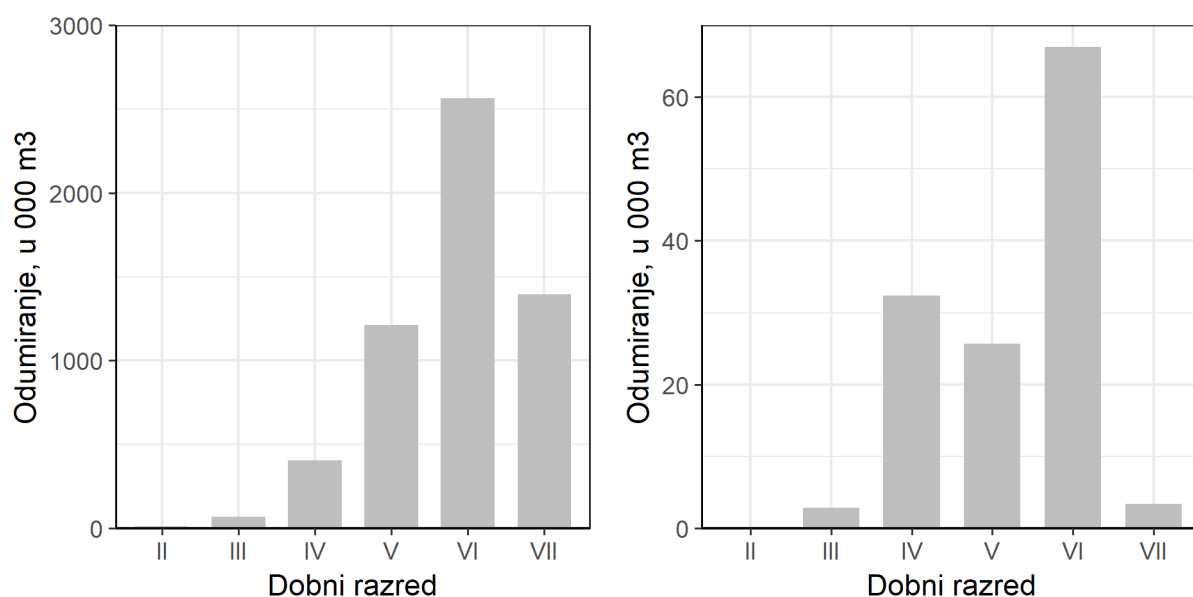
Slika 2-9 Ukupni etat prorjeda hrasta lužnjaka prema tipu sječe u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i u Šumariji Koška (desni grafikon) u razdoblju od 1996. do 2017. godine



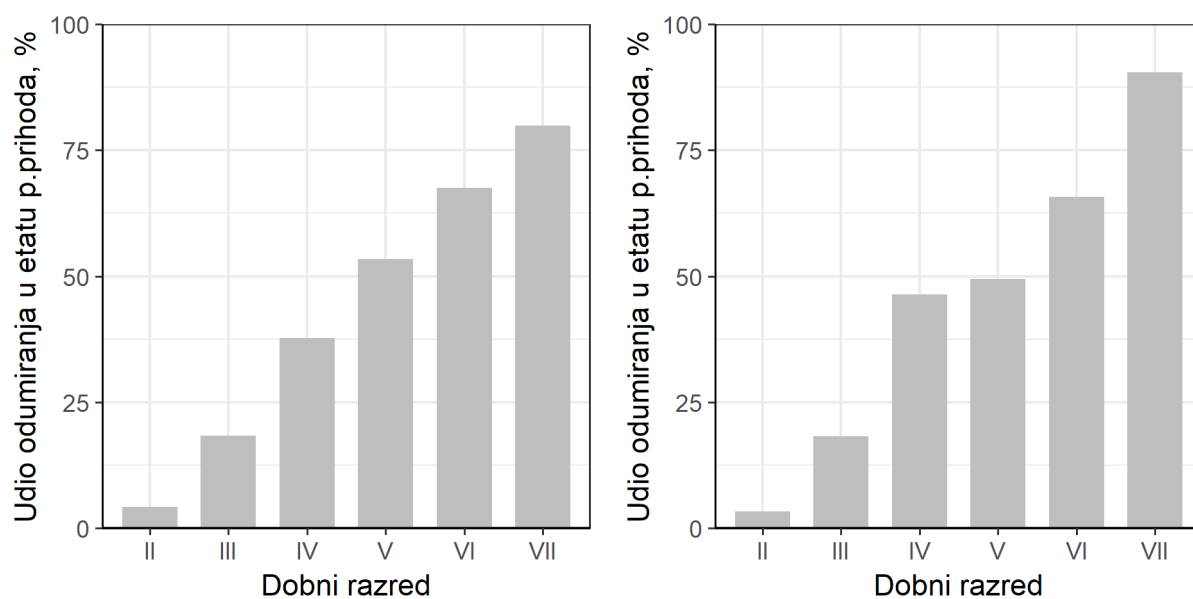
Slika 2-10 Dinamika sječe vitalnih stabala (prorjeda) i odumirućih i odumrlih stabala (odumiranje) hrasta lužnjaka u sastojinama prethodnog prihoda u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i u Šumariji Koška (desni grafikon) u razdoblju od 1995. do 2017. godine



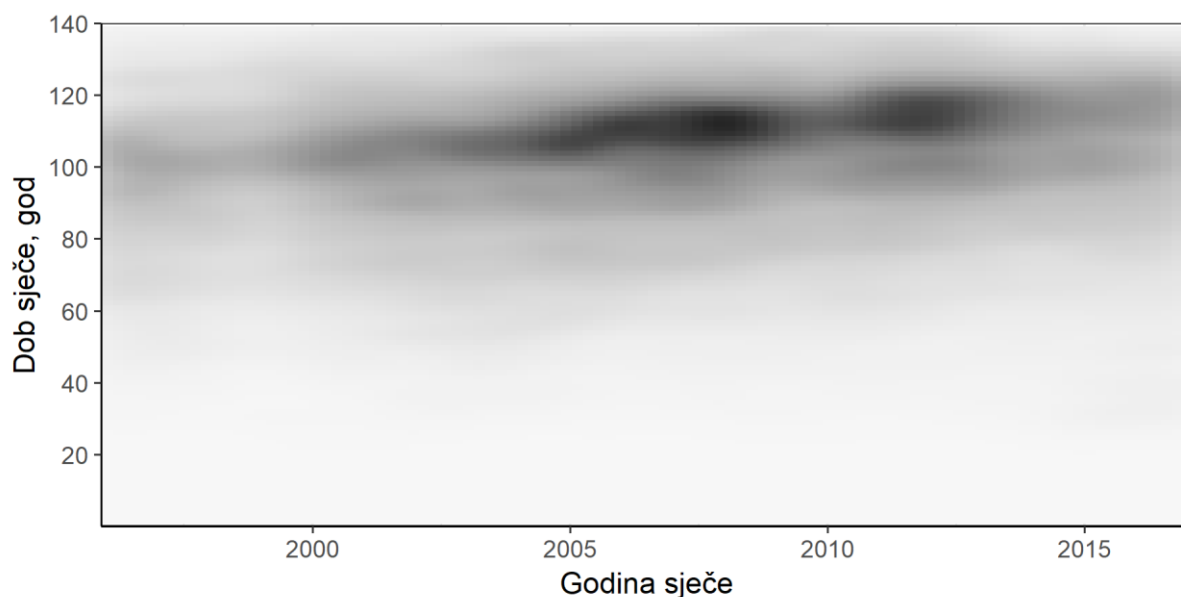
Slika 2-11 Dinamika udjela odumiranja u ukupnom etatu prorjeda u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i u Šumariji Koška (desni grafikon) za razdoblje od 1995. do 2017. godine



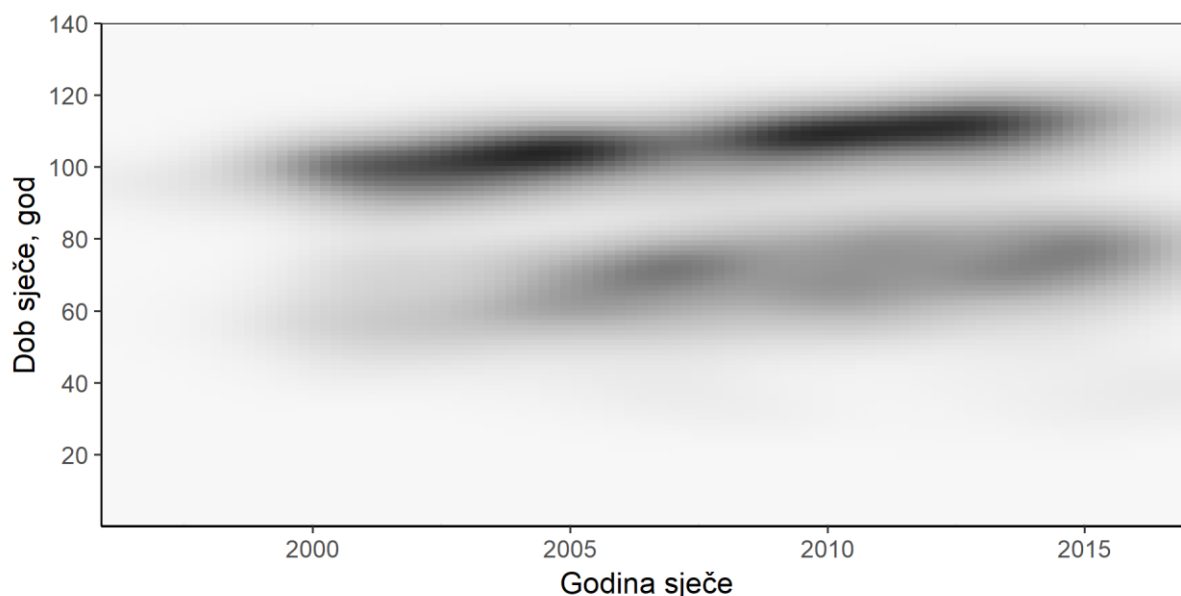
Slika 2-12 Ukupno posječeni obujam odumrlih i odumirućih lužnjakovih stabala u prorjedama u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i u Šumariji Koška (desni grafikon prema dobnim razredima u razdoblju od 1995. do 2017. godine)



Slika 2-13 Udio obujma odumrlih i odumirućih lužnjakovih stabala u ukupnom etatu prorjeda prema dobnim razredima u razdoblju od 1995. do 2017. godine za cijelu Hrvatsku (lijevi grafikon) i za Šumariju Koška (desni grafikon)



Slika 2-14 Učestalost pojave odumiranja u evidentiranim sječama prethodnog etata hrasta lužnjaka u Hrvatskoj prema dobi sastojine u vrijeme sječe tijekom razdoblja od 1995. do 2017. godine



Slika 2-15 Učestalost pojave odumiranja u evidentiranim sječama prethodnog etata hrasta lužnjaka u šumariji Koška prema dobi sastojine u vrijeme sječe tijekom razdoblja od 1995. do 2017. godine

Generalno se može zaključiti da je proces odumiranja hrasta lužnjaka, prema podacima zabilježenima u bazi podataka HS Fond, na području Šumarije Koška u svojim osnovnim crtama u skladu s općim trendovima u Hrvatskoj tijekom zadnja dva desetljeća (1995. do 2017. godine). No u daljnjim obradama ipak treba obratiti pozornost na nekoliko utvrđenih činjenica.

U tri prve godine analiziranog razdoblja (1995.-1997.) za područje Šumarije Koška nije evidentirana sječa odumrlih i odumirućih lužnjakovih stabala, iako je ona zabilježena na području cijele Hrvatske (Slika 2-10 i Slika 2-11). Ovdje se vjerojatno radi o neusklađenosti podataka u bazi HS Fond, pa će se za daljnje obrade za područje Šumarije Koška koristiti podaci od 1998. godine pa nadalje.

Također je utvrđena razlika u ukupnom obujmu sječe odumrlih i odumirućih lužnjakovih stabala u okviru V. dobnog razreda između podataka Šumarije Koška i podataka koji se odnose na cijelo područje Hrvatske, tj. ukupno posjećeni obujam u sastojinama V. dobnog razreda niži je u odnosu na

obujam posječen na području RH (Slika 2-12). No, udio sječe odumrlih i odumirućih lužnjakovih stabala prema dobnim razredima ipak je gotovo identičan široj slici u Hrvatskoj, pa također značajno raste od najmlađih prema najstarijim dobnim razredima gdje dostiže vrhunac od preko 70%. To se odrazilo i na grafičke prikaze učestalosti sječe odumirućih i odumrlih stabala prema dobi sastojine u vrijeme sječe između cijelog područja Hrvatske gdje se vidi jedan oblak učestalih sječa (Slika 2-14), i Šumarije Koška gdje postoje dvije kohorte odsjeka u kojima se pojavljuje sječa odumrlih i odumirućih lužnjakovih stabala (Slika 2-15).

Razlog tome leži u razlikama raspodjele površina sastojina uređajnog razreda sjemenjače hrasta lužnjaka šumarije Koška u odnosu na cjelokupnu površinu uređajnog razreda u Hrvatskoj (Slika 2-3). Naime, na području šumarije Koška veći je udio sastojina IV. dobnog razreda a manji udio sastojina V. dobnog razreda u odnosu na cjelokupnu površinu razreda u Hrvatskoj.

2.1.2 Strukturne značajke sastojina šumarije Koška

Struktura sastojina u gospodarskim jedinicama šumarije Koška analizirana je za potrebe preliminarnog terenskog rekognosciranja terena. Upotrijebljene su prostorne podloge koje su za potrebe projekta preuzete iz baze "Hrvatskih šuma" d.o.o.. Upotrijebljen je prostorni sloj granica odsjeka s pripadajućim podacima o uređajnom i dobnom razredu sastojine iz obrasca O-2 važeće osnove gospodarenja. Prostorni raspored uređajnih razreda na području šumarije Koška prikazuje Slika 2-4, a prostorni raspored dobnih razreda Slika 2-5.

Ova je analiza potrebna radi određivanja dodatnih sastojina u kojima će se postaviti pokusne plohe za izmjeru strukture sastojine i uzorkovanje izvrtaka hrasta lužnjaka. Od posebnog su interesa za potrebe ovoga istraživanja sastojine uređajnog razreda Sjemenjača hrasta lužnjaka i sastojine starije od 80 godina (V. dobní razred i starije).

Preliminarni terenski obilazak lokacija piezometarskih postaja i područja šumarije Koška obavljen je 26. travnja 2018. godine kada su nakon obavljenih razgovora u šumariji obidene sve lokacije starih piezometarskih postaja (1-5) kao i lokacija novo postavljenoga piezometra (21).

Tablica 2-4 donosi osnovne podatke o piezometarskim postajama na području šumarije Koške, a slike u nastavku tablice prikazuju sastojine na lokacijama piezometarskih postaja (stanje kraj travnja 2018. godine).

Tablica 2-4 Osnovni podaci o piezometarskim postajama na području šumarije Koška

Br. piezometarskog seta	Gospodarska jedinica*	Odsjek	Uređajni razred	Dobni razred**	Dob sastojine***
1	BBL	24a	Sjemenjača lužnjaka	5.	99 (107)
2	BBL	16a	Sjemenjača lužnjaka	4.	63 (71)
3	LG	114a	Sjemenjača lužnjaka	6.	115 (123)
4	LG	90a	Sjemenjača lužnjaka	4.	70 (78)
5	LG	3a	Sjemenjača lužnjaka	5.	85 (93)
21	BBL	42c	Sjemenjača lužnjaka	6.	105 (113)

* BBL = Budigošće-Breza-Lugovi; LG = Lacić-Gložde

** u 201. godini (prema važećoj Osnovi gospodarjenja

*** u zagradi se donosi dob sastojine u 2018. godini



Slika 2-16 Piezometarska postaja br. 1 (BBL, odsjek 24a)



Slika 2-17 Piezometarska postaja br. 2 (BBL, odsjek 16a)



Slika 2-18 Piezometarska postaja br. 3 (LG, odsjek 114a)



Slika 2-19 Piezometarska postaja br. 4 (LG, odsjek 90a)



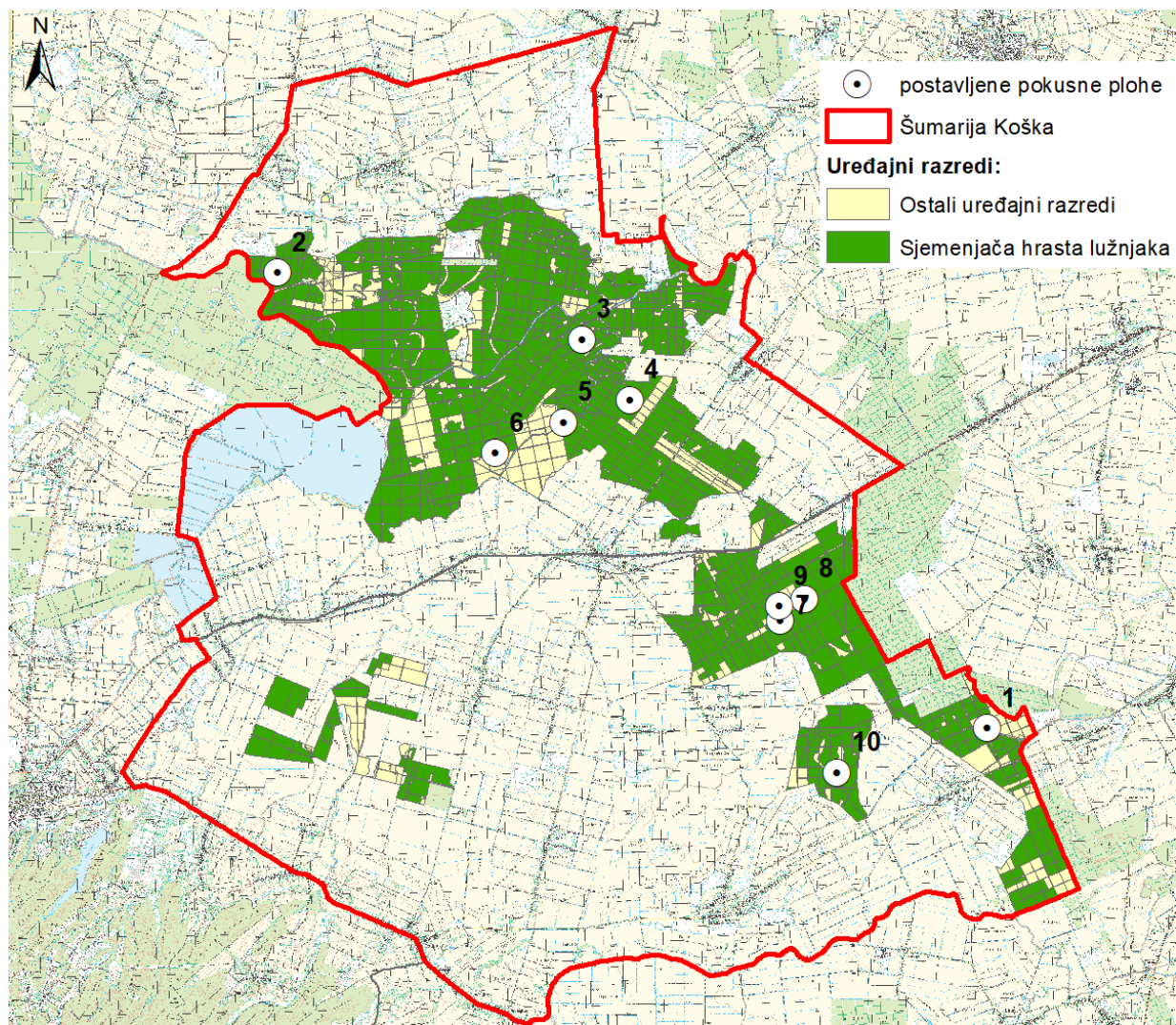
Slika 2-20 Piezometarska postaja br. 5 (LG, odsjek 3a)



Slika 2-21 Piezometarska postaja br. 21 (BBL, odsjek 42c)

Ukupno je terenskim radovima postavljeno 10 pokusnih ploha. Lokacije pokusnih ploha prikazuje Slika 2-22, a osnovne podatke o odsjecima u kojima su postavljene plohe Tablica 2-5. Terenski radovi obavljani su tijekom pet dana, od 16. do 20. srpnja 2018. godine.

Po pet ploha postavljeno je u svakoj od dvije gospodarske jedinice Šumarije Koška. Šest pokusnih ploha postavljeno je na lokacijama piezometarskih postaja. Odabir lokacija preostale četiri pokusne plohe obavljen je uzimajući u obzir uređajni razred (hrast lužnjak), dob sastojine (> 100 godina), kao i dijelove šumskog kompleksa na kojima je zabilježeno veće odumiranje hrasta lužnjaka u proteklom razdoblju (prema saznanjima dobivenima od stručnog osoblja Šumarije Koška). Kod izbora lokacija pokusnih ploha također se nastojalo navedene četiri plohe postaviti uz neki oblik vodnoga tijela (kanal, rijeka, bara) kako bi se potencijalno u daljnjim obradama pokušala istražiti povezanost prirasta hrastovih stabala (dobivenoga iz izvrtaka) i oscilacije vodnoga režima u vodnoj bilanci šireg područja.



Slika 2-22 Lokacije 10 postavljenih pokusnih ploha za izmjeru vegetacijskih značajki sastojina i uzorkovanje izvrtaka stabala hrasta lužnjaka

Tablica 2-5 Osnovni podaci o odsjecima u kojima su postavljene pokusne plohe

ploha	GJ*	Piezo**	Odsjek	Dob sastojine 2018. godine	Broj hrastovih stabala iz kojih su izvađeni izvrtci	Uzorkovana lužnjakova stabla prema vitalitetu			
						Vitalna	Intermedij arna	Odumiruća	Odumrla
1	BBL	21	42a	113	15	10	4	1	
2	LG	5	3a	89	16	6	3	5	1
3	LG	4	90a	74	15	14	1		
4	LG	3	114a	119	15	12	3		
5	LG		78c	119	15	8	6	1	
6	LG		71a	129	15	9	4	2	
7	BBL	1	24a	107	15	13	2		
8	BBL		14a	118	15	12	3		
9	BBL	2	15a	74	15	13	1	1	
10	BBL		62b	109	15	11	3	1	

* BBL = Budigošće-Breza-Lugovi; LG = Lacić-Gložđe; ** oznaka piezometarske mjerne postaje

Na lokaciji svake pokusne plohe obavljene su sljedeće aktivnosti:

- odabir središta kružne plohe (uz lokaciju piezometra i po mogućnosti u reprezentativnom dijelu sastojine) i njegovo označavanje,
- snimanje koordinata središta pokusne plohe i lokacije piezometarske postaje GPS uređajem,
- izmjera prsnih promjera stabala debljih od 5 cm prsnog promjera svih vrsta drveća na kružnoj površini polumjera 18 m od odabranog središta pokusne plohe,
- uzimanje po dva unakrsna izvrtka do središta osi stabla iz 15 stabala hrasta lužnjaka koji se nalaze na kružnoj pokusnoj plohi, ili u neposrednoj blizini plohe (Slika 2-23),
- izmjera kore uzorkovanih lužnjakovih stabala na mjestima na kojima su uzeti izvrtci (Slika 2-24),
- snimanje lokacija uzorkovanih lužnjakovih stabala (udaljenost od središta plohe i azimut),
- procjena vitaliteta uzorkovanih lužnjakovih stabala (osutost krošnje, prisutnost simptoma napada gljiva ili kukaca, mehanička oštećenja na deblu i dr.),
- obilježavanje uzorkovanih lužnjakovih stabala uljanom bojom u smjeru središta pokusne plohe (Slika 2-25 i Slika 2-26).



Slika 2-23 Uzimanje dva unakrsna izvrtka iz lužnjakovih stabala **Slika 2-24** Izmjera debljine kore na uzorkovanim lužnjakovim stablima



Slika 2-25 Obilježba stabala na pokusnim ploham (stablo br. 15 na plohi br. 7 uz neposrednu blizinu piezometarske postaje) **Slika 2-26** Obilježba stabala na pokusnim ploham (stablo br. 2 na plohi br. 5)

Određivanje lokacija središta postavljenih ploha i piezometarskih postaja GPS uređajem submetarskom točnošću

U veljači 2019. godine snimljene su lokacije piezometarskih postaja i središta postavljenih pokusnih ploha. Snimanje je obavljeno uz pomoć GPS uređaja za pojačavanje signala SXblue II GNSS proizvođača SXblue (<http://sxbluegps.com/products/gps-gnss-receivers/>). GPS uređaj je spojen na pametni telefon putem *bluetooth* veze preko aplikacije BluetoothGPS (<https://play.google.com/store/apps/details?id=googoo.android.btgps&hl=en>). Očitivanje geografske lokacije izvršeno je pomoću aplikacije GPS Logger for Android (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mendhak.gpslogger>).

Snimanje lokacija obavljeno je na način da je na srednjoj cijevi svake piezometarske postaje (osim u slučaju novopostavljenoga piezometra P21 gdje ima samo jedna cijev) i na lokaciji svakog središta pokusne plohe obavljeno snimanje koordinate u vremenskom razdoblju od pet minuta pri čemu je u aplikaciji GPS Logger određeno da se koordinate snimaju svake dvije sekunde. Na taj način su dobivene datoteke u .csv formatu koje su sadržavale niz zabilježenih koordinata za svaku snimljenu točku. Koordinate su zabilježene u koordinatnom sustavu WGS 1984. U GIS okruženju snimljene koordinate su transformirane u koordinatni sustav HTRS96, te je za svaku lokaciju iz svih snimljenih koordinata određena srednja lokacija po x i y osi. Na ovaj način postignuta je preciznost izmjere geografskih koordinata lokacija piezometara i središta pokusnih ploha manja od 0,5 m. Svim snimljenim stablima hrasta lužnjaka kojima su izvađeni izvrtci također su dodijeljene korigirane koordinate pomoću azimuta i udaljenosti od središta pokusnih ploha koje su snimljene u okviru terenskih radova u srpnju 2018. godine.

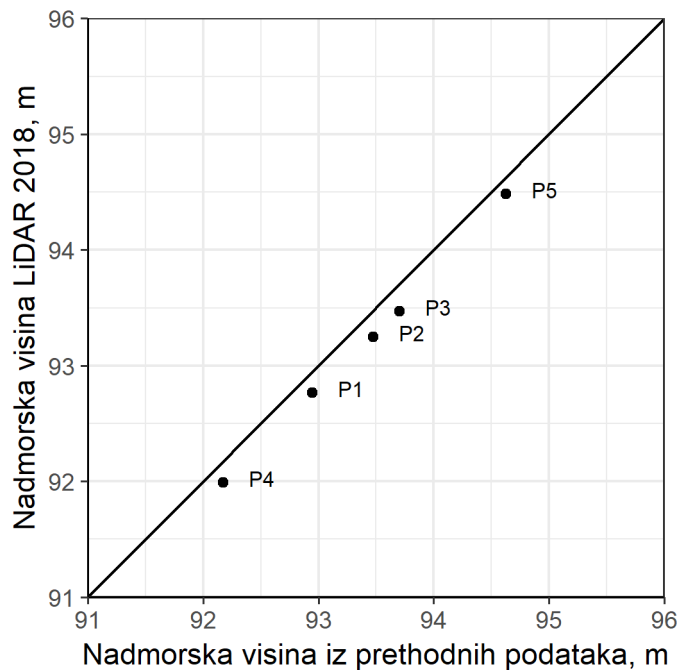
Tablica 2-6 donosi za svaku pokusnu plohu koordinate središta ploha u HTRS96 koordinatnom sustavu, te koordinate piezometarskih postaja na onim ploham na kojima se nalaze, također u HTRS96 koordinatnom sustavu.

U gore navedenoj tablici također su navedene i nadmorske visine svih središta ploha i svih piezometarskih postaja. Nadmorske visine terena dobivene su iz digitalnog modela terena koji je izrađen temeljem LiDAR podataka snimljenih 2018. godine.

Tablica 2-6 Koordinate i nadmorske visine terena središta postavljenih pokusnih ploha i piezometarskih postaja

Oznaka pokusne plohe	Točka	oznaka	Koordinate u HTRS96 koordinatnom sustavu (m)		Nadmorska visina (m)	
			X	Y	DEM – LiDAR 2018	prethodni podaci
1	centar	C1	649253,35	5042146,92	90,38	
	piezometar	P21	649277,49	5042126,93	90,29	
2	centar	C2	631033,15	5053828,11	94,53	
	piezometar	P5	630998,35	5053816,61	94,49	94,63
3	centar	C3	638886,91	5052132,06	91,94	
	piezometar	P4	638859,94	5052145,42	91,99	92,18
4	centar	C4	640094,29	5050581,84	93,37	
	piezometar	P3	640091,82	5050545,48	93,47	93,70
5	centar	C5	638365,42	5050007,29	93,27	
6	centar	C6	636633,09	5049209,83	94,20	
7	centar	C7	643972,61	5044905,20	92,73	
	piezometar	P1	643981,79	5044939,28	92,77	92,95
8	centar	C8	644585,06	5045464,55	92,68	
9	centar	C9	643939,40	5045286,04	93,47	
	piezometar	P2	643880,31	5045208,15	93,25	93,48
10	centar	C10	645393,91	5040980,78	93,03	

Za lokacije piezometarskih postaja uspoređene su nadmorske visine terena koje su zabilježene prilikom postavljanja cijevi s novim nadmorskim visinama koje su dobivene iz DEM-a temeljem LiDAR podataka. Ustanovljena je izrazito velika korelacija između dva seta podataka (koeficijent korelacije 0,999 uz $p < 0,001$). Usporedba nadmorskih visina grafički prikazuje Slika 2-27. Kod svih pet piezometarskih postaja nadmorska visina prema LiDAR podacima manja je od prethodno zabilježenih podataka. Razlike iznose od 14 do 23 cm.



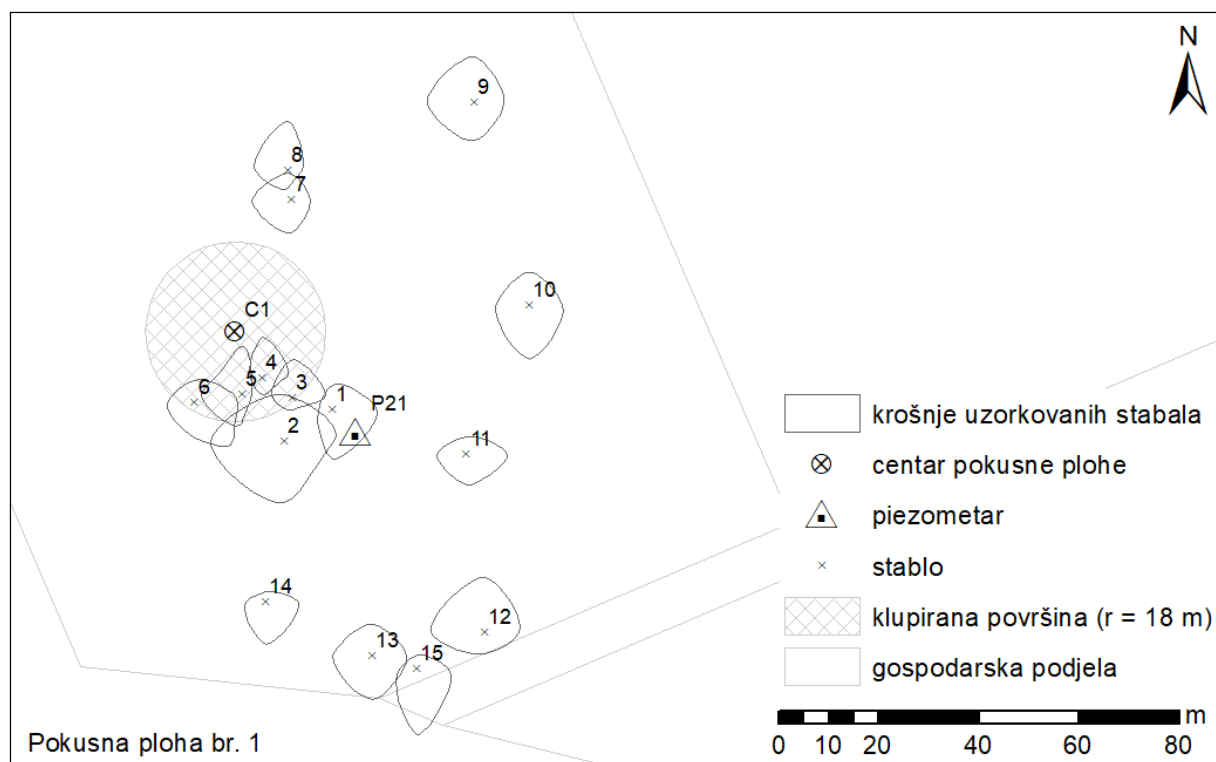
Slika 2-27 Nadmorske visine pet piezometarskih postaja prema prethodno zabilježenim podacima i podacima iz DEM-a dobivenog iz LiDAR podataka

Izmjera visina i dimenzija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala

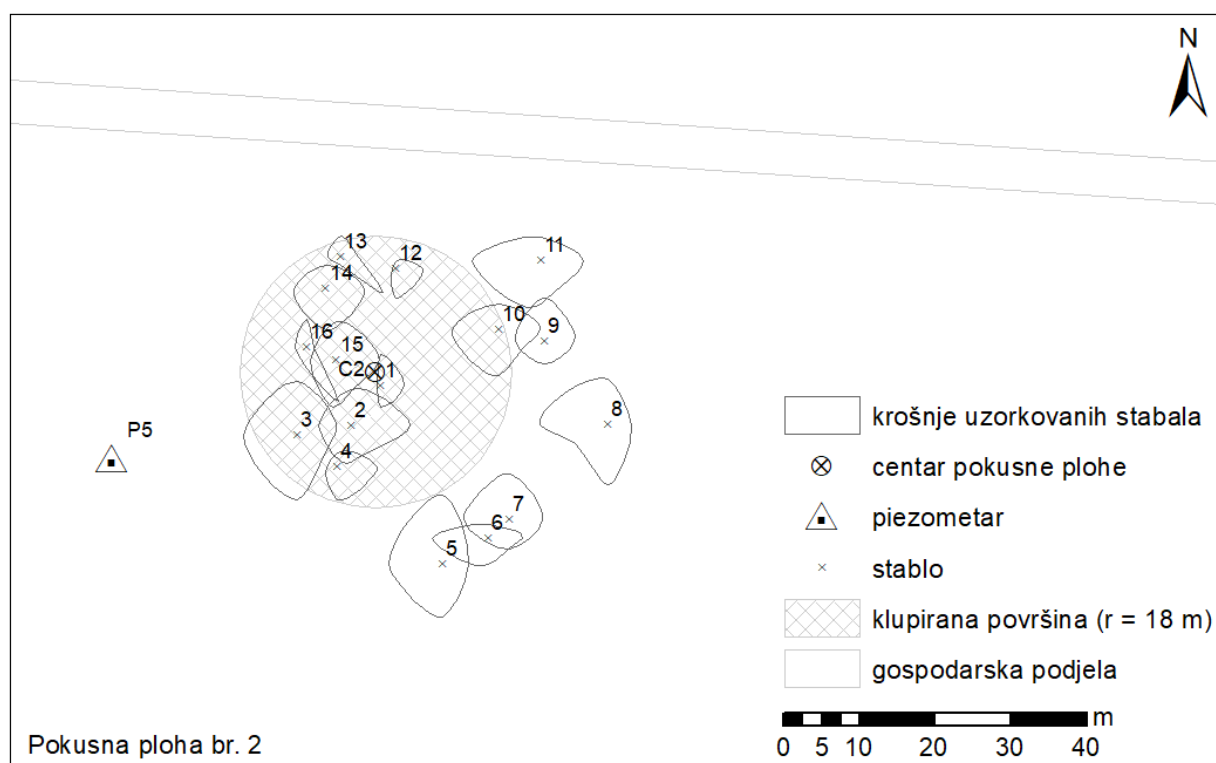
U veljači 2019. godine obavljeno je snimanje vertikalnih i horizontalnih dimenzija lužnjakovih stabala iz kojih su izvađeni izvrtci na 10 pokusnih ploha. Svakom lužnjakovom stablu izmjerena je visina do početka krošnje (visina baze prve žive grane u krošnji), totalna visina stabla i polumjeri horizontalne projekcije krošnje. Svakom je stablu izmjereno minimalno četiri polumjera horizontalne projekcije krošnje u četiri glavna smjera svijeta. U slučaju asimetričnih krošanja izmjeren je i dodatni polumjer horizontalne projekcije krošnje.

Visine baze krošnje i totalna visina stabla mjereni su ultrazvučnim visinomjerom Vertex III, a polumjeri krošanja mjereni su uz pomoć Suunto Tandema koji u sebi objedinjuje kompas (za određivanje horizontalnog smjera izmjere krošanja) i padomjer (za određivanje vertikale pada ruba horizontalne projekcije krošnje). i daljinomjera Vertex III.

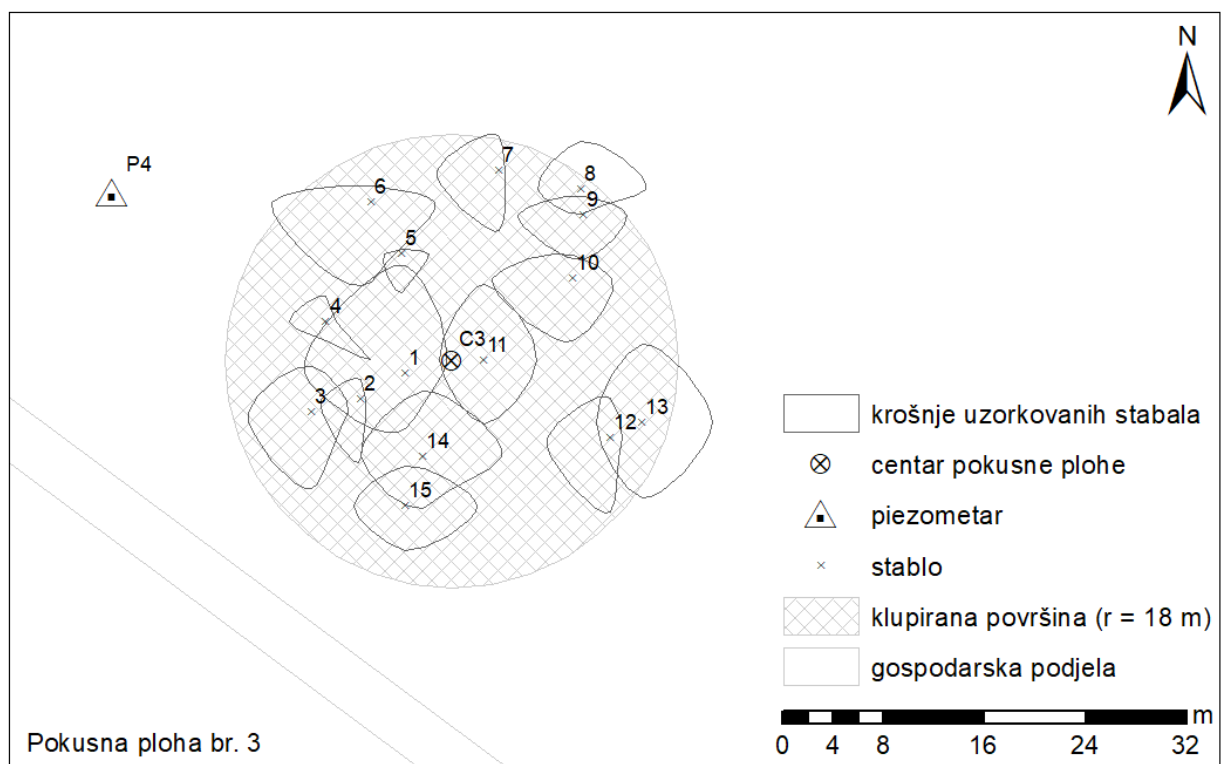
Iz izmjerenih polumjera krošanja u GIS okruženju izmjerene vrijednosti preračunate su u horizontalne projekcije krošanja svakog uzorkovanog lužnjakovog stabla. U nastavku se donose tlocrti deset pokusnih ploha s pozicijama središta pokusnih ploha, pozicijama uzorkovanih lužnjakovih stabala i tlocrtima horizontalnih projekcija njihovih krošanja.



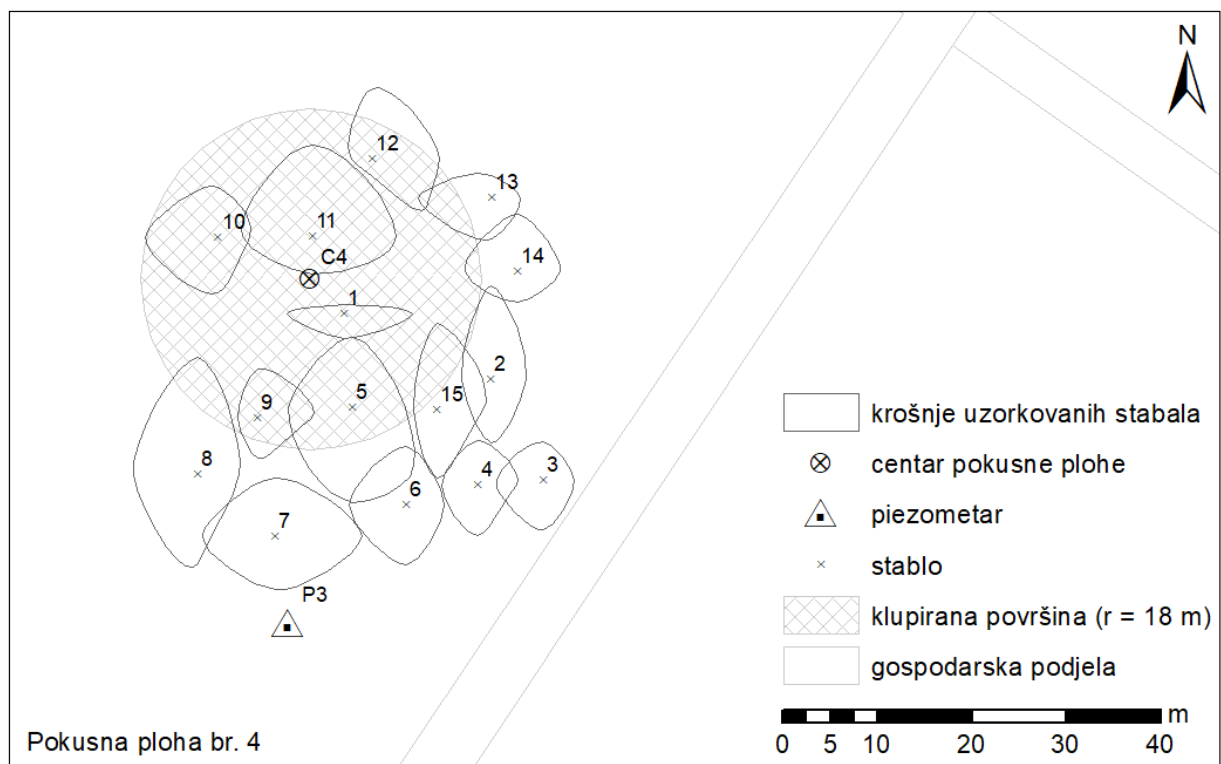
Slika 2-28 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 1



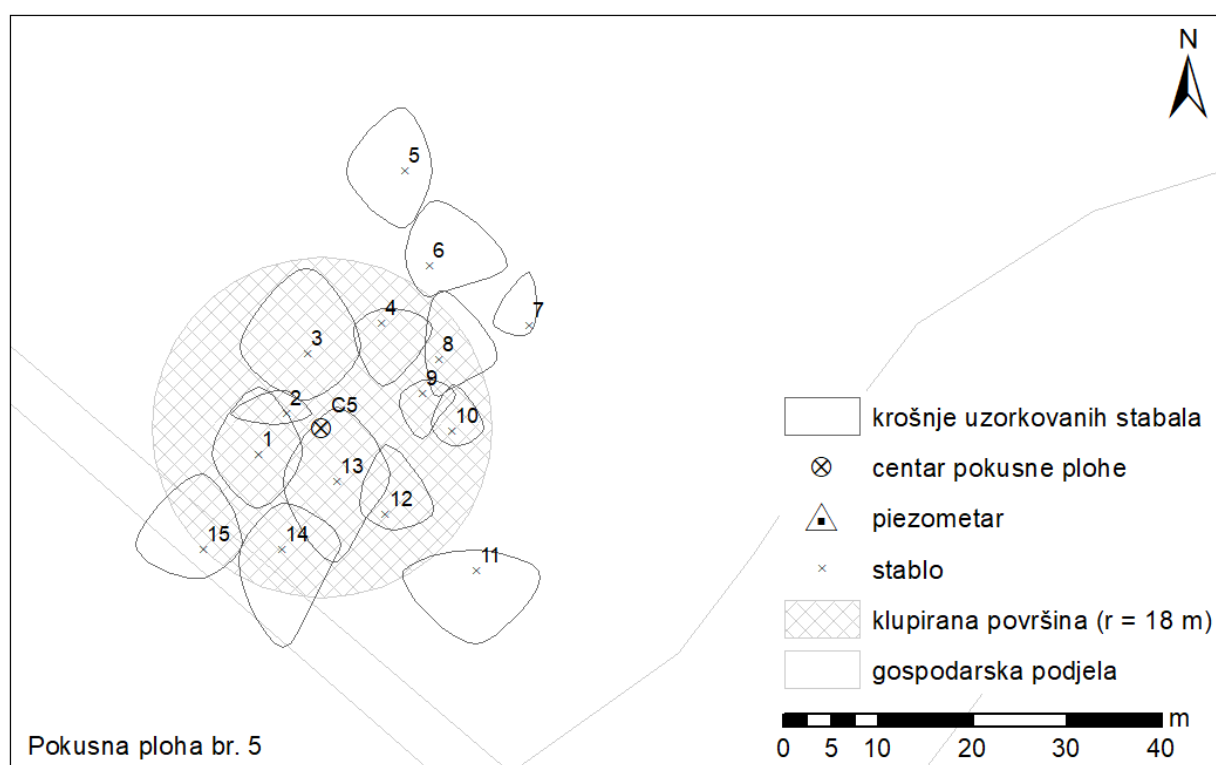
Slika 2-29 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 2



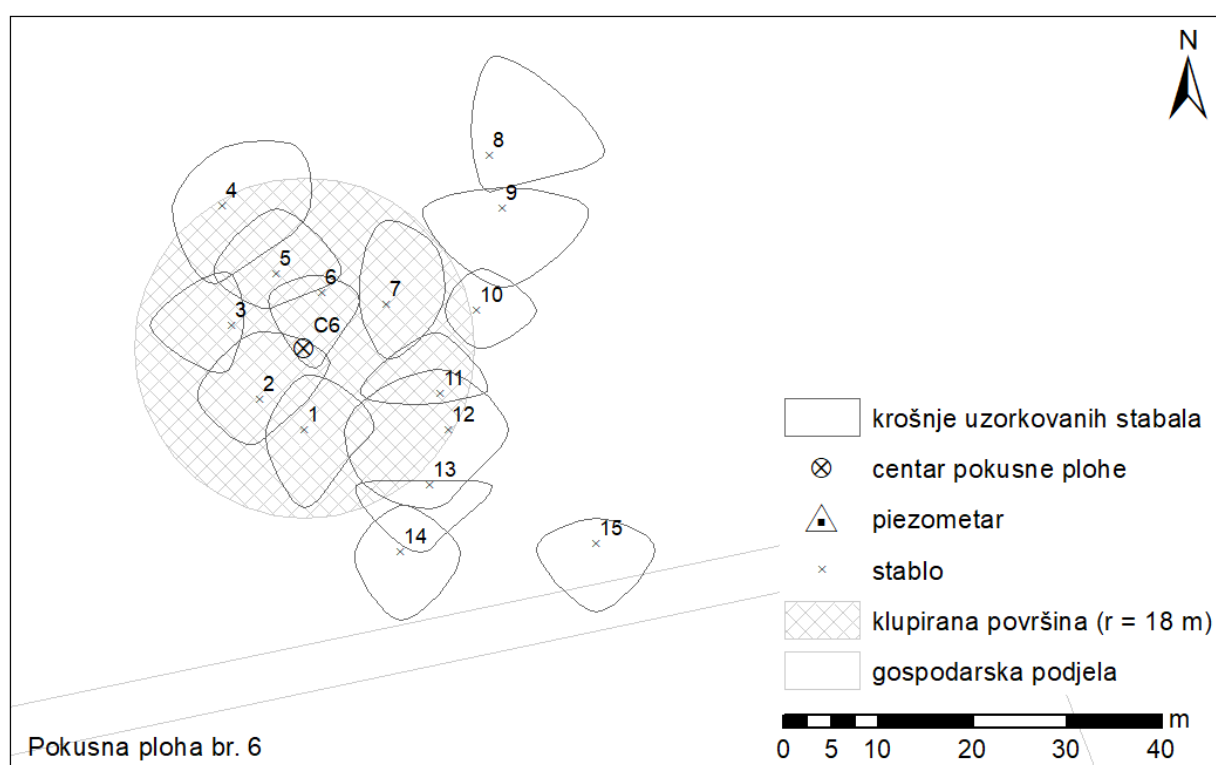
Slika 2-30 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lušnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 3



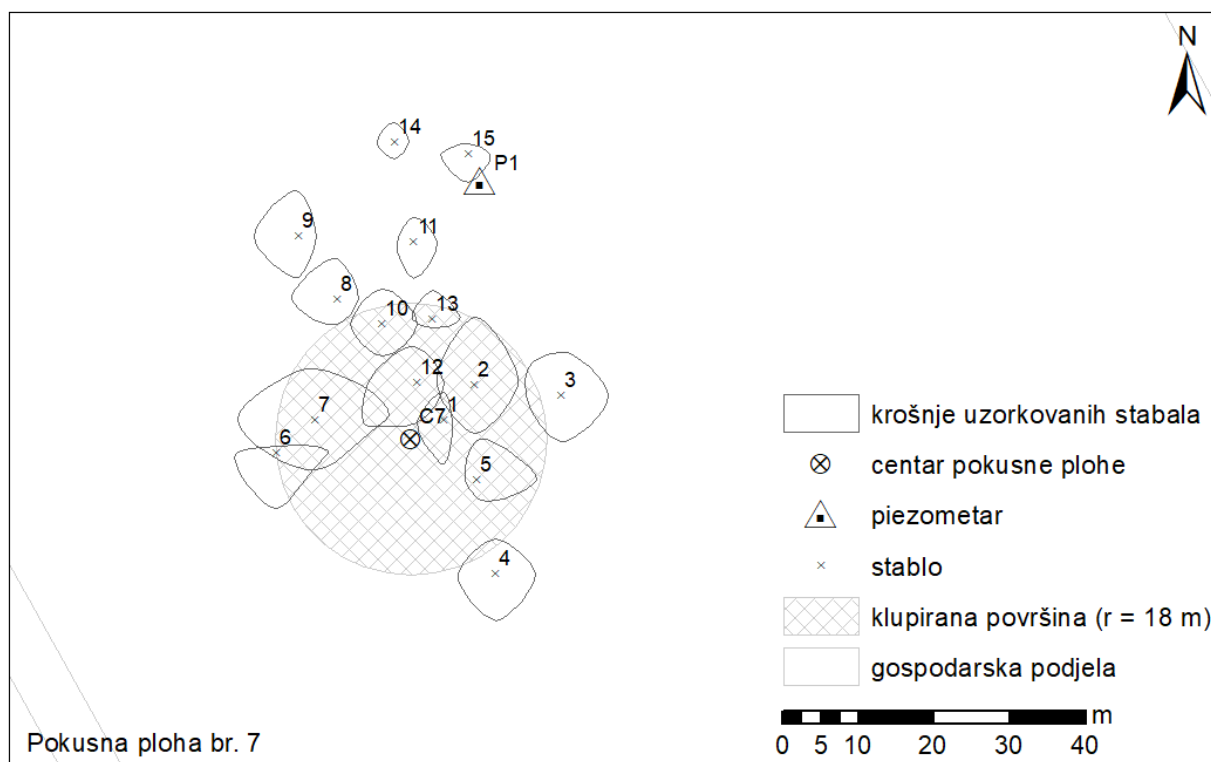
Slika 2-31 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lušnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 4



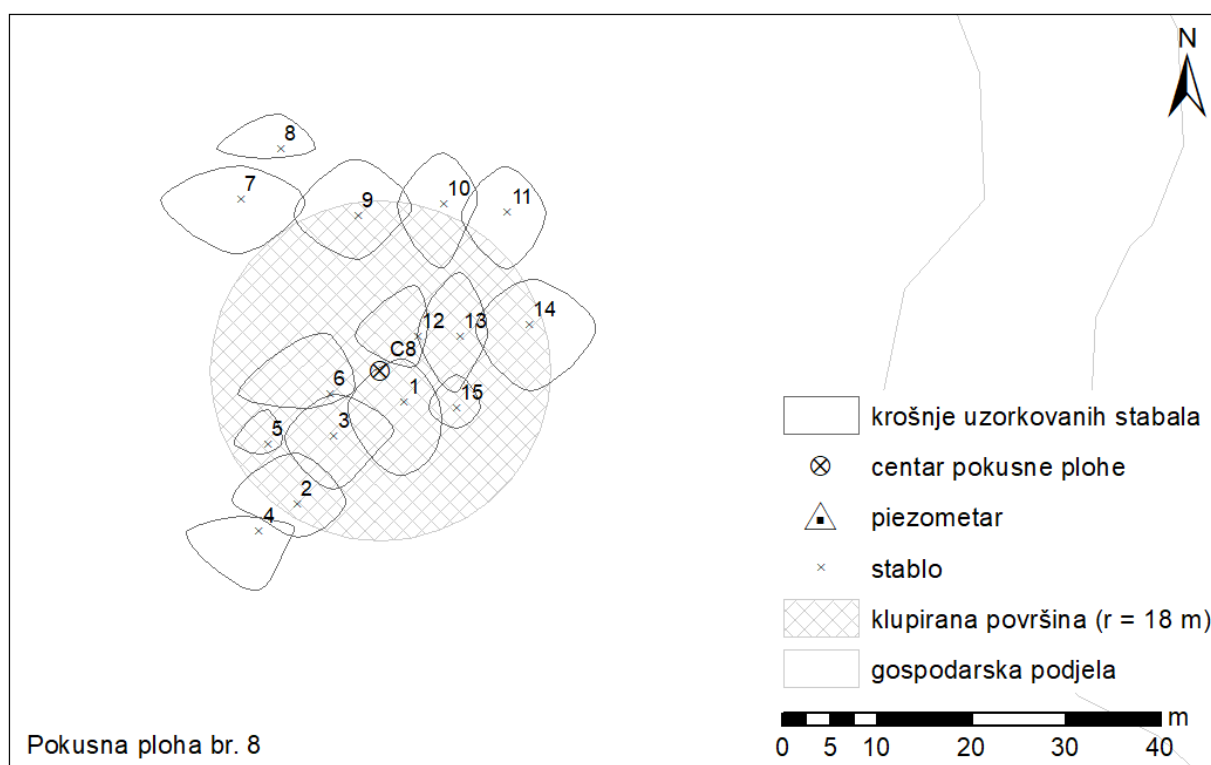
Slika 2-32 Tlocrti horizontalnih projekcija krošnja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 5



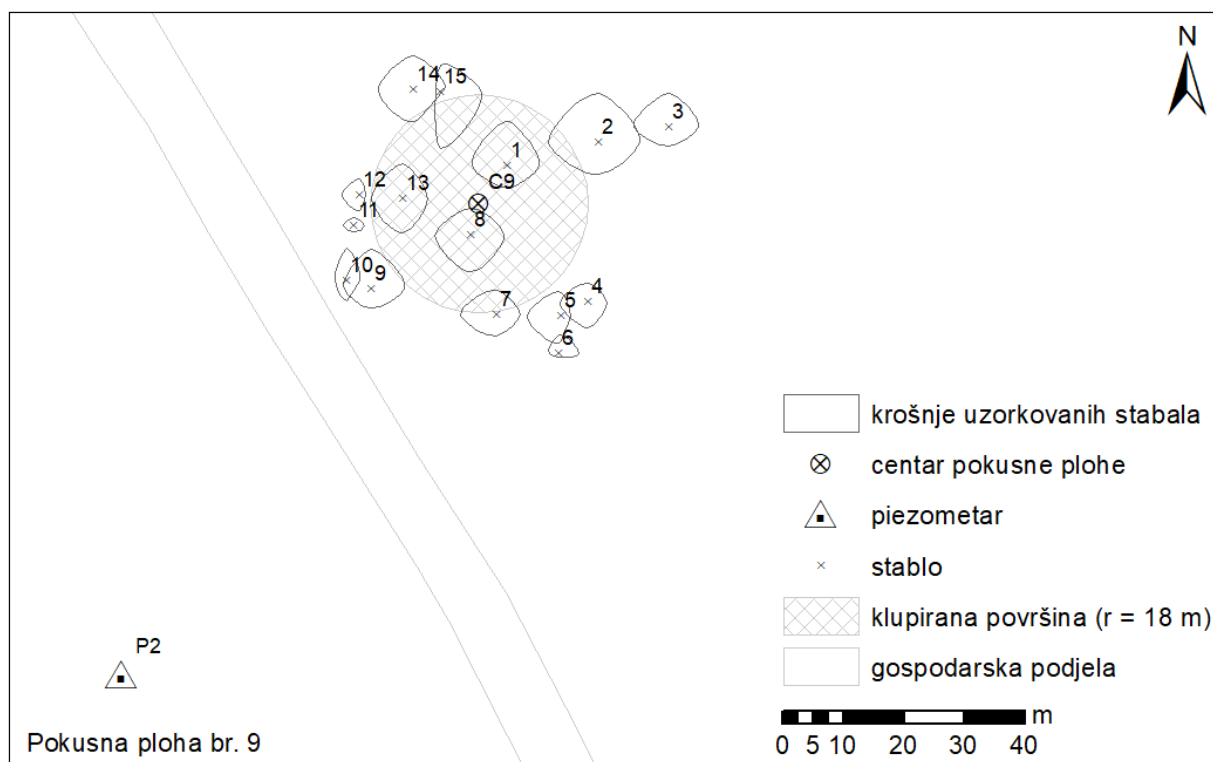
Slika 2-33 Tlocrti horizontalnih projekcija krošnja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 6



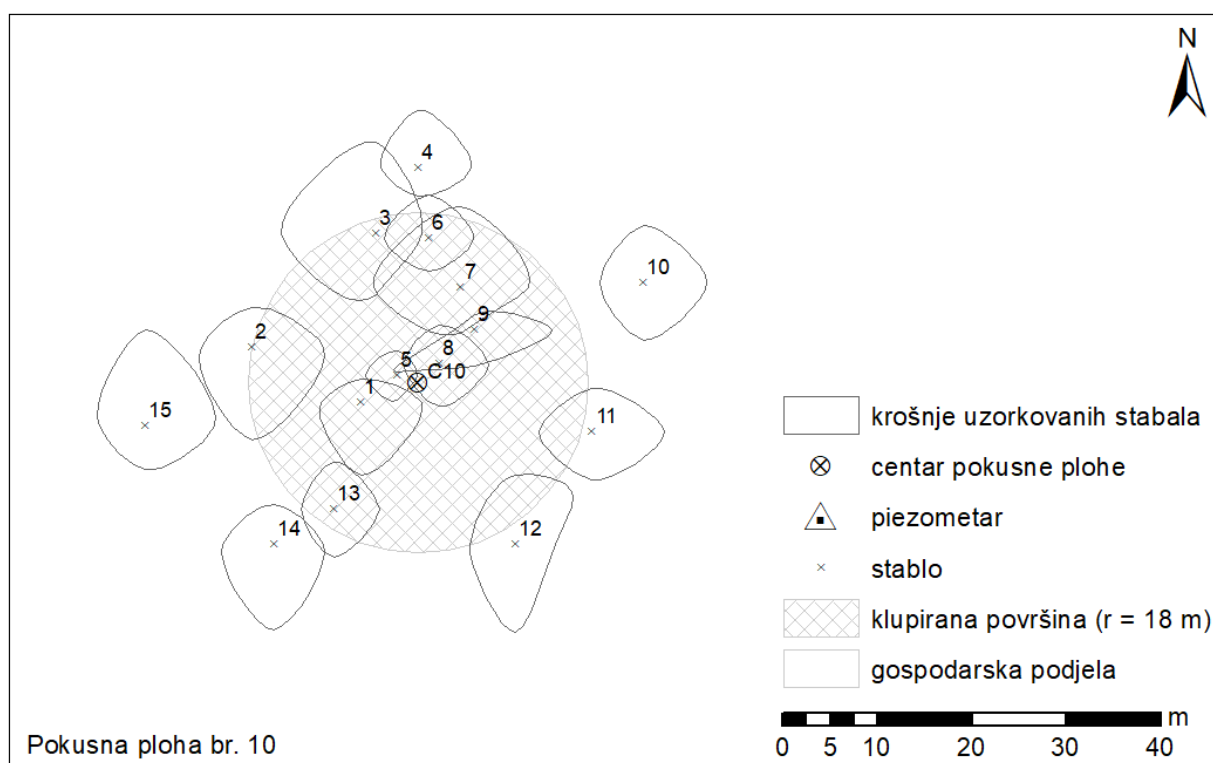
Slika 2-34 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 7



Slika 2-35 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 8



Slika 2-36 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 9

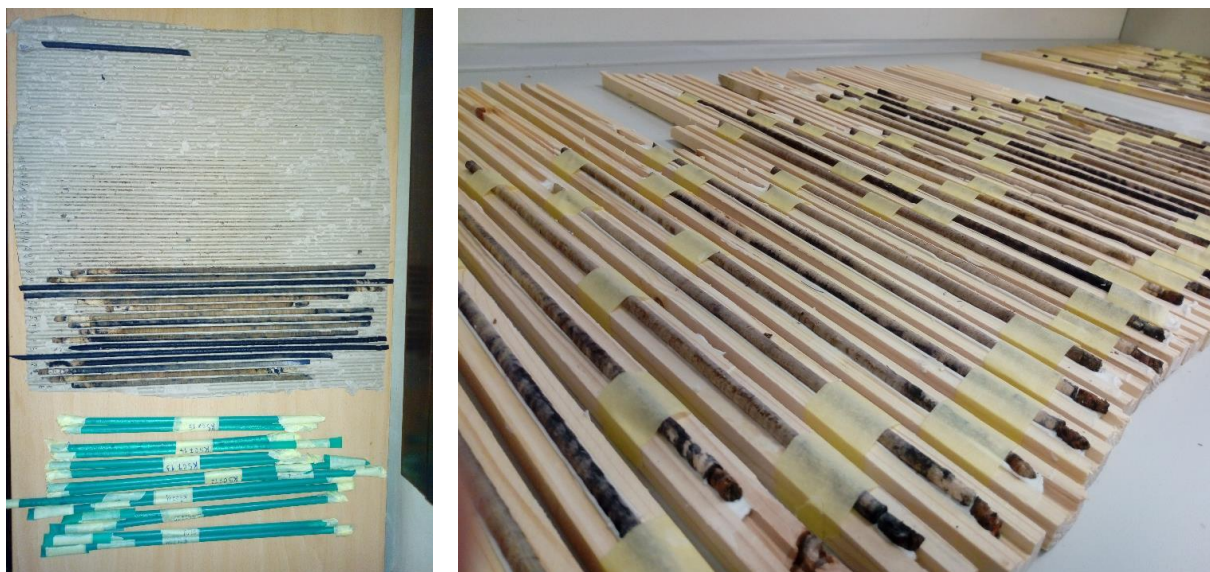


Slika 2-37 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 10

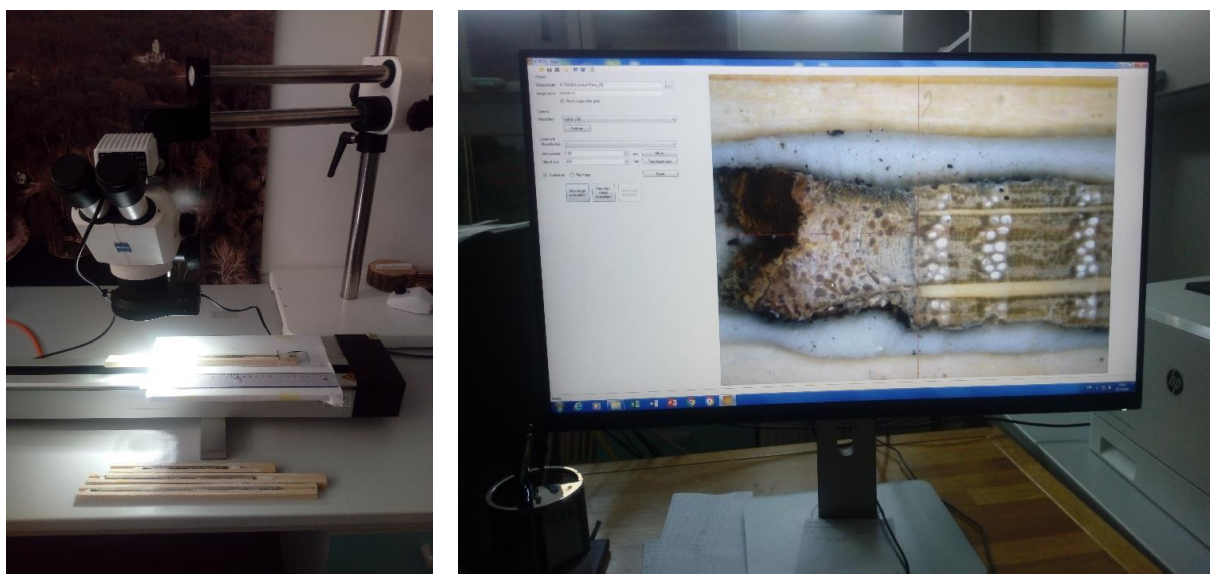
2.1.3 Prirast stabala hrasta lužnjaka

Uzimanje izvrtaka iz stabala hrasta lužnjaka na terenu opisano je u prethodnom poglavlju. Izvrtci su se na terenu pohranjivali u plastične slamčice iz kojih su nakon dolaska s terena stavljeni na sušenje (Slika 2-38, lijevi panel). Nakon sušenja izvrtci su zalijepljeni u drveni držače (Slika 2-38, desni panel) nakon

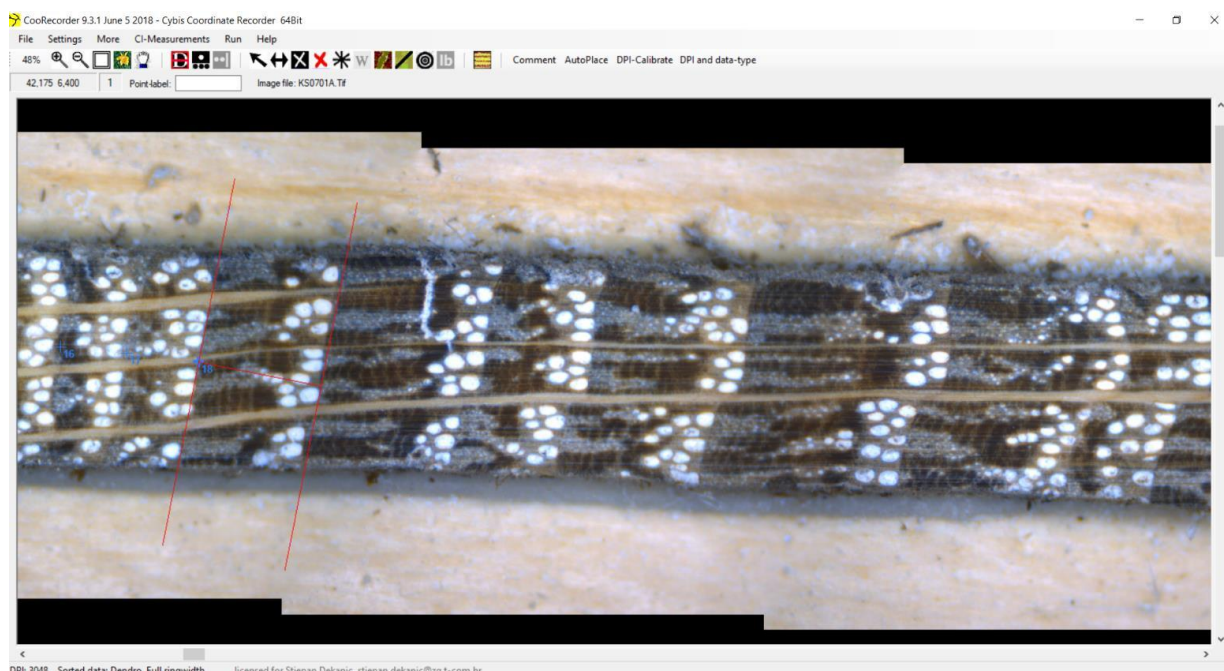
čega se pristupilo brušenju izvrtaka, tj. njihovoj pripremi za digitalizaciju pomoću sustava visoke razlučivosti Atrics 2 (Slika 2-39). Digitalizirane slike izvrtaka visoke razlučivosti unesene su u program CooRecorder 9.3.1. u kojemu su očitane širine godova te širine ranog i kasnog drva (Slika 2-40). U tijeku je sinkronizacija i statistička obrada očitanih izvrtaka i njihove statističke analize.



Slika 2-38 Sušenje izvrtaka na kartonskoj podlozi nakon dolaska s terena (lijevi panel) i osušeni izvrtci zalijepljeni u drvene držače i spremni za brušenje (desni panel)



Slika 2-39 Očitavanje obrušenih izvrtaka na ustavu za digitalizaciju visoke razlučivosti Atrics 2 u dendroekološkom laboratoriju Šumarskog fakulteta u Zagrebu



Slika 2-40 Očitavanje digitaliziranih izvrtaka u programskom paketu CoolRecorder9.3.1.

Nakon navedenih radova s prikupljenih izvrtcima, dobiveni su vremenski nizovi prirasta, odnosno širina godova (**Error! Reference source not found.**), iz čega su onda uz korištenje podataka o debljini kore svakog stabla izračunati vremenski nizovi prirasta temeljnice (Slika 2-52).

Prilikom obrade za svako stablo je izračunat prosječni vremenski niz iz dva uzorkovana izvrtka. Na razini plohe (sastojine) vremenski nizovi pojedinačnih stabala uprosječeni su kako bi se dobila prosječna godišnja vrijednost prirasta širine goda ili temeljnice. Tablica 2-7 donosi osnovne podatke o uzorkovanim stablima na postavljenim pokusnim ploham i obrađenim izvrtcima.

Tablica 2-7 Osnovni podaci o očitanim izvrtcima na pokusnim ploham

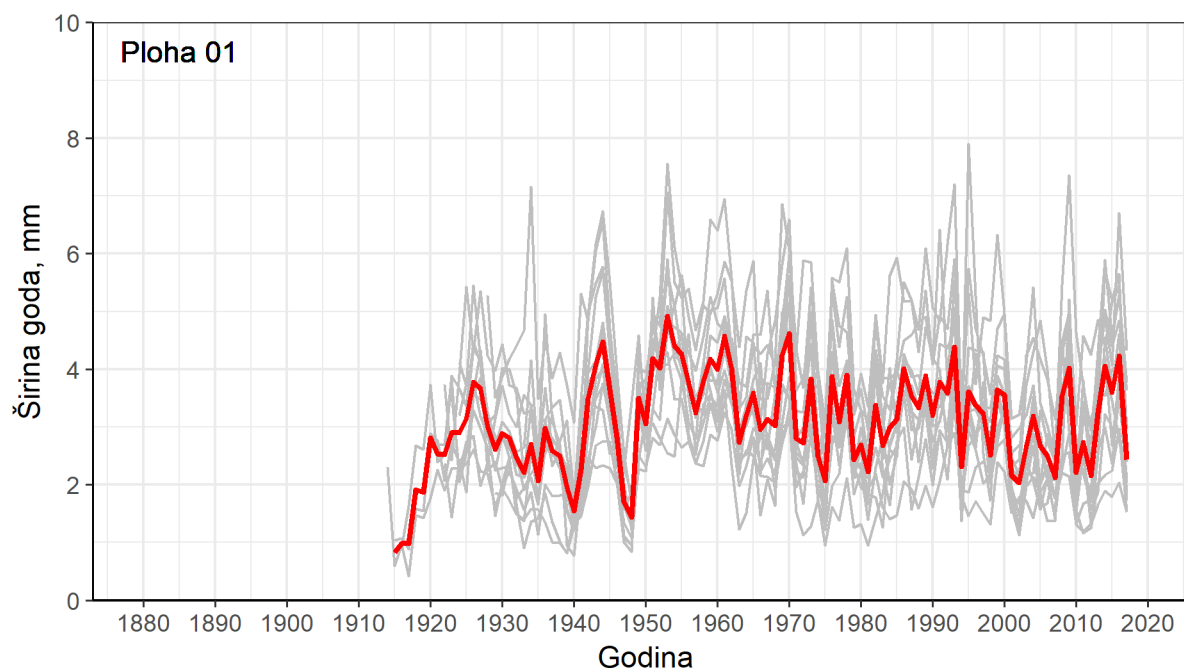
Ploha	Broj uzorkovanih stabala	Broj očitanih izvrtaka	Prosječna duljina izvrtka, godina godina	Vremenski raspon		Ukupni broj očitanih godova
				početna godina	raspon, godina	
1	15	28	91	1914	104	2558
2	16	31	75	1934	84	2351
3	15	30	58	1947	71	1756
4	15	30	116	1892	126	3487
5	15	30	120	1891	127	3595
6	15	30	119	1888	130	3567
7	15	29	95	1907	111	2752
8	15	30	98	1905	113	2945
9	15	28	63	1936	82	1768
10	15	30	99	1898	120	2983
Ukupno	151	296				27762

Na 10 pokusnih ploha ukupno je uzorkovano 151 stablo hrasta lužnjaka. Iz svakog stabla su uzeta dva izvrtka (302 izvrtka), a u konačnoj obradi prirasta iskorišteno je ukupno 296 izvrtaka. Šest izvrtaka nije bilo moguće iskoristiti uslijed oštećenja. Sve skupa, na očitanim izvrtcima izmjerena je širina 27.762 godišnja prirasta.

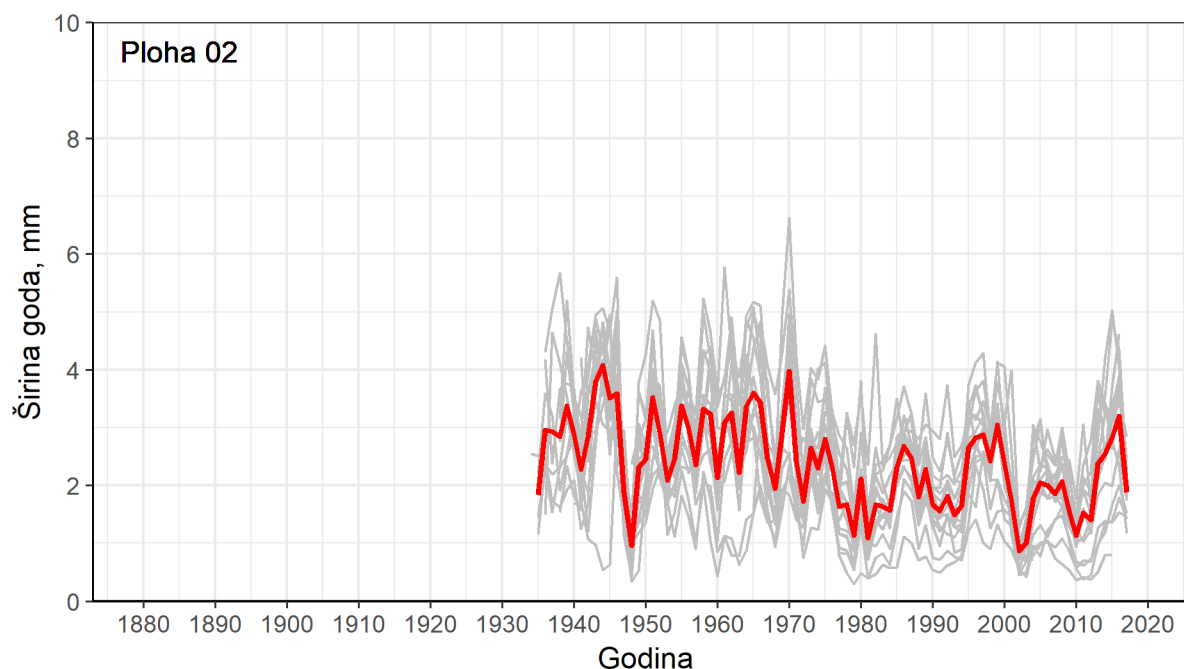
Vremenski raspon pokriven izvađenim izvrtcima je različit u sastojinama različite dobi. Najdulji vremenski niz prirasta dobiven je na plohi 6 koji obuhvaća 130 godina počevši sa 1888. godinom.

Zadnja godina u kojoj je analiziran prirast je 2017. budući su izvrtci uzorkovani tijekom vegetacije 2018. godine, pa taj god još nije bio u potpunosti formiran.

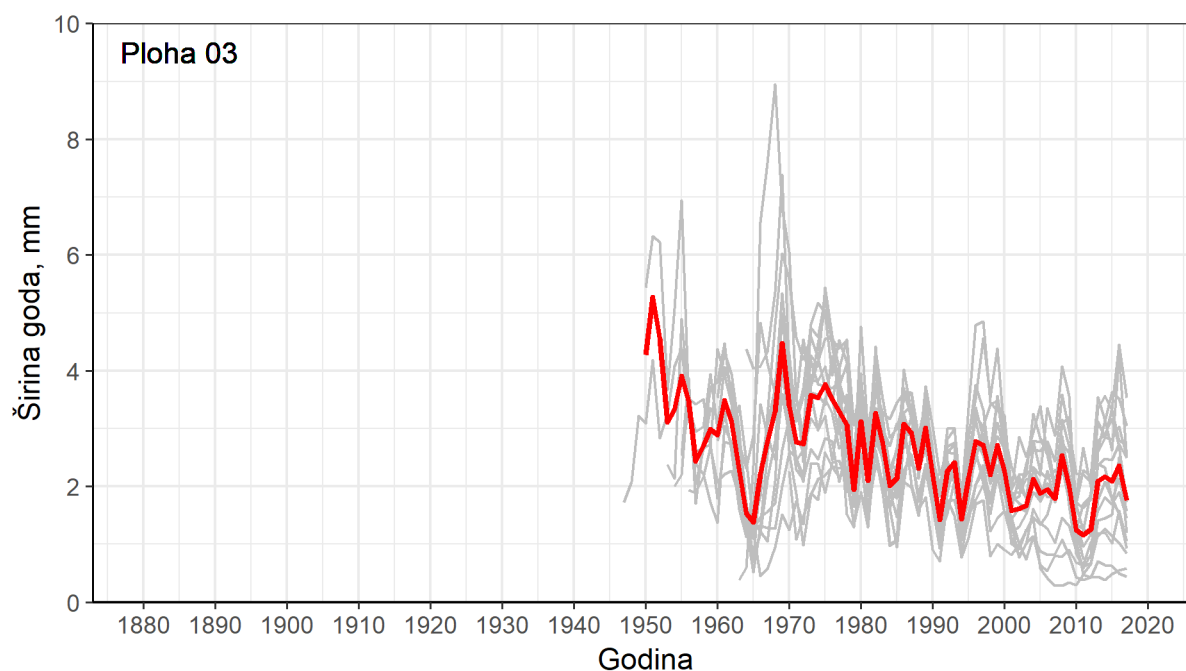
Na slikama u nastavku donose se prikazi pojedinačnih prirasta uzorkovanih stabala hrasta lužnjaka na svakoj plohi i prosječni prirast svih stabala na plohi.



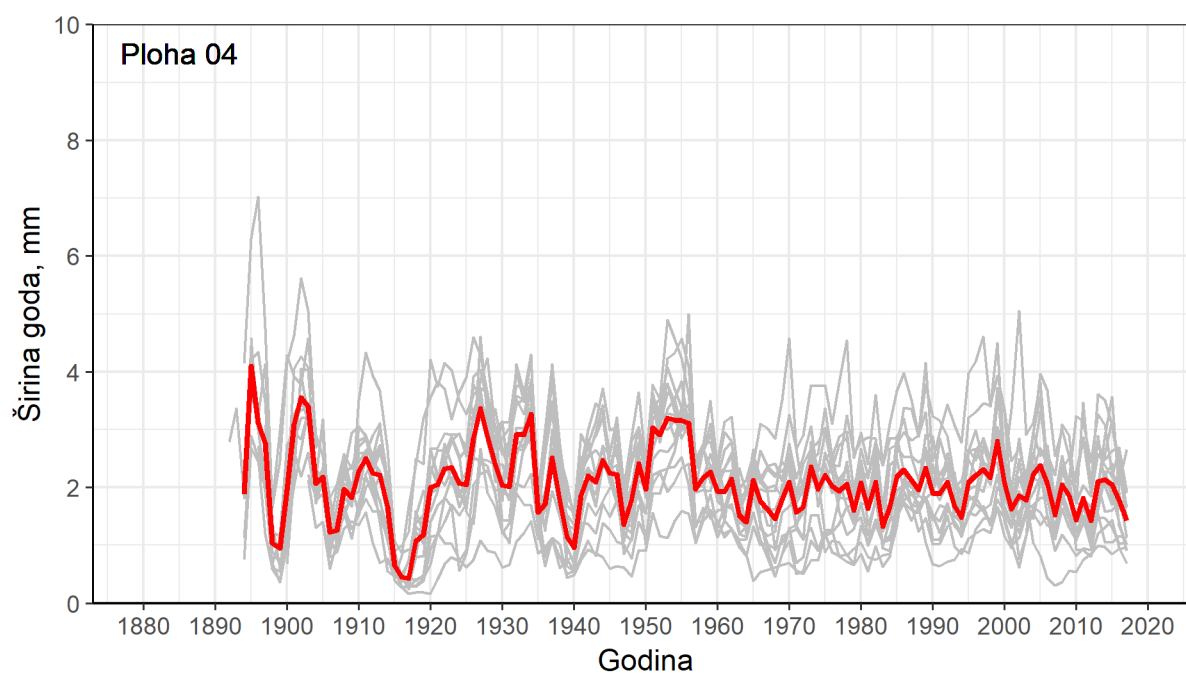
Slika 2-41 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 1 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



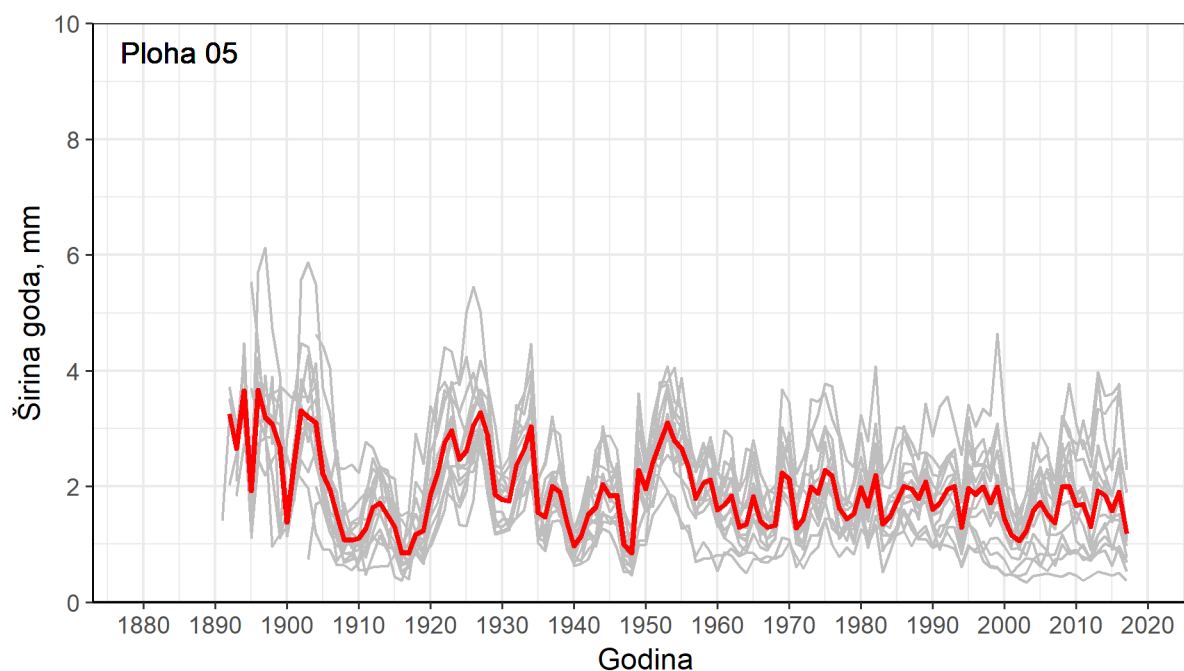
Slika 2-42 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 2 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



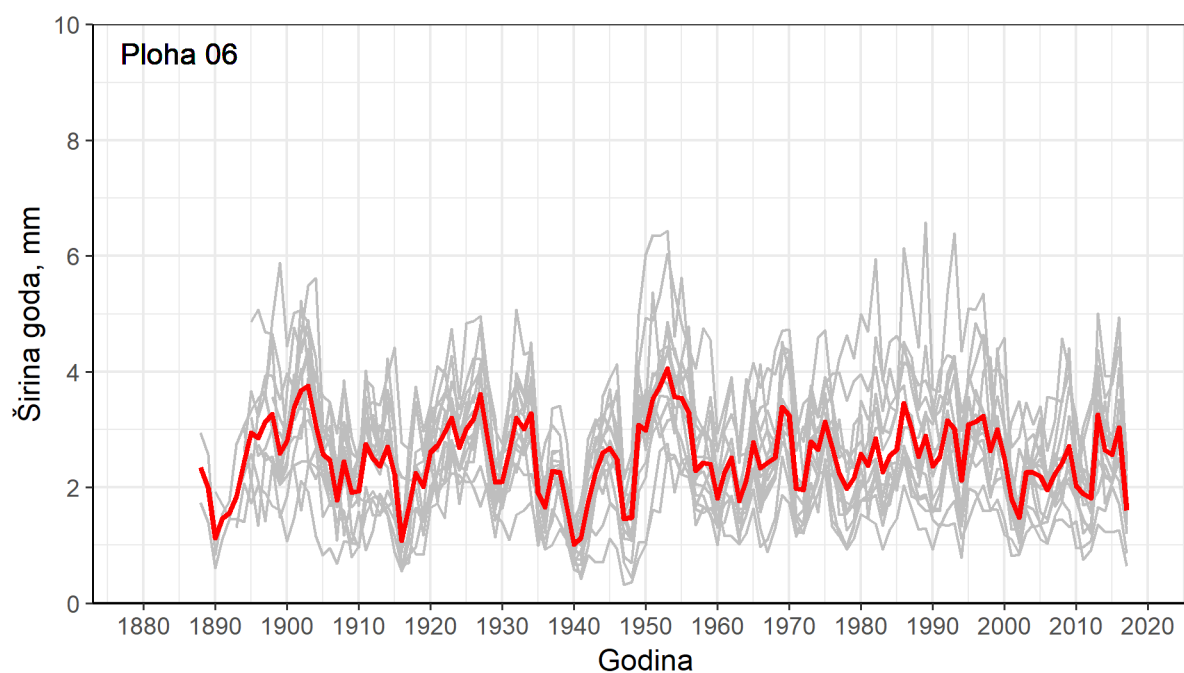
Slika 2-43 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 3 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



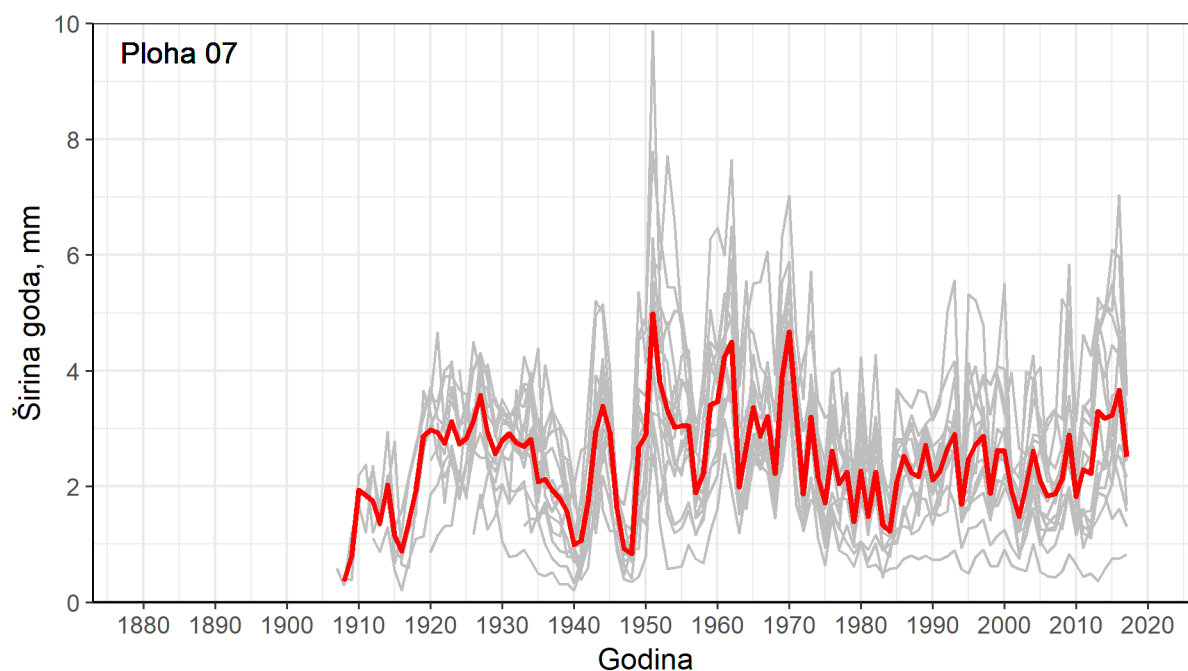
Slika 2-44 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 4 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



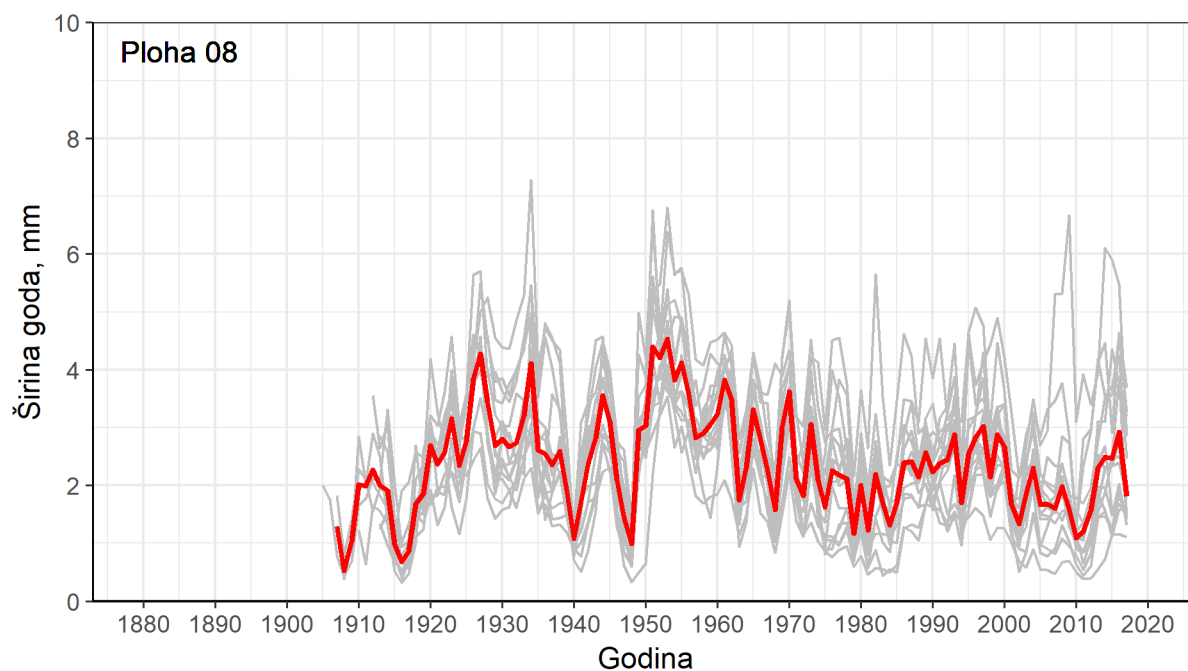
Slika 2-45 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 5 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



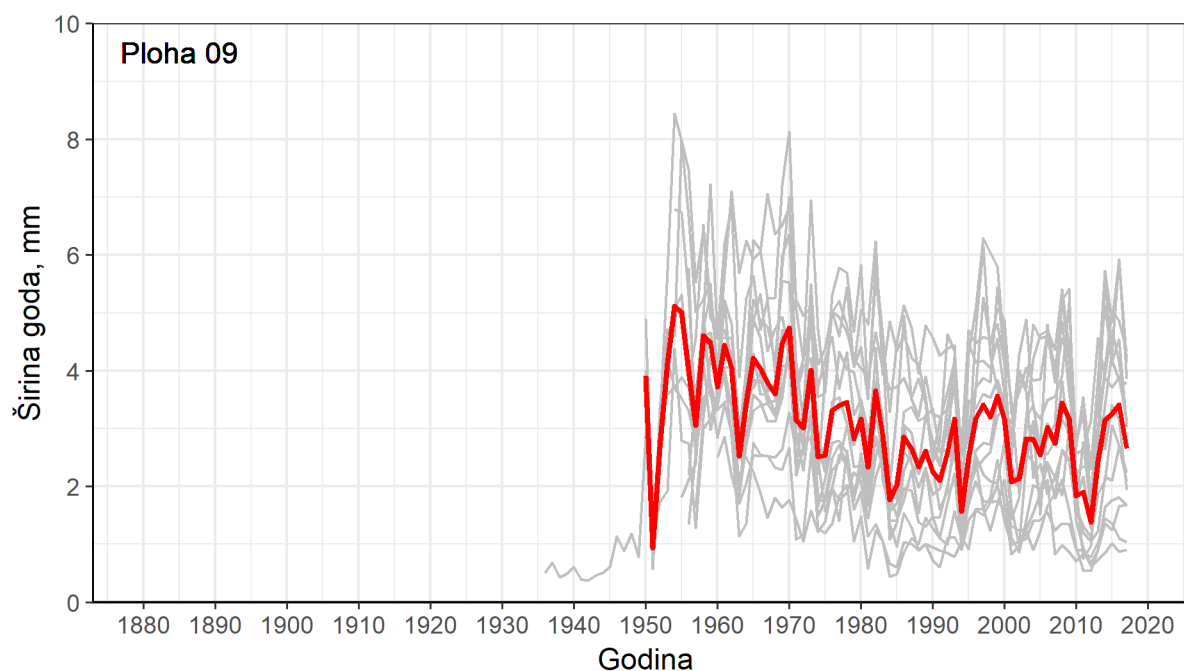
Slika 2-46 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 6 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



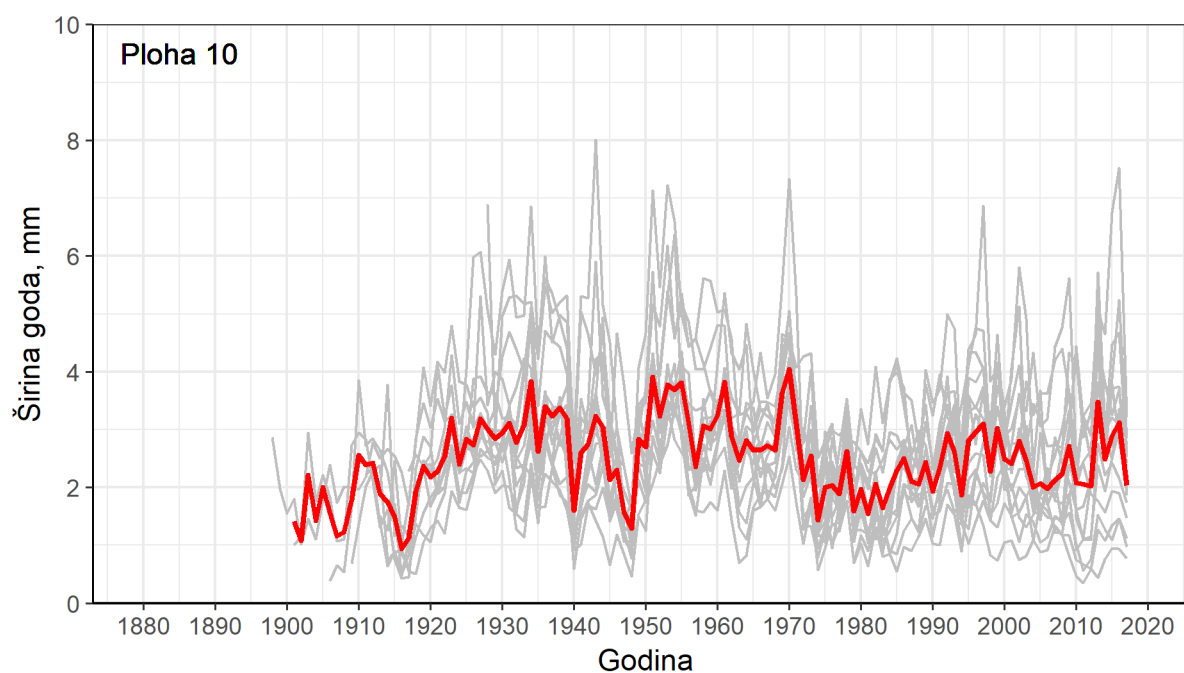
Slika 2-47 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 8 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



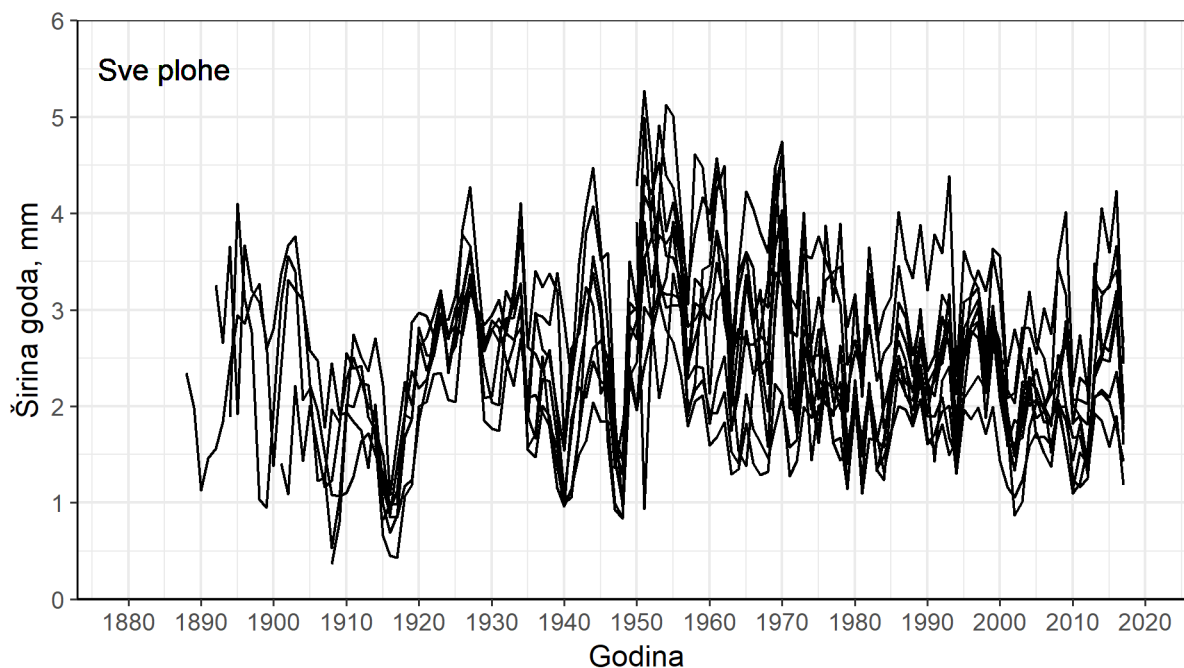
Slika 2-48 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 8 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



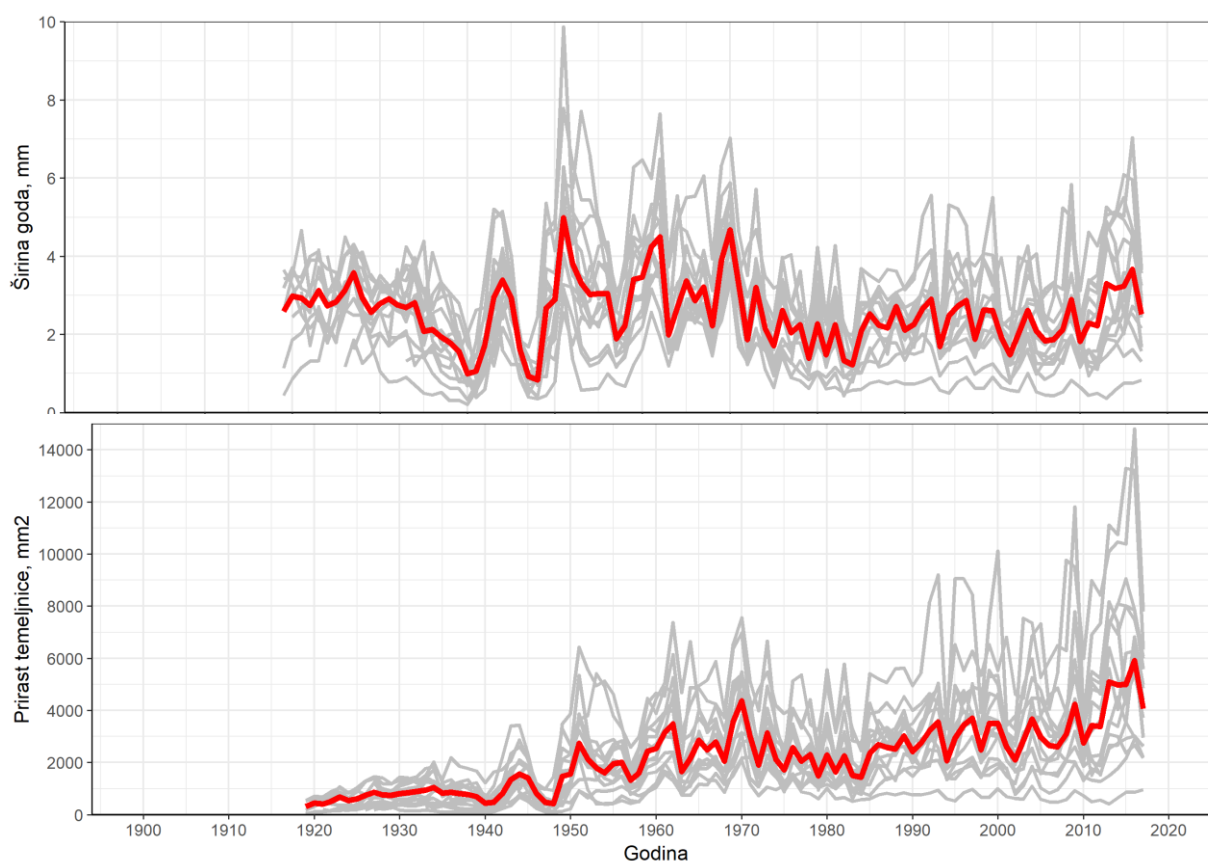
Slika 2-49 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 9 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



Slika 2-50 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 10 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).



Slika 2-51 Prosječni prirasti stabala hrasta lužnjaka za svih 10 pokusnih ploha.



Slika 2-52 Usporedba vremenskih nizova prirasta širine goda (gornji panel) i prirasta temeljnice (donji panel) uzorkovanih stabala hrasta lužnjaka na plohi 7 (sivom bojom su prikazana pojedinačna stabla, a crvenom linijom prosječna vrijednost)

2.2 Tla šumskih sastojina istraživanog područja

Unazad četiri desetljeća objavljeni su rezultati vrlo opsežnih pedoloških, šumsko-pedoloških, hidropedoloških i šumsko-ekoloških istraživanja koja se odnose na stojbine hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. Postoje vrlo brojni neobjavljeni elaborati i ekspertize koje su izrađene za razne namjene. U ovim

radovima, studijama, monografijama i elaboratima, autori redovito ističu da su u nizinama specifični hidrološki uvjeti dominantni pedogenetski činitelj, koji uz padaline uključuje dopunsko vlaženje tla slivenim vodama niz pristanke, poplavama koje se razlijevaju iz vodotoka i podzemnim vodama unutar pedosfere.

Prispjele vode u nizinskim predjelima izazivaju višak vode u aktivnom profilu tala, vrše kombinirano prekomjerno navlaživanje, uzrokuju hidromorfizam kroz procese redukcije, oksidoredukcije, anaerobiozisa uz pojavu karakterističnih morfokromatskih znakova u kojima prevladava sivo-zelenkasto-plavkasta boja. Tako se u raznim kombinacijama glinastog i ilovastog te močvarnog eolskog prapora stvaraju raznoliki tipovi vodnog režima i tipovi tala. Pri tom je razvedenost nizinskog mikroreljefa, koji diferencira neplavljene mikro-mezo uzvisine (grede) od povremeno plavljenih ili neplavljenih niza, odlučujuća za formiranje suših i vlažnijih stobina zbog preraspodjele prispjelih voda, a time i različite šumske proizvodnosti tala za hrast lužnjak.

U tako prirodno usmjerenim pravcima pedogeneze razvila su se hidromorfna tla među kojima je u šumama hrasta lužnjaka najrasprostranjeniji tip močvarno euglejno podijeljeno prema vrsti vode koja prevlađuje tlo na tri podtipa: hipoglejno (sklop horizonata ispod šumske prostirke je Aa-Gso-Gr) sa zaglejavanjem pod utjecajem visoke podzemne vode, epiglejno (Aa-Gr-Gso) zaglejavanje površinskim vodama i amfiglejno (Aa-Gr-Gso-Gr) zaglejavanje uvjetovano kombinacijom podzemnih i površinskih voda. Manje je u hrastovim šumama zastupljen tip semiglej (livadno tlo, A-(B)v- C-G ili A-C-G) prevlađivan podzemnom vodom dubljom od 100 cm. U tipu humoglej (ritsku crnicu) podzemna voda vrši prevlađivanje tla jače kolebajuća podzemna voda, a pseudoglej-glej također prevlađuje u nižem dijelu ekološkog profila podzemna voda na prijelazima iz nize spram mikro-mezo uzvisinama ili su to plitke udubine na gredama. Svi navedeni taksoni nalaze se u dosegu poplava u rasponu često do vrlo rijetko plavljeni.

Izvan dosega poplava na izrazitim gredama unutar lužnjakovih šuma ili na obodnim pleistocenskim terasama razvila su se od hidromorfni tala pseudogleji, a od automorfni luvisoli i eutrična smeđa tla. U suhoj klimi prapornih ravnjaka pseudoglej je slabo izražen (svjež i topla pedoklima).

Za kemizam euglejnih tala u lužnjakovim stobinama karakteristična je u gornjim horizontima neutralna do slabo kisela reakcija, a porastom dubine u kvartarne matične nanose raste i pH prema slabo alkalnoj i alkalnoj. Za tla na močvarnom praporu aktivni dio euglejnih tala je slabo kisele do neutralne pH da bi između 80 ili 120 cm prešao dosta naglo u slabo alkalnu i alkalnu s kalcijevim karbonatom. Veći sadržaj humusa močvarnog tipa koncentriran je u dosta debelim humusno-akumulativnim i prijelaznim horizontima. Na pseudoglejnim gredama tlo je jako kisele i kisele pH, a humusno akumulativni horizont je vrlo tanak.

Stanje prehrane u lužnjakovim šumama sa suviškom vode u tlu tijekom vegetacije nepovoljno se odražava na prehranu lužnjaka dušikom zbog slabije mikrobiološke aktivnosti. Odvodnja pospješuje mineralizaciju organske tvari i omogućuje lužnjaku bolju prehranu dušikom, ali istodobno smanjuje se organska tvar u tlu. Onečišćene poplavne vode unose u tla lužnjakovih nizinskih šuma teške kovine i druge polutante.

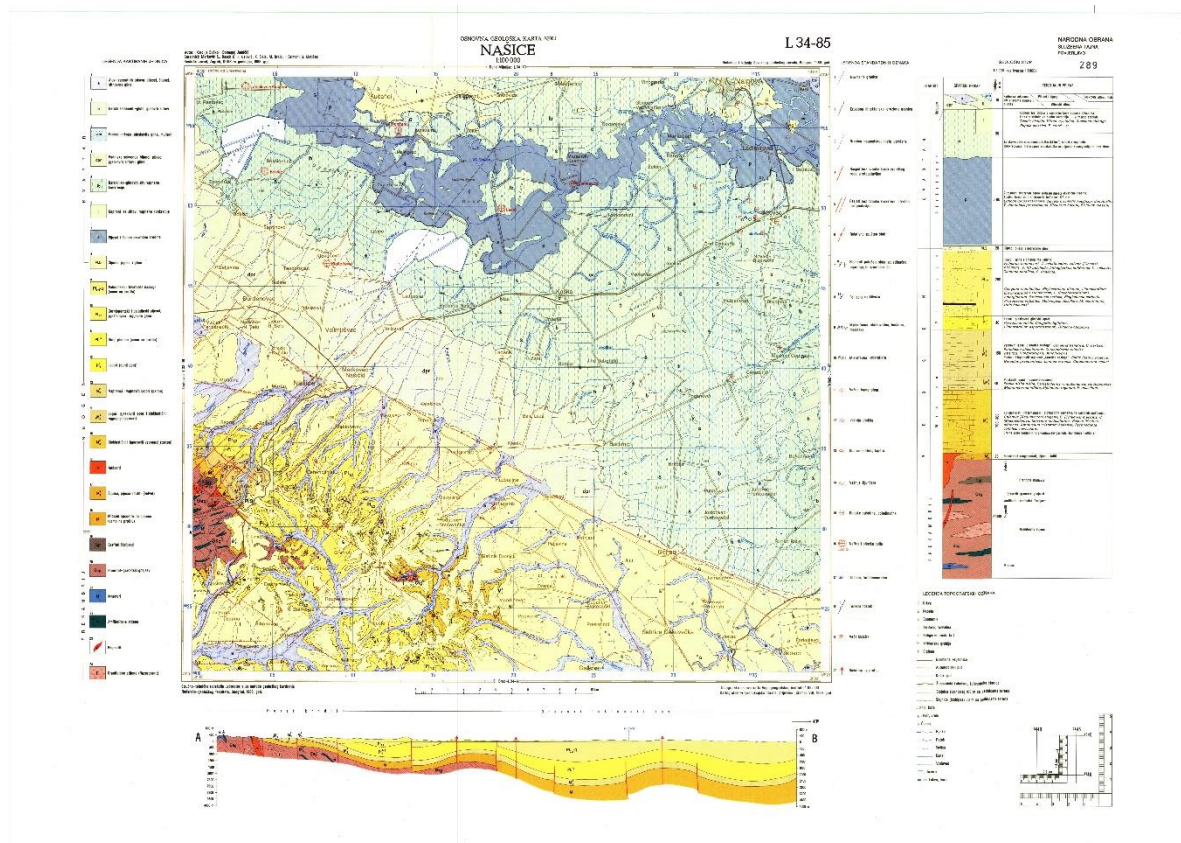
Pod utjecajem vodotehničkih zahvata u funkciji obrane od poplava i odvodnje površina dolazi do promjene vodnih režima zbog isušivanja tala zbog redukcije poplava i sniženja razine podzemnih voda (geološki termin regresije). Prirodni pedotaksoni prelaze u djelomično odvodnjena (hidromeliorirana) tla na velikim prostorima. Odvodnjavanje agrarnih i šumskih tala teklo je postupno kroz posljednjih stotinjak godina, a zahvatilo je gotovo sve nizinske šume sjeverne Hrvatske uz popratna sušenja stabala i sastojina i promjene sukcesije šumskih zajednica od vlažnijih ka sušima. Osim isušivanja lokalno su prisutna zamočvarivanja uslijed kazetiranja površina cestama i nasipima. Rješenja se naziru i izvan mjera šumarske struke u koncepciji integralnog gospodarenja vodnim bogatstvima kroz usklađivanje interesa korisnika prostora. Osobito je značajno da se propagiraju obnove prirodnih vodotoka i vodnih ekosustava.

U istočnoj Slavoniji prema edafskom proizvodnom nizu, hrast lužnjak na lesiviranom i semiglejnem tlu na pretaloženom i zamočvarenom praporu pokazuje najnižu proizvodnost, **a**

Regionalno promatrano hrast lužnjak postiže veću proizvodnost na močvarnim euglejnim tlima lakšeg mehaničkog sastava povrh pretaloženog močvarnog prapora našičkih nizinskih šuma. U regionalnom pogledu za uspijevanje hrasta lužnjaka osobito je značajan odnos podneblja, podzemne vode i vodnofizikalnih osobina tla.

2.2.1 Litološke i pedološke karakteristike područja šumarije Koška

Prema geološkim podacima na području Koške pretežno je zastupljen gornjo pleistocenski močvarni i kontinentalni les te holocenske proluvijalne naslage.



Slika 2-53 Geološka karta područja Našice i Koške

2.2.2 Terensko uzorkovanje tala

Na području šumarije Koška na terenu je obrađeno ukupno 6 pedoloških profila. Profili su postavljeni neposredno uz lokacije piezometarskih postaja. Pedološki profili su kopani do dubine od 180 cm i širine 80-100 cm sa stepenicama za ulaz. Terensko uzorkovanje obavljeno je u drugom tjednu mjeseca **rujna** (Slika 2-54 i Slika 2-55). Tablica 2-8 prikazuje osnovne podatke obrađenih pedoloških profila.

Tablica 2-8 Osnovni podaci o obrađenim pedološkim profilima

Profil (Piezo) broj	Gospodarska jedinica* i odsjek	Nadm. Visina m	Vegetacija	GPS koordinate	
				E	N
1	BBL - 24a	92,6	Hrast i grab	5042853	6527207
2	BBL - 16a	92,6	Hrast i grab	5043149	6527131
3	LG - 114 a	94,5	Hrast i grab	5048525	6523427
4	LG - 90a	93,1	Hrast i grab	5050145	6522235
5	LG - 3a	94,4	Hrast i grab	5051979	6514393
6 (21)	BBL - 42c	90,3	Hrast i grab	5039945	6532438

* BBL = Budigošće-Breza-Lugovi; LG = Lacić-Gložđe



Slika 2-54 Terensko uzorkovanje pedološke jame



Slika 2-55 Terensko uzorkovanje pedoloških jama

Tipove tala na pokusnim plohama prikazuje Tablica 2-9.

Tablica 2-9 Osnovni podaci o obrađenim pedološkim profilima

Oznaka pedološkog profila	Oznaka piezometarske postaje	Oznaka pokusne plohe	Gospodarska jedinica* i odsjek	Tip tla
1	1	7	BBL - 24a	Hipoglej
2	2	9	BBL - 15a	Pseudoglej-Glej
3	3	4	LG - 114 a	Pseudoglej
4	4	3	LG - 90a	Pseudoglej
5	5	2	LG - 3a	Hipoglej/Pseudoglej-glej
6	21	1	BBL – 42a	Humoglej

* BBL = Budigošće-Breza-Lugovi; LG = Lacić-Gložđe

2.2.3 Vrste tala istraživanog područja

Utvrđeno je 4 glavna tipa tala sa svojim podtipovima, varijetetima i formama. Pedosistematska pripadnost utvrđena je prema važećoj klasifikaciji (Husnjak 2013, Pernar 2017). Popis pedosistematskih jedinica prikazuje Tablica 2-10. Sva tla pripadaju u klasu hidromorfni tala. Za napomenuti je kako je ovo privremena podjela tala koja je nađena na području piezometrijskih postaja.

Tablica 2-10 Popis pedosistematskih jedinica

Tip	Podtip	Varijetet	Forma
Pseudoglej	Ravničarski (na zaravni)	Srednje duboki Duboki	Eutrični
Pseudoglej-glejno			
Močvarno glejno tlo (Euglej)	Hipoglejno	Mineralno	Karbonatno
Ritska Crnica (Humoglej)	Karbonatni	Slabo zaslanjeni	

Pseudoglej

Karakterizira prekomjerno vlaženje u dijelu profila ili u čitavom tlu. Prekomjernim vlaženjem smatramo stanje kad su sve pore ispunjene vodom koja stagnira ili se sporo kreće uslijed čega dolazi do redukcije spojeva željeza, mangana i sumpora i procesa oglejavanja. to se događa kada atmosferilije nailaze na nepropusni sloj u tlu iznad kojeg se akumulira “zastojna” voda ili kad se u tlo infiltriraju alohtone površinske ili podzemne vode ispunjavajući sve pore.

Sklop profila **A-Eg-Bg-C**. Supstrati na kojima se pseudoglej može stvarati moraju biti diferencirani po teksturi tako da se ispod relativno propustljivog površinskog sloja za vodu javlja nepropustljiv sloj. Pseudoglej karakterizira izmjenu vlažnog i suhog razdoblja.



Slika 2-56 Pseudoglej ravničarski – Profil br 3



Slika 2-57 Pseudoglej ravničarski – profil br 4

Pseudoglej-glejno tlo

Karakterizira ga istovremeno pseudooglejavanje i hipooglejavanje. Ima ovu građu profila: **A-Eg-Bg-G**. Po ekološkim svojstvima i kapacitetu plodnosti čini prijelaz između pseudogleja i močvarnih glejnih tala.



Slika 2-58 Pseudoglej-Glej – Profil br 2



Slika 2-59 Pseudoglej-Glej – profil br 5

Močvarno glejno tlo (Euglej, Hipoglej (Hypoglej) – (HG)

Sklop profila **A-Gso-Gr-G**. Hipogleji su vezani za reljefne depresije u kojima se nalaze deblji slojevi podzemne vode čija razina pokazuje malo kolebanje. Osnovno je obilježje da se podzemna voda nalazi na tako maloj dubini da je čitav profil utjecan anaerobnim procesima (razina podzemne vode je obično iznad 80 cm).

Ritska crnica (humoglej)

Sklop profila **Aa-Gso-G**. Ritska crnica zauzima pretežno priterasni dio poloja i depresije na prvoj na polojnoj terasi gdje se također osjeća kolebanje razine podzemne vode. Supstrat je ilovasti do glinasti riječni nanos. Amplituda kolebanja razine podzemne vode je vrlo velika od površine do 150 cm i više. Gso horizont leži ispod humusnog horizonta. Uz proces oglejavanja mogući su i procesi zaslanjivanja i alkalizacije. Hidromolični horizont ima debljinu 30-70 cm i sadrži 3-6 % humusa. Ritske su crnice pretežno glinaste (30-40 %) i stoga imaju slabu filtracijsku sposobnost.



Slika 2-60 Močvarno glejno, Euglej, hipoglej- Profil br 1



Slika 2-61 Ritska crnica-Humoglej – Profil br 6

Kod pedološkog profila br 1 uočen je diskontinuitet na dubini 70 do 90 cm. Unutar toga prostire se jaki karbonatni sloj do kojeg je nekada stagnirala podzemna voda. Za pretpostaviti je kako podzemna voda ovdje, (kao i na svim profilima), ima sve manje utjecaja na genezu tala te se ona polako usmjeravaju prema suhljim (terestičkim) tipovima tala. Na profilima 3 i 4 tlo je vlaženo samo oborinskim vodama. Podzemna voda je negdje dublje. To su ujedno i najsušta tla.

Sva tla imaju na određenoj dubini pojavu karbonata koji su se nekada ispirali do granice podzemne vode. Zanimljivost je profil br 6 gdje je nađena ritska crnica ili Humoglej. Oscilacija vode u tom dijelu tla trebala bi biti učestalija. Mišljenje je da je to u novije vrijeme izostalo. Na profilima 4 i 5 prisutna je pojava pijeska na dubini od 150 cm. Pojava pijeska je vezana uz nekadašnja turbulentna kretanja vode i nanošenja pijeska u prošlosti. Kroz taj horizont moguć je brz dotok bočne vode s obližnjih terena. Tla na istraživanoj površini dalje će se razvijati u prilikama kakve prevladavaju kod automorfnih tala u gornjim dijelovima profila dok će u donjim dijelovima prevladavati trend smanjenja djelovanja hidromorfizma uslijed sniženja podzemne vode. Sadašnji je režim vlaženja (u hidropedološkom smislu) na profilu 6 bez nekadašnje oscilacije podzemne vode te stoga možemo zaključiti kako se ovdje dominantno radi o ritskoj crnici u regresiji. Sadašnje prilike ne odgovaraju stanju kakva je genetska slika u pedološkim profilima, kada je ravnoteža i funkcioniranje ekosustava uz normalni raspored podzemne i površinske vode.

Tablica 2-11 donosi parametre osnovnih kemijskih i mehaničkih značajki pedoloških profila istraživanih lokacija uz piezometarske postaje. Parametri su dobiveni laboratorijskim analitičkim metodama primijenjenim na uzorcima prikupljenim u okviru ovoga istraživanja.

Tablica 2-11 Osnovne kemijske i mehaničke značajke pedoloških profila

Oznaka uzorka		Kemijska svojstva tla								Mehanički sastav tla (%)			
Profil	Dubina	CaCO ₃	pH u		P ₂ O ₅	K ₂ O	Ukupni N	Humus	C/ N	Pijesak 0,063-2 mm	Prah 0,002-0,063 mm	Glina <0,002 mm	Teksturna oznaka
	cm	%	H ₂ O	1M-KCl	Al metoda								
					%		%						
01/18 hipoglej Piezometar br. 1	0-10	0,00	6,37	5,32	3,71	14,38	0,32	6,07	11,03	1,67	59,72	38,61	PGI
	15-30	0,00	7,15	5,52	4,48	9,96	0,09	1,38	8,89	1,47	56,40	42,13	PG
	40-55	0,00	7,54	5,77	6,66	9,02	0,05	0,97	11,20	1,47	54,05	44,48	PG
	80-100	27,83	8,25	7,82	-	-	-	-	-	5,30	67,16	27,54	PGI
	100-120	16,86	8,27	7,81	-	-	-	-	-	2,64	70,04	27,32	PGI
	130-180	18,55	8,27	7,83	-	-	-	-	-	2,95	69,46	27,59	PGI
02/18 Pseudoglej glej Piezometar br. 2	0-8	0,00	5,01	4,05	9,61	30,08	0,63	12,58	11,60	6,41	64,22	29,37	PGI
	10-25	0,00	5,43	3,73	2,62	8,65	0,11	1,68	8,91	2,15	60,97	36,88	PGI
	40-60	0,28	7,13	5,39	5,79	22,56	0,04	0,61	8,75	1,12	52,31	46,57	PGI
	80-100	19,39	8,27	7,48	-	-	-	-	-	5,62	60,93	33,45	PGI
	100-140	23,61	8,23	7,65	-	-	-	-	-	5,35	68,15	26,50	PG
	150-180	22,77	8,20	7,68	-	-	-	-	-	5,04	69,60	25,36	PGI
03/18 Pseudoglej (Luvisol) Piezometar br. 3	0-5	0,00	5,80	5,12	11,03	3,48	0,29	6,34	12,72	7,72	72,17	20,11	PI
	6-35	0,00	5,44	3,96	6,99	10,72	0,04	0,81	11,75	5,05	70,96	23,99	PI
	40-70	0,00	5,55	3,88	7,87	15,60	0,03	0,45	8,67	3,29	60,02	36,68	PGI
	80-100	0,00	6,03	4,23	-	-	-	-	-	2,71	59,76	37,53	PGI
	120-150	0,00	6,50	4,68	-	-	-	-	-	2,68	62,48	34,83	PGI
	150-180	21,08	8,10	7,67	-	-	-	-	-	6,28	70,53	23,18	PI
04/18 Pseudoglej (Luvisol) Piezometar br. 4	0-10	0,00	5,80	4,05	4,81	18,99	0,31	7,61	14,26	18,76	58,59	22,65	PI
	15-30	0,00	5,75	3,87	1,53	7,33	0,04	1,39	20,25	17,96	54,83	27,21	PGI
	35-60	0,00	6,79	4,47	2,40	9,40	0,02	0,45	13,00	11,96	49,78	38,26	PGI
	70-100	24,45	8,06	7,58	-	-	-	-	-	25,48	48,25	26,26	I
	110-130	22,77	9,27	8,11	-	-	-	-	-	72,84	14,77	12,39	PI
	140-160	8,43	9,73	8,34	-	-	-	-	-	22,68	57,41	19,91	PI
05/18	0-4	0,00	5,37	4,62	4,48	20,30	0,35	7,32	12,17	15,56	63,70	20,65	PI
	10-30	0,00	4,89	3,69	2,18	5,45	0,10	2,06	12,60	14,58	62,23	23,19	PI

Oznaka uzorka		Kemijska svojstva tla								Mehanički sastav tla (%)			
Profil	Dubina	CaCO ₃	pH u		P ₂ O ₅	K ₂ O	Ukupni N	Humus	C/ N	Pijesak 0,063-2 mm	Prah 0,002-0,063 mm	Glina <0,002 mm	Teksturna oznaka
			H ₂ O	1M-KCl	Al metoda								
	cm	%			%		%						
Pseudoglej glej Piezometar br. 5	40-60	0,00	5,97	4,11	5,03	10,34	0,03	0,62	12,00	9,42	55,00	35,58	PGI
	90-100	11,80	8,09	7,53	-	-	-	-	-	14,12	60,32	25,55	PI
	150-180	7,57	8,05	7,65	-	-	-	-	-	68,28	20,10	11,62	PJI
06/18 Humoglej (regresija) Piezometar br. 21	0-6	0,00	6,85	6,33	5,68	17,95	0,41	9,40	13,34	1,78	59,85	38,37	PGI
	15-40	0,00	6,23	4,54	2,08	9,31	0,08	2,04	14,88	1,69	55,47	42,83	PG
	50-80	23,61	8,06	7,63	2,40	5,73	0,01	0,42	24,00	3,76	68,41	27,82	PGI
	105-120	27,83	8,11	7,54	-	-	-	-	-	4,39	59,57	36,04	PGI
	13-170	23,61	8,09	7,53	-	-	-	-	-	3,56	63,69	32,74	PGI

PGI= praškasto glinasta ilovača, PG = praškasta glina, PI = praškasta ilovača, I = ilovača,
PJI = pjeskovita ilovača

Po mehaničkome sastavu tla na području piezometarskih postaja pripadaju u praškasto glinaste ilovače i prema mehaničkome sastavu tla u svim horizontima (slojevima) njihov je udio više od 50%. Kod profila 5 ustanovljena je pjeskovita ilovača u dubljem horizontu što je rezultat geomorfološkog položaja profila kod kojeg je bio utjecaj tekuće vode lokalnog potoka Vučice u prošlosti. Nema prisustva gline ili teške gline u horizontima kod svih pedoloških profila.

Pedološki procesi u tlu su promijenjeni u zadnjih nekoliko desetaka godina. Evidentan je manjak površinske vode kao i nizak nivo podzemnih voda. To je naročito izraženo kod profila 6 gdje je vizualno definiran tip ritske crnice (humoglej). Prema sadašnjem stanju analiza, pedoloških procesa i ekoloških uvjeta na terenu, to tlo je prelazni tip te se može definirati kao hipoglejno tlo. Izostala je ritmička godišnja oscilacije podzemne vode u tlu unutar jednog metra profila tla koji je bitan za tvorbu ritske crnice.

Kod piezometarskih lokaliteta na plohama 3 i 4 u sadašnjim uvjetima i slobodno bi se mogao definirati tip tla – Luvisol (lesivirano tlo) na lesu sa znakovima pseudoglejavanja (u prijašnjim klasifikacijama nazivan Luvisol pseudooglejeni). Kod ta dva lokaliteta podzemna voda danas ne dolazi do gornjih slojeva tla. U prošlosti je nivo podzemne vode često bio na dubini od 120-150 cm. Sada je prisutno bočno kretanje podzemne vode kroz lakši materijal (praškasta ilovača i pjeskovita ilovača) u dubljim slojevima. Sva tla ubrzo nakon 40 – 80 cm dubine imaju dosta veliku količinu nakupina karbonatnih konkreција i po analizi pripadaju u alkalična. Karbonatne konkreције nastaju intenzivnim ispiranjem površinskim vodama (karbonatni les) a stvaraju se na granici dosega podzemnih voda ili na granici njihove godišnje oscilacije. To je u sadašnjim okolišnim prilikama izostalo i rijetka je pojava. Vjerojatnost je kako će se karbonati ispirati sve dublje u tlo. U prvih 40 cm tla su kisela ili slabo kisela. Hranjivima su tla u površinskim horizontima dobro opskrbljena kao i sa humusom.

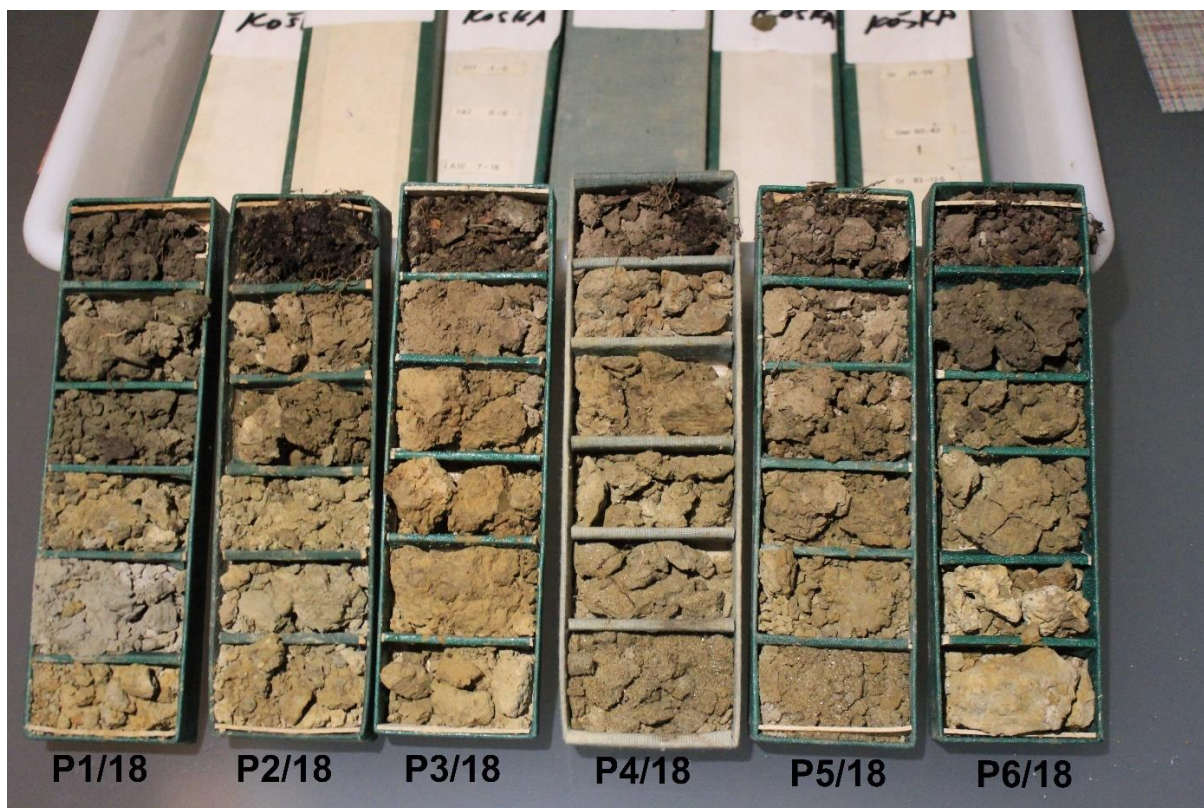
2.2.4 Boja tla prema Münsel katalogu za sve horizonte

Prikupljeni uzorci tla iz pedoloških profila analizirani su i prema Münsel-ovom katalogu. Tablica 2-12 donosi rezultate analiza prikupljenih uzoraka tla u suhom i vlažnom stanju.

Tablica 2-12 Rezultati očitavanja boje prema Münsel katalogu

Oznaka	dub. uzorka	oznaka horizonta	Münsel – tlo u suhom stanju	Münsel – tlo u vlažnom stanju
Profil 1	0-10	Aa	7,5YR 4/2	2,5 YR 3/2
HG	15-30	Gso	5YR 5/2	5YR 4/4
	40-55	Gr	5YR 5/2	5YR 4/3
	80-100	G1	5YR 7/2	5YR 5/3
	100-120	G2	10YR 7/2	5YR 5/1
	130-180	G3	5YR 7/3	2,5YR 5/4
Profil 2	0-10	Aa	5YR 4/2	2,5 YR 3/3
PS-G	10-25	Eg	5YR 6/3	2,5YR 4/4
	40-60	Bg/G	5YR 5/4	5YR 4/3
	80-100	G1	5YR 6/2	5YR 5/3
	100-140	G2	5YR 6/3	5YR 5/3
	150-180	G3	5YR 7/4	2,5YR 5/4
Profil 3	0-5	Aoh	5YR 4/2	5YR 3/2
PS	6-35	Eg	5YR 6/3	5YR 4/4
	80-100	Bg	5YR 6/6	5YR 4/4
	120-150	C1	5YR 6/4	2,5YR 4/6

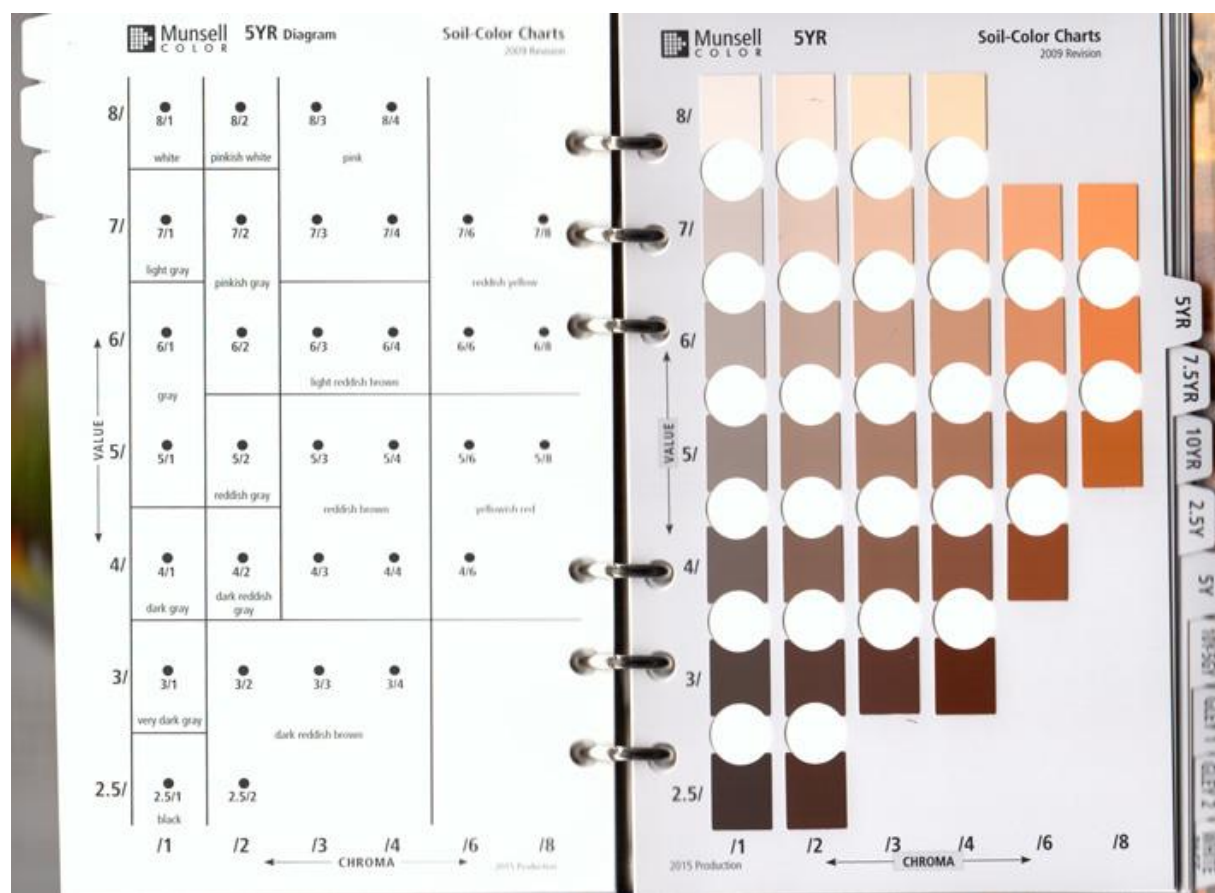
Oznaka	dub. uzorka	oznaka horizonta	Münsel – tlo u suhom stanju	Münsel – tlo u vlažnom stanju
	150-180	C2	5YR 7/4	2,5YR 4/6
Profil 4	0-10	Aoh	2,5 YR 3/2	5YR 4/3
PS	15-30	Eg	5YR 7/3	5YR 4/4
	35-60	Bg	5YR 6/4	5YR 4/4
	70-100	C1	5YR 6/3	5YR 4/3
	110-130	G1	5YR 6/3	5YR 4/4
	140-160	G2	5YR 6/3	5YR 4/4
Profil 5	0-4	Aoh	5YR 5/2	5YR 4/3
PS-G	10-35	Eg	5YR 7/3	5YR 4/4
	40-60	Bg	5YR 6/4	5YR 4/4
	90-130	G1	5YR 5/4	5YR 4/4
	150-180	G2	5YR 6/3	5YR 4/3
Profil 6	0-6	Aa	5YR 4/2	5YR 3/2
RC	15-40	Aa	5YR 4/2	5YR 3/1
	50-80	Gso	5YR 5/3	5YR 4/3
	105-120	G1	5YR 6/3	5YR 4/4
	130-170	G2	5YR 7/3	5YR 6/4



Slika 2-62 Mikromonoliti uzimani na terenu za određivanje boje prema Münsel katalogu

Očitana je boja tla za svaki horizont u vlažnom stanju tla i u suhom stanju tla na mikromonolitima. Kako bi se precizno odredila boja, upotrijebljen je standardni katalog gdje se boja tla može detaljno opisati pomoću dobivene šifre nakon očitavanja. Boja tla nam često govori o stanju tla i pedogenetskim

procesima koji su aktualni ili su se nekada zbivali u tlu. Prema očitanjima iz kataloga, većina tala pripada u seriju 5YR.



Slika 2-63 Munsel katalog

2.2.5 Klimatske promjene i razina podzemnih voda

Voda je medij prijenosa hranjiva, izvor vodika i kisika neophodnih u fotosintezi i uopće nezamjenjivi medij za održavanje turgidnosti bilnog stanića. Na njenoj biodostupnosti temelji se plodnost tla. Ona prožima cjelokupnu biosferu, a dinamika joj je u značajnoj mjeri određena energijskim odnosima u atmosferi, odnosno značajkama termičkog režima atmosfere. Promjene termičkog režima atmosfere danas se najčešće prepoznaju kao globalno zagrijavanje. Ovaj fenomen vrlo je izazovan u kontekstu razumijevanja antropogenog doprinosa njegovoj eskalaciji, a osobito u pogledu potrebe za uravnoteženjem dinamike termičkog i vodnog režima u biosferi kao uvjetom stabilnosti i multifunkcionalnosti terestričnih, pa tako i šumskih ekosustava.

Dosadašnje spoznaje o povezanosti globalnog zagrijavanja s tлом šumskih ekosustava upućuju na dva važna fenomena – na promjene u nakupljanju razgrađene organske tvari (humizacija) u tlu i na promjene u opskrbi biljaka vodom. Globalno zagrijavanje intenzivira i evapotranspiraciju, u umjerenim klimatskim područjima povećava pojavnost sušnog stresa – u konačnici rezultira smanjenjem neto primarne produkcije, slabljenjem vitalnosti biljaka, smanjenjem stupnja vezanja ugljika iz atmosfere, intenzivnijim disanjem tla, smanjenjem zalihe organske tvari u tlu, te povećanjem osjetljivosti ekosustava na degradacijske utjecaje (sekundarni štetnici, erozija). Pri tomu je ipak potrebno spomenuti i činjenicu da povećanje koncentracije CO₂ u atmosferi (koje jedno od glavnih pokretača globalnog zagrijavanja i intenziviranja evapotranspiracije) u stanovitoj mjeri (ovisno o termičkim uvjetima) smanjuje stupanj evapotranspiracije (fiziološki efekt u vidu smanjenja intenziteta otvorenosti puči), tako da su i ovi odnosi vrlo složeni. Biljke usvajaju vodu iz tla i upravo se dostupnost ove vode u najvećoj mjeri očituje na neto primarnoj produkciji i vitalnosti biljaka.

U uvjetima ekstremno visoke potencijalne evapotranspiracije za vrijeme vegetacijskog razdoblja sušni stres kod biljaka rezultanta je velikog gradijenta vodnog potencijala unutar same biljke (od korijena do atmosfere) i vrlo niskog vodnog potencijala u tlu rizosfere. Ovaj (niski potencijal) može biti uzrokovan niskom hidrauličkom vodljivošću nesaturiranog tla praškastoglinaste ili glinaste teksture, ograničenim kapilarnim usponom vode u tlu pjeskovite teksture. U ekstremnim hidrotermičkim uvjetima koji rezultiraju smanjenjem vlažnosti tla vodni potencijal na površini korijena se u pravilu snizuje ispod -1 MPa. Kada je u tlu dostatna količina vode i kada je omogućeno njeno dovoljno brzo kretanje u nezasićenom stanju tla, usprkos tako niskom vodnom potencijalu biljka ne manifestira sušni stres. Međutim, ukoliko je kapacitet tla za pričuvenu biodostupne vode jako nizak ili je jako niska hidraulička vodljivost tla (ili je zbog gruboteksturnih slojeva prekinuta), vodni potencijal na površini korijena pada i ispod -1,5 MPa; to rezultira sušnim stresom, nerijetko postupnim odumiranjem viših dijelova krošnja, pa i ugibanjem biljaka.

Kretanje vode temeljnice unutar šumskih ekosustava i bilanca ovisi o oborinama, intercepciji, otjecanju, evaporaciji i transpiraciji na koje osim oborina veliki utjecaj imaju vrste drveća, sastojinska struktura te arhitektura krošnja. Razina podzemne vode nije statična kategorija već pokazuje sezonsku ovisnost, te povezanost s režimom slivnog područja. Uopćeno možemo reći kako u zimsko proljetnom razdoblju na većem dijelu nizinskih šuma razine podzemne vode trebala bi doći do same površine tla na koje se nadovezuje poplavna voda na pojedinim površinama. Pripadnost slivu također određuje dinamiku podzemne vode.

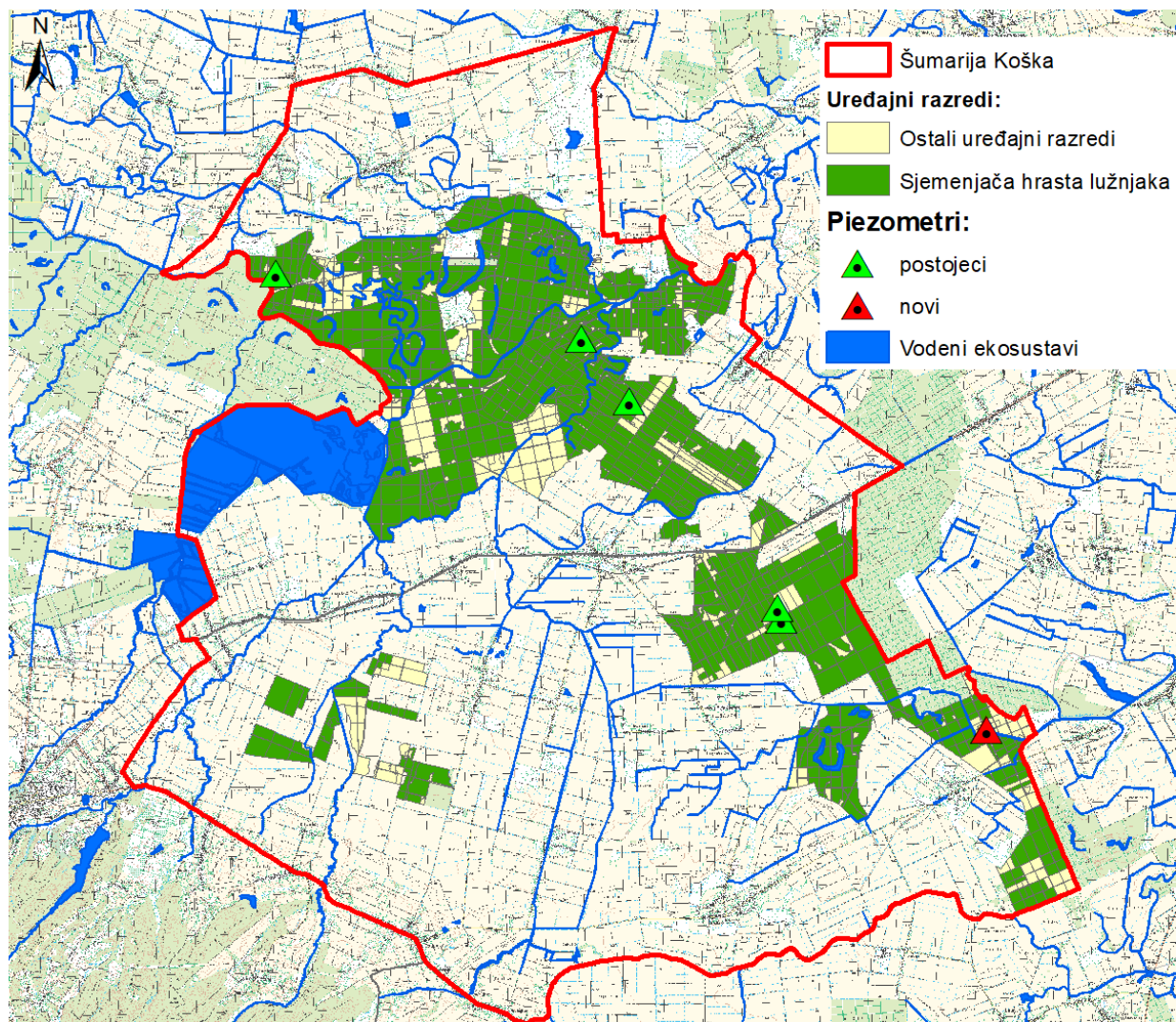
Smanjenje vode (oborina) kao negativnu pojavu u šumskim ekosustavima najbolje možemo kvantificirati kroz promatranje njenog djelovanja na produktivnost šumskog drveća i sastojina. Kod utvrđivanja produktivnosti šumske sastojine može nam poslužiti godišnji radijalni prirast na stablima.

Ustanovljene spoznaje potvrđuju i rezultati mjerenja podzemnih voda na piezometarskim stacionarima na kojima se provodi permanentno mjerenje razina podzemnih voda na prostoru nizinskih šuma Hrvatske. Iz prikupljenih podataka piezometarskog monitoringa na području Koške, moguće je ustanoviti kako na prostoru nizinskih šuma vlada trend izrazitog sniženja podzemnih voda. Iako postoje sezonske fluktuacije razina podzemnih voda utjecane zimsko proljetnim punjenjem tala vodom te evapotranspiracijom i otjecanjem u ljetno-jesenskom razdoblju ipak je moguće raspoznati dominantan trend njihovog opadanja.

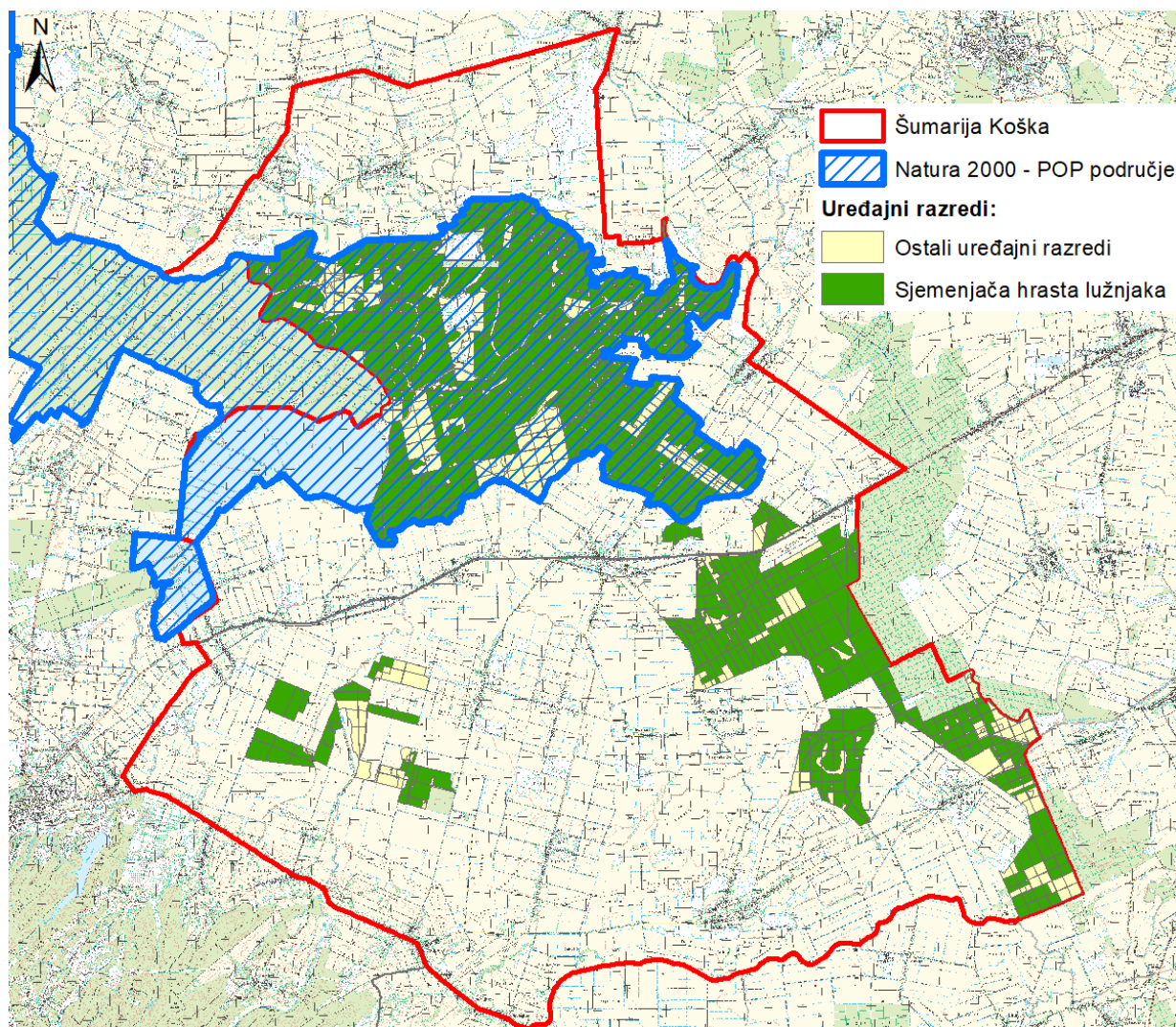
Posebno je izražena pojava sezona s izrazito niskim vodostajima (1993., 2000. i 2003.) u prethodnom desetljeću. Ekstremno niske razine podzemne vode pojavile su se u proteklih nekoliko godina i to za vrijeme ekstremne suše u 2000. godini nakon koje se do današnjih dana vodonosnici u pojedinim šumskim područjima još nisu u dovoljnoj mjeri prihranili vodom. Ovakve nepovoljne prilike kulminirale su ponovnom pojavom ekstremne suše u 2003. Iz raspoloživih rezultata mjerenja moguće je utvrditi kako je utjecaj sniženja podzemnih voda na šumske ekosustave najkritičniji na području istočne Slavonije na području šumskih kompleksa područja Našica i Osijeka. U sadašnjim prilikama izrazito se mijenja nekadašnji karakter vlaženja tih tala iz nekadašnjeg hidromorfnog u pretežno automorfni čime se znatno umanjuje produktivnost tamošnjih nekad vrlo produktivnih šumskih staništa.

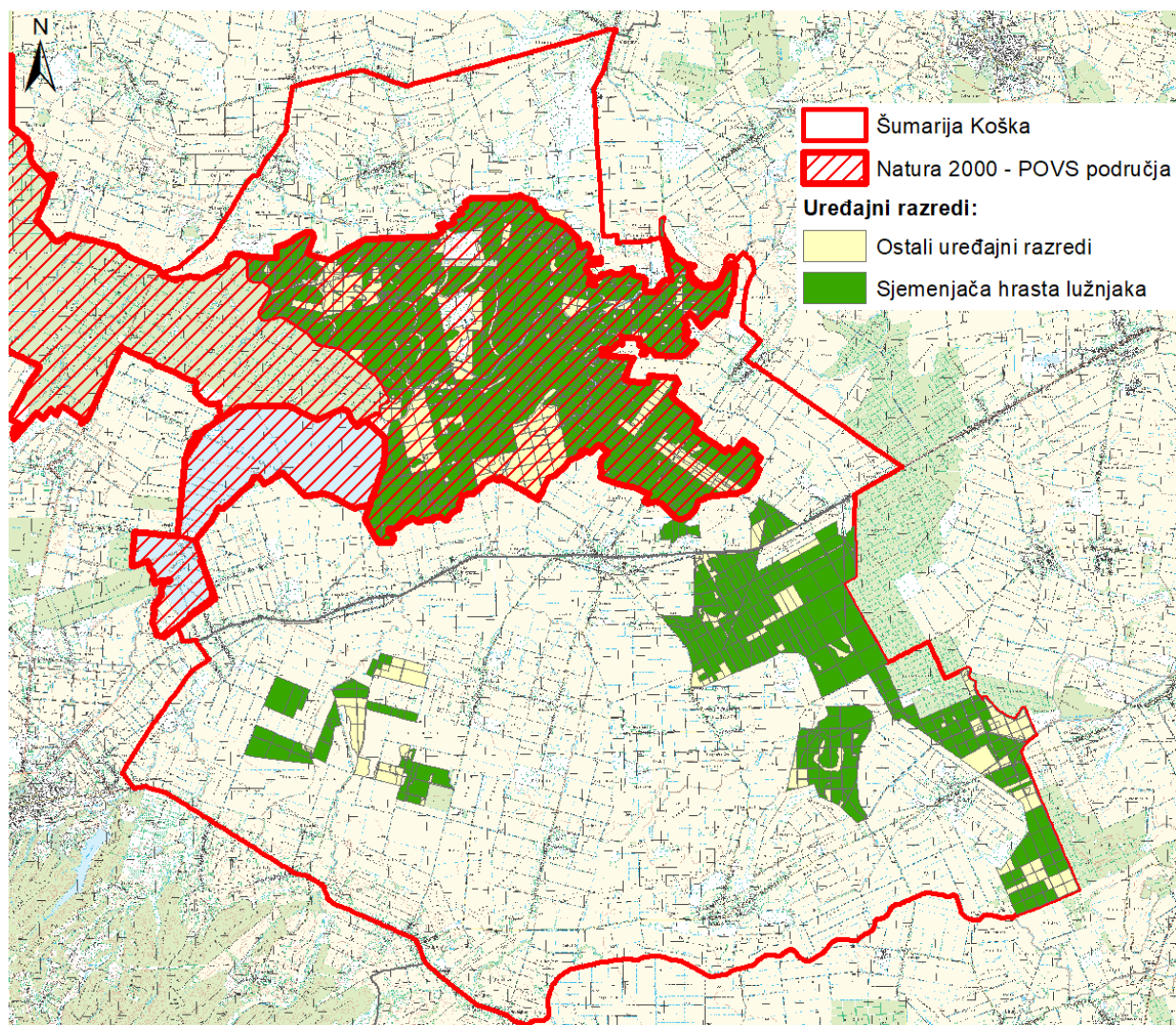
2.3 Stanje vodenih ekosustava

Raspored vodenih ekosustava na području šumarije Koška prikazuje Slika 2-64. Područje šumarije Koška djelomično je uključeno i u područja ekološke mreže Natura 2000. Tako su dijelovi šumskih sastojina uključeni u područje očuvanja ekološke mreže značajno za ptice (POP) HR1000011 Ribnjaci Grudnjak i Našice unutar kojega se štiti oko 50 ciljnih vrsta ptica. Osim POP područja, šumske sastojine šumarije Koška uključene su u područje očuvanja značajno za vrste i stanišne tipove (POVS) HR2001085 Ribnjak Grudnjak s okolnim šumskim kompleksom gdje se štite tri ciljna stanišna tipa (jedan vodeni i 2 šumska) te tri ciljne vrste (dva vodozemca i vidra).



Slika 2-64 Vodeni ekosustavi na području šumarije Koška





2.3.1 Terensko uzorkovanje vodenih organizama

U dva navrata odrađen je pregled terena i istraživanje faune riba, vodozemaca i gmazova. Tereni su provedeni u proljetnom vlažnom razdoblju (27.-28.05.2018.) i suhom jesenskom razdoblju (2.10. i 12.10.2018.). U proljetnom razdoblju šume su bile bogate vodom i različitim privremenim vodenim tijelima.

U tom razdoblju Vučica ima vrlo jak tok ali zbog obaloutvrda teško ulazi u poplavne šume. Potvrđeno je da u suhom razdoblju u šumama oko Koške nema zaostalih vodenih tijela osim u rijeci Vučici i kanalu Breznica. Obodska bara, odnosno ostatci starog toka Vučice bili su potpuno suhi jer je nivo kanala Vučice znatno niži od njih.

Istraživani su sljedeći lokaliteti koje kartografski prikazuje Slika 2-65:

- Rijeka Vučica 1
- Rijeka Vučica 2
- Kanal Breznica
- Obodska bara
- Mrtvica (uz kanal Breznica)



Slika 2-65 Pregled istraživanih lokaliteta.



Slika 2-66 Pretraživanje terena na karakterističnom staništu žutog mukača u šumi Koška

Zabilježena herpetofauna:

- *Bombina bombina* – crveni mukač (Natura 2000 vrsta)
- *Rana dalmatina* – šumska smeđa žaba
- *Pelophylax kl. esculentus* – jestiva žaba
- *Pelophylax lessonae* – mala zelena žaba
- *Lissotriton vulgaris* – mali vodenjak

- *Lacerta agilis* – livadna gušterica
- *Lacerta viridis* - zelembać
- *Natrix tessellata* - ribarica
- *Natrix natrix* - bjelouška
- *Emys orbicularis* – barska kornjača (N2000)

Važne vrste koje još treba potvrditi:

- *Triturus dobrogicus* – dunavski veliki vodenjak (N2000)
- *Pelobates fuscus* – obična češnjača
- *Vipera berus* - ričovka

Zabilježene ihtiofauna:

- *Abramis brama* - deverika
- *Alburnus alburnus* - uklija
- *Cobitis elongatoides* - vijun
- *Carassius gibelio* – babuška
- *Esox lucius* - štika
- *Gobio obtusirostris* – krkuša
- *Pseudorasbora parva* - bezribica
- *Rutilus rutilus* - bodorka
- *Rhodeus amarus* – gavčica (N2000 vrsta)
- *Squalius cephalus* – klen

Važne vrste koje još treba potvrditi:

- *Misgurnus fossilis* – čikov (N2000)
- *Umbra krameri* – crnka (N2000)

Vrste kao što su *T. dobrogicus* i *V. berus*, najlakše je potvrditi u proljetnom razdoblju, tijekom razdoblja njihova razmnožavanja. **Dodatna terenska istraživanja biti će provedena u proljeće 2019. Kako bi se potvrdile ostale važne vrste faune.**

Tijekom zimskog razdoblja 2018.-2019. u planu je analiza interakcije faune i šumskih staništa na području Koške (usluge ekosustava, međuovisnost, prehrambena niša itd.).



Slika 2-67 Rana dalmatina sa obaloutvrde uz Vučicu



Slika 2-68 Rijeka Vučica na datum 12.10.2018.



Slika 2-69 Obodska bara, potpuno suha, na datum 12.10.2018.



Slika 2-70 Livadna gušterica, *Lacerta agilis*, ulovljena uz rijeku Vučicu

Za prikupljanje podataka o fauni riba (ihtiofauni) prisutnoj u istraživačkim lokacijama, korištena je metoda elektroribolova leđnim elektroagregatom. Metoda elektroribolova smatra se najobuhvatnijom, najprihvaćenijom i najučinkovitijom u prikupljanju prihvatljivih kvantitativnih i kvalitativnih podataka

o slatkovodnim ribama (Barbour i sur., 1999). Cilj elektroribolova je izazvati elektro-privlačnu reakciju ribe, što dovodi do njezina ulova, a da se pritom izbjegne ozljeda i minimalizira stres za ulovljene jedinke. Uređaj za elektroribolov radi na principu stvaranja istosmjernog električnog polja između dvije elektrode uronjene u vodu, što uzrokuje omamljivanje riba koje se jednostavno mogu pokupiti iz vode. Jakost električnog polja koncentrično se širi oko obruča anode te je jakost najveća neposredno uz sam obruč. Električno polje ne smije biti prejako i riba mu ne smije predugo biti izložena jer to može dovesti do teških ozljeda (trganje mišićnog i koštanog tkiva) ili uginuća. Korišten je jedan uređaj za elektroribolov (elektroagregat), BIOTA model, maksimalne izlazne snage 1,0 kW. (Slika 2-71).

Terenska ekipa sastojala se od dvije osobe. Po vodi se kretala samo jedna osoba koja je uzorkovala kako bi se šteta za životinjski i biljni svijet svela na minimum. Istraživanje je bilo orijentirano na sve jedinke riba koje se mogu identificirati po istraživačkom segmentu. Sve jedinke su skupljene i prebačene u posudu s vodom radi identifikacije te mjerenja i fotografiranja.



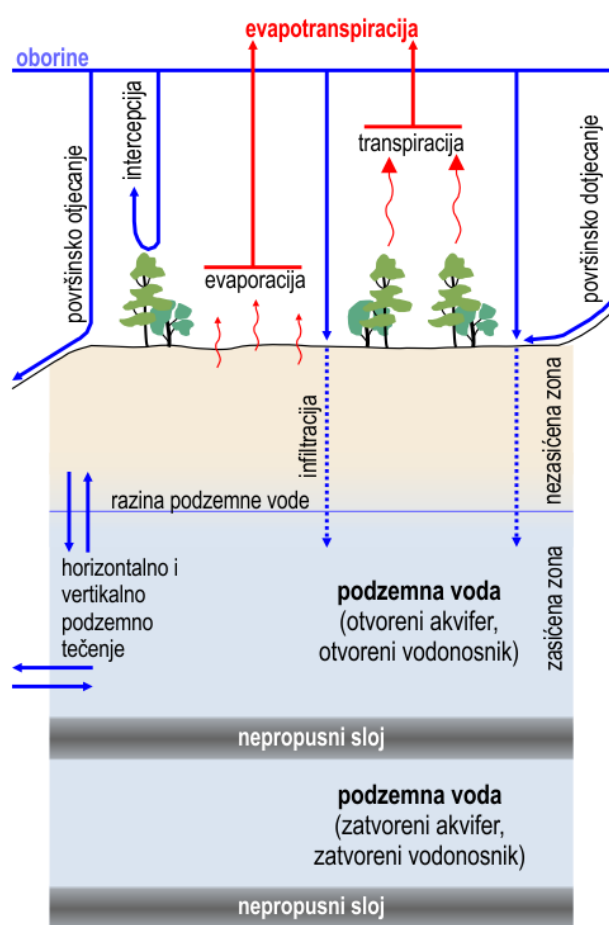
Slika 2-71 Uzorkovanje riba elektroagregatom.

Nakon identifikacije sve su jedinke vraćene neozlijeđene na lokaciju na kojoj su i ulovljene. Ulovljena ihtiofauna determinirana je i imenovana prema literaturi Kottelat i Freyhof (2007), Mrakovčić i sur. (2006) i Eschmeyer (2018).

3 Klima i klimatske promjene istraživanog područja

3.1 Osnovne značajke hidrološkog ciklusa u nizinskim lužnjakovim sastojinama

Dinamika podzemne vode (Slika 3-1) sastavni je dio globalnog hidrološkog ciklusa. Glavne sile koje pokreću kruženje vode su Sunčeva energija i gravitacija, a dva glavna procesa kojima dolazi do izmjene vode između površine Zemlje i atmosfere su evapotranspiracija i oborine (Hipel i McLeod 1994). Sva voda iz atmosfere dolazi na kopno ili vodene površine putem oborina koje nastaju kondenzacijom atmosferske vlage. S vodenih ili kopnenih površina voda se evaporacijom (isparavanjem) vraća nazad u atmosferu. Osim evaporacijom, voda se također može vratiti u atmosferu transpiracijom vegetacije, kao posljedica fotosinteze u lisnoj površini. Evaporacija i transpiracija se zajedničkim imenom nazivaju evapotranspiracija.



Slika 3-1. Shematski prikaz osnovnih sastavnica hidrološkog ciklusa podzemne vode

Podzemne strukture, odnosno slojevi tla, koje sadrže vodu mogu se vertikalno podijeliti u nekoliko zona prema tome koliki postotak pora u tlu je ispunjen vodom. Onaj dio tla u kojem se nalazi podzemna voda naziva se zasićenom zonom jer su sve pora tla u potpunosti ispunjene vodom. Iznad zasićene, nalazi se nezasićena zona u kojoj su pore tla djelomično ispunjene vodom i zrakom. Voda u nezasićenoj zoni, iznad razine podzemne vode, je ona voda koja je fiziološki dostupna korijenju stabala putem korijenovih dlačica. Transfer vode iz zasićene u nezasićenu zonu odvija se kapilarnim usponom.

Promjene razine podzemne vode rezultat su punjenja ili pražnjenja vodonosnika kroz međudjelovanje donosa vode iz oborina, intercepcije vegetacije, otjecanja ili dotjecanja vode po površini tla, infiltracije, horizontalnog i vertikalnog podzemnog tečenja, toka vode u nezasićenoj zoni tla i evapotranspiracije (Pilaš 2006). Oborine i evapotranspiracija posebno su značajne jer direktno utječu na punjenje vodonosnika (Green i dr. 2011). Međutim za potpunu karakterizaciju odnosa oborina na punjenje, i evapotranspiracije na pražnjenje vodonosnika, treba uzeti u obzir i čimbenike koji modificiraju taj odnos.

Stvarne iznose evapotranspiracije je teško točno definirati najviše zbog mnoštva parametara koje je potrebno poznavati da bi se kvantificirala stvarna transpiracija za različite vrste vegetacijskoga pokrova. Zbog toga se često puta kao procjenitelj stvarne evapotranspiracije koristi iznos potencijalne evapotranspiracije. Potencijalna evapotranspiracija (PET) općenito je definirana kao količina vode koja može evaporirati i transpirirati s površine obrasle vegetacijom bez bilo kojih prepreka osim zahtjeva atmosfere za vlagom (Lu i dr. 2005; Thornthwaite 1948). Drugim riječima, PET predstavlja koristan indeks kojim se može procijeniti maksimalni mogući gubitak vode prema atmosferi (Lu i dr. 2005).

Na količinu vode koja iz oborina na kraju dopiye u podzemnu vodu utječe niz čimbenika. Dio oborina se zadržava na lisnoj površini vegetacije odakle isparava nazad u atmosferu. Taj se iznos oborina naziva intercepcijom, koja u umjerenim, kontinentalnim klimatskim uvjetima tipično iznosi 20 do 35% ukupne količine oborina tijekom vegetacijske sezone, a veća je kod četinjača nego kod listopadnih vrsta drveća (Bréda i dr. 2006). U starijim sastojinama hrasta lužnjaka intercepcija može iznositi od 10,9 do 19,8% od vegetacijske količine oborina (Vrbek i dr. 2008). U nizinskim područjima je također ključan mezo- i mikro reljef koji djeluje na preraspodjelu i usmjeravanje površinskih tokova vode, bilo da se radi o vodi iz oborina ili iz poplava. Na povišenim makro i mezoreljevnim formama dolazi do infiltracije vode u tlo i njenog postranog podzemnog kretanja prema nižim dijelovima, i konačnog pražnjenja te duljeg zadržavanja u depresijama (Pilaš 2006). Upravo su ovi utjecaji lokalnih mikroljeljnih obilježja na dinamiku podzemne vode ključan čimbenik o oblikovanju prostornoga rasporeda šumskih zajednica u nizinskim područjima (Vukelić i Rauš 1998).

Osim putem oborina, voda u podzemne akvifere nizinskih područja može dospjeti i komunikacijom s vodotocima koji pogotovo u proljeće za vrijeme visokih vodostaja zbog topljenja snijega u uzvodnim dijelovima slivova mogu prihranjivati vodonosnik. Često se puta u ekološkim studijama podzemna voda i površinski vodotoci promatraju kao odvojeni sustavi, iako su s hidrološkoga stanovišta oni usko povezani (Brunke i Gonser 1997; Sophocleous 2002). Posebice u nizinskim područjima površinsku vodotoci imaju značajan utjecaj na dinamiku podzemne vode (Leyer 2005; Prpić 1985; Prpić 2001; Prpić i Anić 2000; Glavač 1962; Brunke i Gonser 1997; Mayer 1996a; Mayer 1996b).

Čimbenici koji dovode do promjena dinamike podzemne vode mogu se podijeliti u dvije osnovne grupe: hidrotehnički zahvati i klimatske promjene.

Hidrotehnički zahvati kao što su kanaliziranje vodotoka, produbljivanje korita, izgradnja sustava zaštite od poplava i hidroelektrana, i sl., u nizinama velikih europskih rijeka prisutni su još od 19.-og stoljeća (Hager i dr. 2007; Sickert 2007; Prpić i Anić 2000; Prpić 1985; Prpić 2001; Vukelić 1992). Negativni se učinci takvih zahvata očituju dvojako. S jedne strane dolazi do manjka dostupne vode u ekosustavu zbog pada razina podzemne vode i smanjenja ili potpunog izostanka poplava. S druge se strane može dogoditi da se u ekosustavu nalazi previše vode, primjerice zbog dugotrajnog stagniranja poplavnih i oborinskih voda tijekom vegetacijskoga razdoblja u kazetiranim odsjecima (Baričević 1999).

Zadnjih nekoliko desetljeća na vodnu dinamiku šumskih ekosustava djeluju i učinci klimatskih promjena (Green i dr. 2011; Eckhardt i Ulbrich 2003). Za razliku od hidrotehničkih zahvata, zbog kojih može doći kako do manjka tako i do suviška vode, ovdje se uglavnom radi o postupnom smanjivanju vlažnosti ekosustava, odnosno kretanju prema sušim uvjetima. Osim povećanja temperature predviđa se i povećanje učestalosti intenzivnih sušnih razdoblja. Postoje mnoge definicije suše kod kojih je osnovna ideja ista: suša je stanje u kojem količina vode u nekom sustavu ne može zadovoljiti sve potrebe sustava za vodom (Steinemann i dr. 2005). Još jedan mogući učinak klimatskih promjena je redistribucija oborina tijekom godine (Eckhardt i Ulbrich 2003). Predviđa se da će tijekom zime pasti manja količina oborina u obliku snijega zbog globalnoga zatopljenja, što će utjecati na snižavanje proljetnog vodostaja rijeka i punjenja spremnika podzemne vode, te povećati rizik od poplava tijekom zime. Tijekom ljeta bi se protok rijeka i punjenje vodonosnika podzemne vode moglo smanjiti i do 50%, što bi negativno utjecalo na kvalitetu i dostupnost vode, te proizvodnju električne energije u hidroelektranama.

Za sedam velikih svjetskih rijeka utvrđena je čvrsta korelacija između njihovoga godišnjeg protoka (vodostaja) i prosječnih godišnjih vrijednosti Palmerovog indeksa intenziteta suše (PDSI) za područje njihovih slivova (Dai i dr. 2004). Iz tih rezultata proizlazi da će se povećanjem suše smanjiti protok u vodotocima, što će imati utjecaja i na odnos površinskih vodotoka s podzemnom vodom.

Stabla hrasta lužnjaka veliki su potrošači vode. Prema istraživanjima Čermáka (1989), ovisno o veličini stabla, odnosno lisnoj površini, potrošnja vode lužnjakovog stabla može iznositi od 80 do čak 400 kg vode na dan (u ljetnim danima kada potencijalna evapotranspiracija doseže najviše iznose). Ovakvi dnevni iznosi transpiracije svrstavaju hrast lužnjak među šumske vrste drveća s najvećom potrošnjom vode. Na primjer, Wullschleger i dr. (1998) su utvrdili da se iznosi dnevne transpiracije objavljeni u recentnoj znanstvenoj literaturi za 67 drvenastih vrsta iz 35 rodova u 90% slučajeva kreću u rasponu od 10 do 200 kg vode na dan.

Prema izvorima koje navodi Prpić (1987) evapotranspiracija na razini cijele 140-godišnje lužnjakove sastojine može iznositi 600 do 800 mm tijekom vegetacijskog razdoblja, a transpiracija 400 do 550 mm. Kako se količina oborina u vegetacijskom razdoblju na području spačvanskog bazena kreće oko 380 mm (poglavlje 4.1.), što još treba umanjiti barem za 10-20% zbog intercepcije (Vrbek i dr. 2008), vidi se da hrast lužnjak za rast i razvoj na ovome području može opstati samo uz dodatne izvore vlage iz podzemne vode. Klepac (2000) je u grubo procijenio količinu vode koju hrastove sastojine u spačvanskome bazenu moraju nadoknaditi iz podzemne vode na 367 mm tijekom vegetacijske sezone. Mayer (1996a) za područje spačvanskog bazena navodi razliku od 400 mm između oborina i evapotranspiracije. Hrast lužnjak je prema tome na području spačvanskog bazena freatofitna vrsta šumskog drveća.

Freatofiti (*Phreatophytes*) su prvotno definirani kao one biljke koje za svoj rast i razvoj koriste podzemnu vodu (Naumburg i dr. 2005; Mayer i Jalušić 1992). Ovu je jednostavnu definiciju bilo potrebno modificirati zbog činjenice da će sve biljke koristiti podzemnu vodu ukoliko im se nađe u dosegu korijenovih sustava. Stoga su freatofiti pobliže definirani kao one biljke koje rastu u uvjetima u kojima vlaga iz oborina nije dovoljna za dugoročni rast. U takvim su slučajevima freatofiti prisiljeni nedostatak vlage nadoknaditi iz izvora podzemne vode.

3.1.1 Utjecaj pada razine podzemne vode na vitalitet stabala

Pad razine podzemne vode uglavnom se povezuje s negativnim utjecajem na vegetaciju, iako u određenim slučajevima može djelovati i meliorativno (Naumburg i dr. 2005). Na primjer, spuštanjem razine podzemne vode u gornjim slojevima tla ostaju pore ispunjene zrakom koje omogućavaju novi rast korijenja. Također se povećava volumen tla u kojem se mogu pohraniti pristigle oborine i kapilarno podignuta vlaga iz podzemne vode čime se može značajno povećati apsorpcija vode putem korijena i rast biljaka. Međutim, negativne posljedice pada razine podzemne vode obično su puno ozbiljnije.

Osnovni negativni učinak pada razine podzemne vode je smanjenje količine vode u tlu dostupne biljkama, što utječe na cijeli sustav transporta vode u stablu koji se odvija putem neprekinutoga stupca voda od korijena do puči na listovima. Teoretski koncept koji objašnjava kretanje vode u stablu naziva se kohezijsko-tenzijska teorija (eng. *cohesion-tension theory* (Bréda i dr. 2006)) ili sustav tlo-biljka-atmosfera (eng. *soil-plant-atmosphere continuum* – SPAC (Pallardy 2008)). Osnovni pokretač transporta vode u ovome je konceptu transpiracija koja stvara negativni vodni potencijal (ili podtlak) na površini lista te uzduž cijeloga neprekinutoga stupca vode u provodnim elementima biljke. Taj negativni vodni potencijal u korijenovim dlačicama dovodi do apsorpcije vode iz tla u korijen, te do uspona vode kroz provodne elemente sve do lista. Kod hrasta lužnjaka brzina uspona vode varira značajno, smanjujući se od zadnjeg formiranog goda prema unutrašnjim godovima bijeli (Čermák i dr. 1992). Najveća zabilježena brzina uspona vode u zadnjem godu lužnjakovog stabla u istraživanju (Čermák i dr. 1992) iznosila je, primjerice, 40 m/h.

Transpiraciju kontrolira potencijalna evapotranspiracija, pri čemu je transpiracija veća kada je PET veća, odnosno kada atmosfera može primiti veće količine vode. Kada u takvim uvjetima visokih transpiracijskih zahtjeva za vodom dođe i do smanjenja sadržaja vode u tlu (što je uobičajeno u ljetnim mjesecima), tada dolazi do smanjenja vodnog potencijala u provodnim elementima stabla (Bréda i dr. 2006), pada vodni potencijal u listovima, puči se zatvaraju, fotosinteza i proizvodnja ugljikohidrata se smanjuje i u slučajevima dugotrajne suše, u potpunosti prestaje (Čermák i dr. 1982).

Stabla mogu tolerirati pad vodnog potencijala samo do određene granične vrijednosti. Ako je pad vodnoga potencijala unutar stabla intenzivan i nastupi u vrlo kratkom vremenu stablo ne stiže reagirati zatvaranjem puči, pa dolazi do embolije provodnih elementa, odnosno prekidanja stupca vode između transpiracijskog aparata i korijenovoga sustava (Cochard i dr. 1996; Tyree i Cochard 1996; Cochard i dr. 1992). S obzirom na postotak prekinutih provodnih elemenata, dolazi do odumiranja pojedinih grana, ili u ekstremnim slučajevima začepljenja većine provodnih elemenata i do odumiranja cijeloga stabla. Djelomični gubitak lisne površine ili određenoga broja grana zbog suše može, s druge strane omogućiti stablu preživljavanje jer se time smanjuje potreba za vodom na razini cijeloga stabla (Naumburg i dr. 2005).

Tijekom pada razine podzemne vode, stabla mogu pratiti njenu razinu dublje u tlo rastom i produljivanjem korijena jer vlažno i prozračeno tlo koje ostaje nakon spuštavanja razine zasićene zone potiče rast korijenja (Naumburg i dr. 2005). Međutim, do značajnih negativnih posljedica po vitalitet stabla dolazi kada brzina pada razine vode višestruko premašuje brzinu kojom stablo može produljivati korijen. Sposobnost produljivanja korijena također ovisi i o dobi, općem vitalitetu i količini pohranjenih rezervnih tvari pojedinih stabala.

Utvrdeno je, na primjer, da sadnice nekih vrsta iz roda *Populus* (kod kojih brzina rasta korijenja može biti 1-13 mm/dan) ostaju u kontaktu s razinom podzemne vode ako ona pada brzinom do 20 mm/dan, brzina pada vodnog lica od 20 do 40 mm/dan uzrokuje redukciju prirasta i slabljenje stabala, dok u slučajevima kada podzemna voda pada brzinom većom od 40 mm/dan, dolazi do odumiranja stabala (Naumburg i dr. 2005). U jednoj staroj sastojini američke crne topole (*Populus deltoides*) u kojoj se razina podzemne vode naglo spustila tijekom jednog tjedna brzinom većom od 1 m/dan, došlo je do sušenja lišća i odumiranja grana u roku od tri tjedna, a u roku od tri godine odumrla je 88% stabala. U drugoj sastojini u kojoj je pad podzemne vode bio postupan i ne veći od 0,5 m godišnje nije bilo nikakvih znakova propadanja stabala. U domaćoj literaturi često se navodi da kritična granica pada razine podzemne vode nakon koje dolazi do negativnih posljedica u hrastovim sastojinama iznosi 50 cm u odnosu na prosječnu razinu prijašnjeg razdoblja (npr. Prpić i dr. 1994; Prpić 1989b). Ova je granična vrijednost postavljena u istraživanjima odumiranja lužnjaka u šumi Repaš gdje je utvrđeno da je srednja godišnja razina podzemne vode padala brzinom od 2-3 cm godišnje tijekom razdoblja od 13 godina (1972.-1985).

Jedan od mehanizama koji može ublažiti negativan učinak pada razine podzemne vode je i proces hidrauličkog podizanja vlage (eng. *hydraulic lift*) koji je utvrđen u mnogih vrsta drveća (Naumburg i dr. 2005). Do hidrauličkog podizanja dolazi u razdobljima kada se značajno smanjuje transpiracija (obično tijekom noći) te se voda pomoću korijenovoga sustava premješta iz dubljih i vlažnijih u pliće i suše slojeve tla. Na ovaj se način mogu tijekom noći podići značajne količine vlage, čak do polovice vlage potrebne za transpiraciju narednog dana. Preduvjet za hidrauličko podizanje vlage je da korijenov sustav zadrži kontakt s padajućom razinom podzemne vode.

Jačina stresa kojem stabla mogu biti podvrgnuta zbog pada razine podzemne vode ovisi o mnogim čimbenicima, kao što su: količina oborina, tip tla i njegova hidraulička provodnost, dubina, brzina, intenzitet i trajanje pada razine podzemne vode, i sl. (Naumburg i dr. 2005). Posljedice pada razine podzemne vode puno su ozbiljnije u tlima grube teksture s velikim porama, kao što su šljunak i pijesak, zbog njihove lošije mogućnosti zadržavanja vlage od tala s finijom teksturom (praškaste i glinovite strukture). U tlima grublje teksture puno je kraće zadržavanje vlage u profilu tla nakon pada razine

podzemne vode. I visina kapilarnoga uspona vode iz zasićene u nezasićenu zonu ovisi o teksturi tla, a smanjuje se od glinastih prema šljunčanim tlima.

3.1.2 Utjecaj povišenja razine podzemne vode na vitalitet stabala

Povišenje razine podzemne vode negativno djeluje na stabla prvenstveno zbog potpunog zasićenja pora tla zakorijenjenoga dijela profila tla (Naumburg i dr. 2005). Rastuća razina podzemne vode, isto kao i dugotrajno stagniranje poplavne i oborinske vode dovodi do istiskivanja zraka iz pora tla te dolazi do pomanjkanja kisika potrebnog stablima za aerobnu respiraciju korijenovoga sustava (Prpić i dr. 1977; Manion 1991). Kao posljedica dolazi do prelaska na anaerobni metabolizam što može dovesti do gomilanja otrovnih tvari i oštećenja stanica u korijenu. Dugotrajno zasićenje profila tla vodom mijenja strukturu tla, vodi k smanjenju kisika i gomilanju ugljičnog dioksida, u anaerobnim uvjetima dolazi do razgradnje organske tvari te redukcije željeza i mangana (Kozłowski 1997; Manion 1991).

Korijenje koje ne može podnijeti anaerobne uvjete odumire čime se smanjuje mogućnost stabla za apsorpciju i transport vode u krošnju. Ovakve promjene u biti izazivaju vrlo slične reakcije stabla kao i u uvjetima nedostatka vode, kao što su zatvaranje puči, smanjenje fotosintetske aktivnosti i prekid u transportu ugljikohidrata (Naumburg i dr. 2005; Kozłowski 1997). Dugotrajno zasićenje zone zakorijenjivanja vodom sprječava rast i grananje korijena, izaziva gubitak mikoriznih gljiva i truljenje korijena. Zbog odumiranja dijela korijenja, gubitka mikoriznih gljiva te redukcije metabolizma korijenovoga sustava, smanjena je mogućnost apsorpcije hranjiva iz tla (Kozłowski 1997; Manion 1991). Sve navedeno vodi k naizgled nelogičnom zaključku, da je trajno povišenje razine podzemne vode i prekomjerno zadržavanje vode u profilu tla štetno čak i za vrste kojima je za rast potrebna velika količina vode.

Stabla freatofitnih vrsta drveća mogu reagirati na trajno povišenje razine podzemne vode tako što će intenzivirati rast korijenja u nezasićenom dijelu profila tla iznad razine podzemne vode (Naumburg i dr. 2005). Međutim, često zasićenje određenog dijela profila tla vodom ipak predstavlja preveliku prepreku za razvoj korijenja zbog učestale pojave anaerobnih uvjeta što vodi k plićem zakorijenjivanju stabala u takvim uvjetima.

3.2 Dosadašnje klimatske prilike istraživanog područja

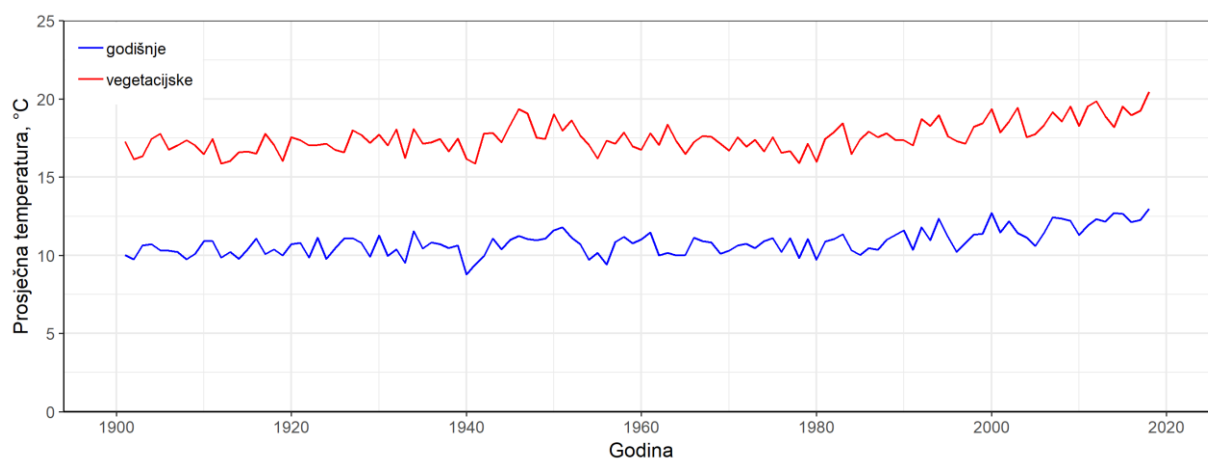
3.2.1 Klimatske prilike

Za razdoblje od siječnja 1901. godine do prosinca 2018. godine preuzeti su podaci iz prostorno definirane baze podataka CRU TS 4.0 (Mitchell i Jones 2005) i to za šire područje istraživanja. Preuzeti su podaci o prosječnim mjesečnim temperaturama i mjesečnim sumama oborina. Za podatke o temperaturi i oborinama iz baze CRU Branković i dr. 2012 su utvrdili dobro slaganje s izmjerenim podacima s meteoroloških postaja u Hrvatskoj, naročito za područje sjeverne nizinske Hrvatske.

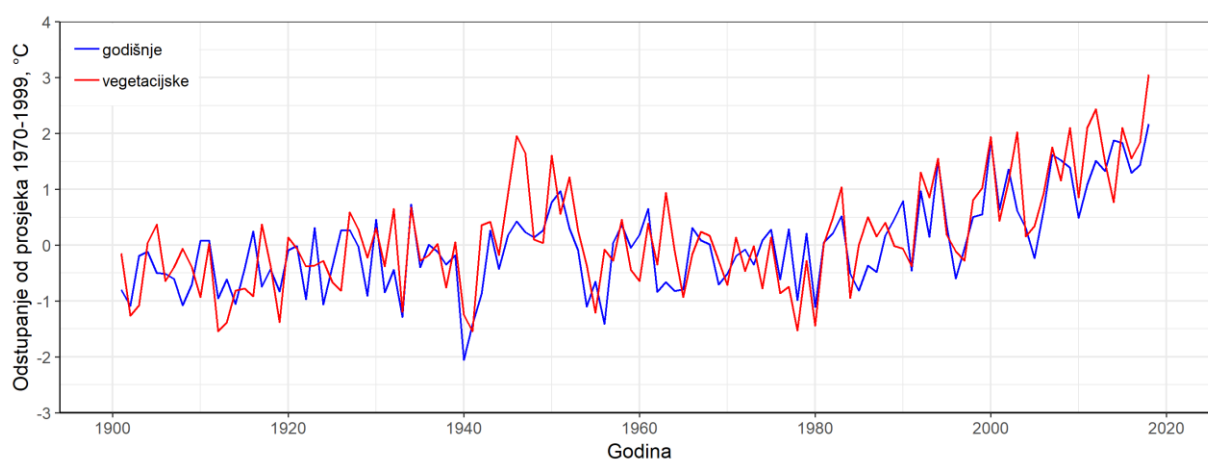
Korišteni prostorno definirani dugoročni vremenski nizovi iz navedene internetske baze podataka dobiveni su metodama prostorno-vremenske interpolacije podataka s velikog broja meteoroloških stanica (Mitchell i Jones 2005), uz prethodnu provjeru i homogenizaciju podataka sa svake postaje. U izradi baze podataka korišteni su podaci i s mnogih meteoroloških postaja u Hrvatskoj.

Također su, kao indikator sušnih razdoblja, preuzete mjesečne vrijednosti tzv. "samokalibrirajuće Palmerovog indeksa suše" -PSCDI (*self-calibrating Palmer Drought Severity index*) za područje istraživanja sa internetske baze podataka KNMI Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl/start.cgi>).

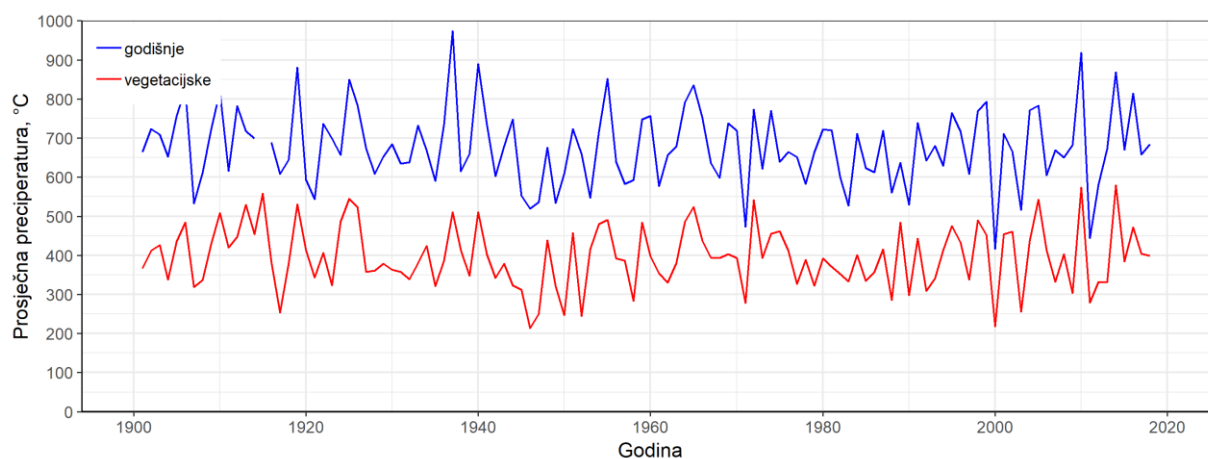
Kretanje temperature zraka u proteklom razdoblju prikazuju Slika 3-2 i Slika 3-3, kretanje oborina prikazuju Slika 3-4 i Slika 3-5, dok je kretanje mjesečnih vrijednosti PSCDI prikazuje Slika 3-6.



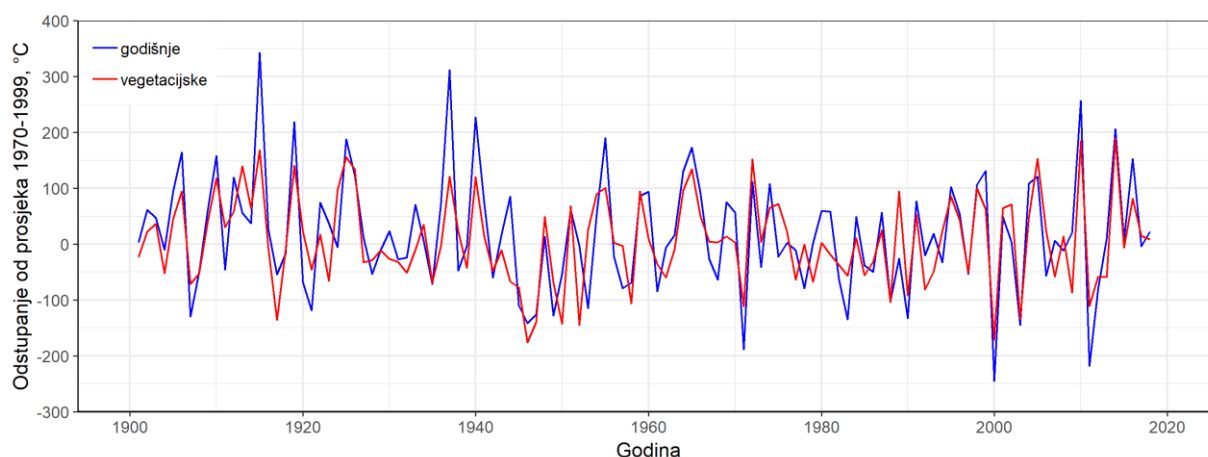
Slika 3-2 Prosječne godišnje temperature i temperature vegetacijskog razdoblja (IV.-IX. mj.) istraživanog područja u razdoblju od siječnja 1901. do prosinca 2018. godine



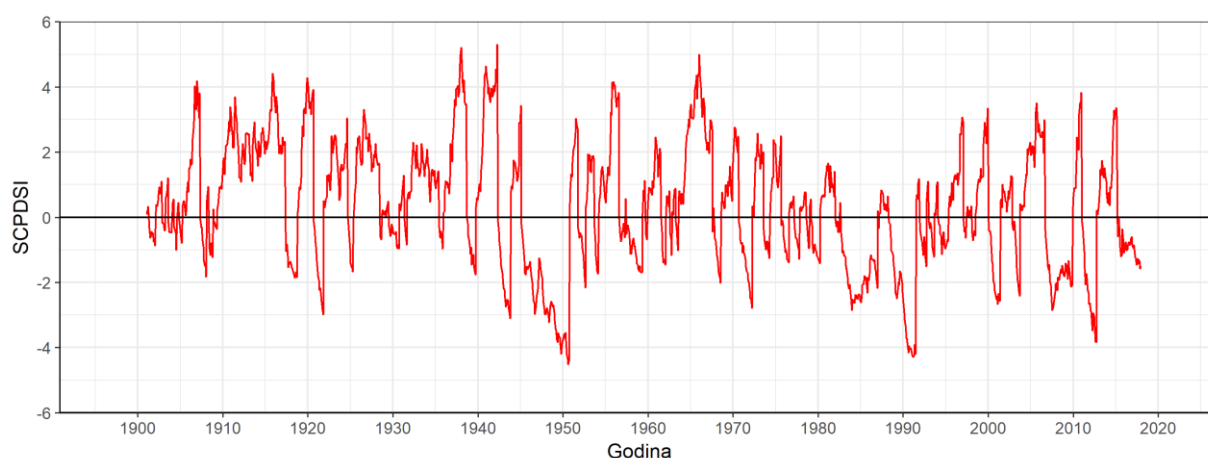
Slika 3-3 Odstupanje prosječnih godišnjih temperatura i temperatura vegetacijskog razdoblja (IV. – IX. mj.) istraživanog područja u odnosu na prosječne temperature u referentnom razdoblju (01/1970 – 12/1999)



Slika 3-4 Prosječne godišnje i vegetacijske (IV.-IX. mj.) sume oborina istraživanog područja u razdoblju od siječnja 1901. do prosinca 2018. godine



Slika 3-5 Odstupanje prosječnih godišnjih vegetacijskih (IV. – IX. mj.) suma oborina istraživanog područja u odnosu na prosjek referentnog razdoblja (01/1970 – 12/1999)



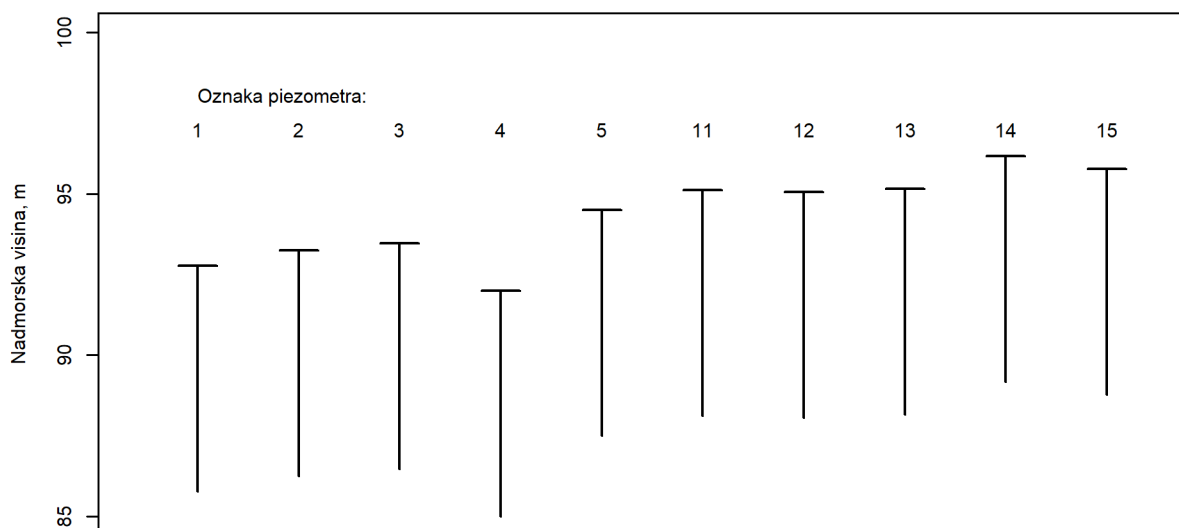
Slika 3-6 Samokalibrirajući Palmerov indeks jakosti suše za istraživano područje u razdoblju od 1901. do 2017. godine – mjesečne vrijednosti

3.2.2 Dinamika podzemne vode

Dosadašnja dinamika kretanja podzemne vode u istraživanim područjima prikazat će se putem analize mjerenja podzemne vode na piezometarskim postajama u istraživanom području. Tablica 3-1 donosi osnovne podatke o analiziranim piezometarskim postajama, kao i razdoblje mjerenja za koje su bili dostupni podaci.

Tablica 3-1 Osnovni podaci o piezometarskim postajama i razdoblju mjerenja za koje su bili dostupni podaci

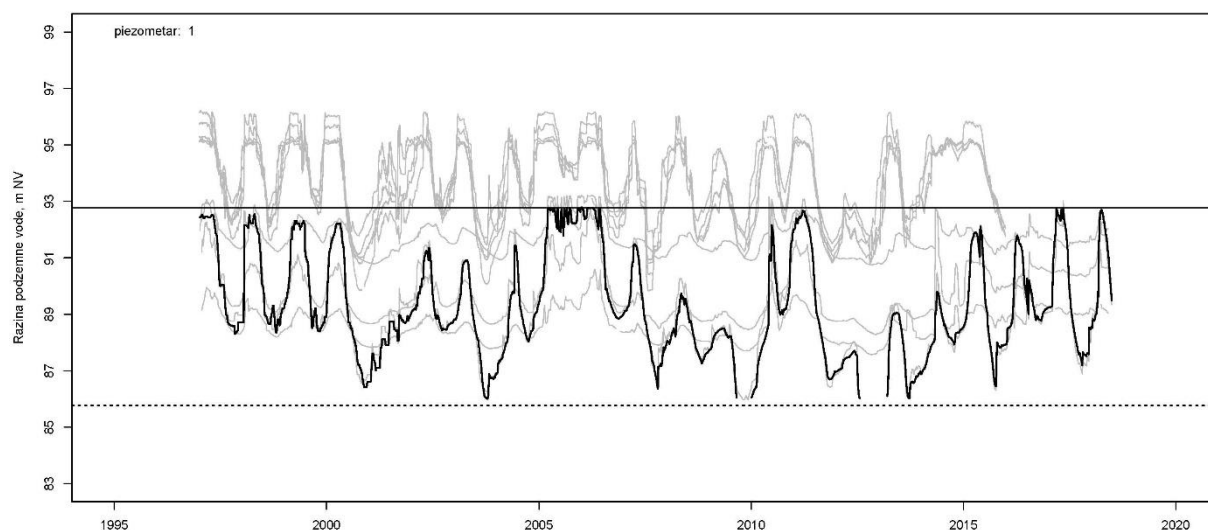
Oznaka piezometra	Šumarija	Gosp. jedinica	Odsjek	Fitocenološka zajednica	Mjerenja
1	Koska	BBL	24a	Tipična šuma lužnjaka i običnog graba	01-1997 do 06-2018
2	Koska	BBL	15a	Šuma lužnjaka i graba s jasenom	01-1997 do 06-2018
3	Koska	LG	114a	Tipična šuma lužnjaka i običnog graba	01-1997 do 05-2018
4	Koska	LG	90a	Tipična šuma lužnjaka i običnog graba	01-1997 do 05-2018
5	Koska	LG	3a	Tipična šuma lužnjaka i običnog graba	01-1997 do 05-2018
11	Donji Miholjac	CLJD	59a	Šuma lužnjaka i velike žutilovke s rastavljenim šašem	01-1997 do 12-2015
12	Donji Miholjac	CLJD	68a	Šuma lužnjaka i velike žutilovke s rastavljenim šašem	01-1997 do 12-2015
13	Donji Miholjac	CLJD	72a	Šuma lužnjaka i velike žutilovke s rastavljenim šašem	01-1997 do 12-2015
14	Donji Miholjac	CLJD	24a	Tipična šuma lužnjaka i običnog graba	01-1997 do 12-2015
15	Donji Miholjac	CLJD	26b	Šuma lužnjaka i graba s jasenom	01-1997 do 09-2007



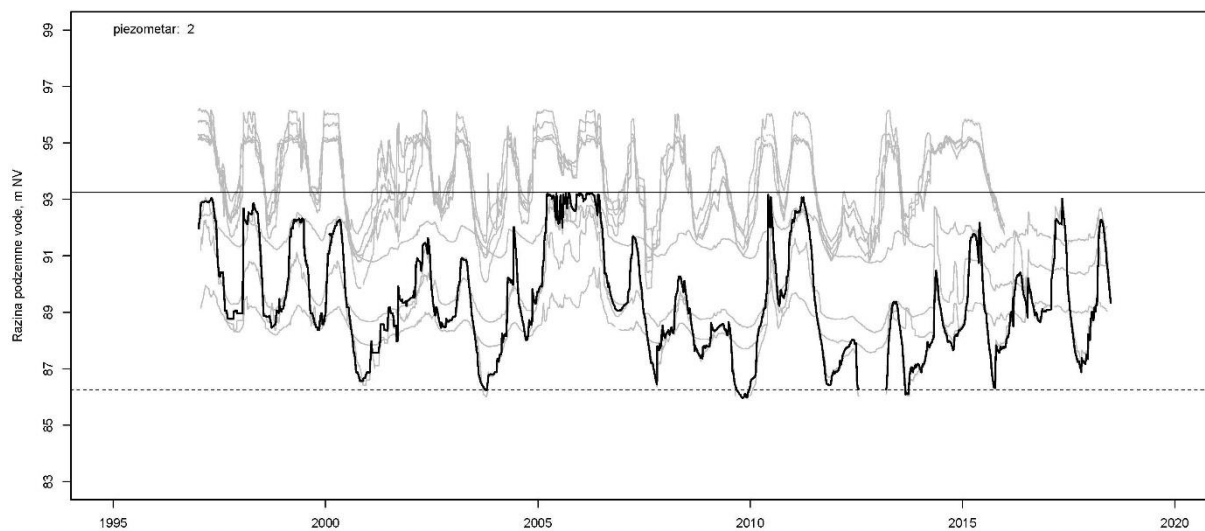
Slika 3-7 Raspored analiziranih piezometarskih postaja s obzirom na nadmorske visine terena i dubine cijevi

Piezometri 1 i 2 nalaze se u GJ Lacić-Gložđe a piezometri 3, 4 i 5 u GJ Budigošće Breza Lugovi na području Šumarije Koška. Ostali piezometri (11-15) nalaze se na području Šumarije Donji Miholjac. Slika 3-7 prikazuje nadmorske visine terena i dna cijevi analiziranih piezometarskih postaja. U razmatranje dinamike podzemne vode na istraživanom području obrađene su mjerene dubine podzemne vode na najdubljim cijevima (7,0 m).

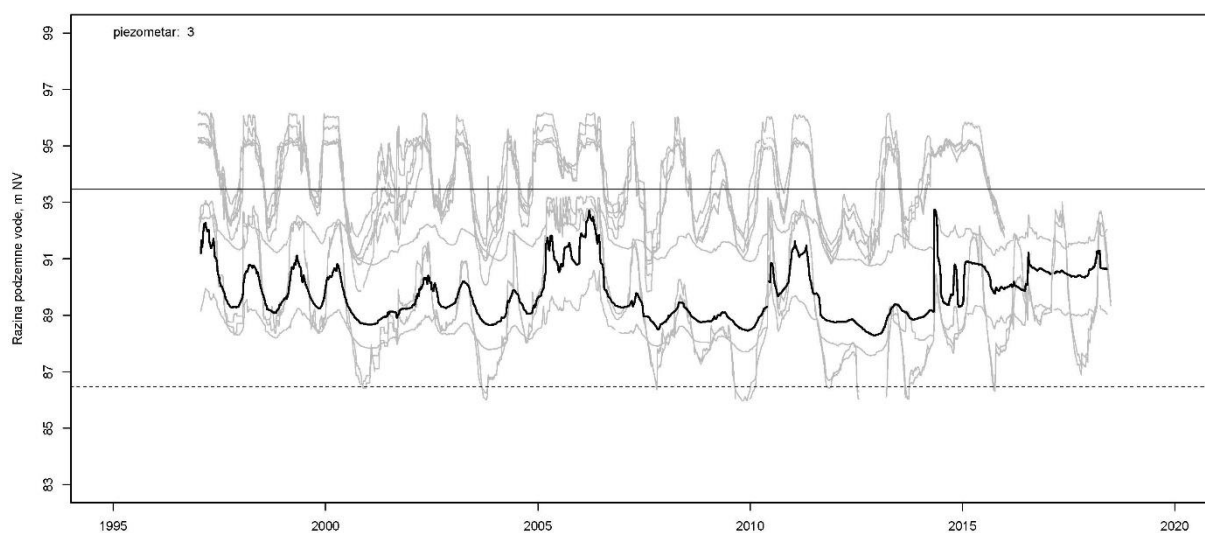
U nastavku se donosi prikaz dinamike kretanja podzemne vode na svih 10 istraživanih piezometarskih postaja. Razine podzemne vode prikazane su u metrima nadmorske visine, za svaki je piezometar označena kota terena i kota dna piezometarske cijevi, te su za usporedbu na svakom grafikonu prikazane i dinamike podzemne vode na ostalim analiziranim piezometrima.



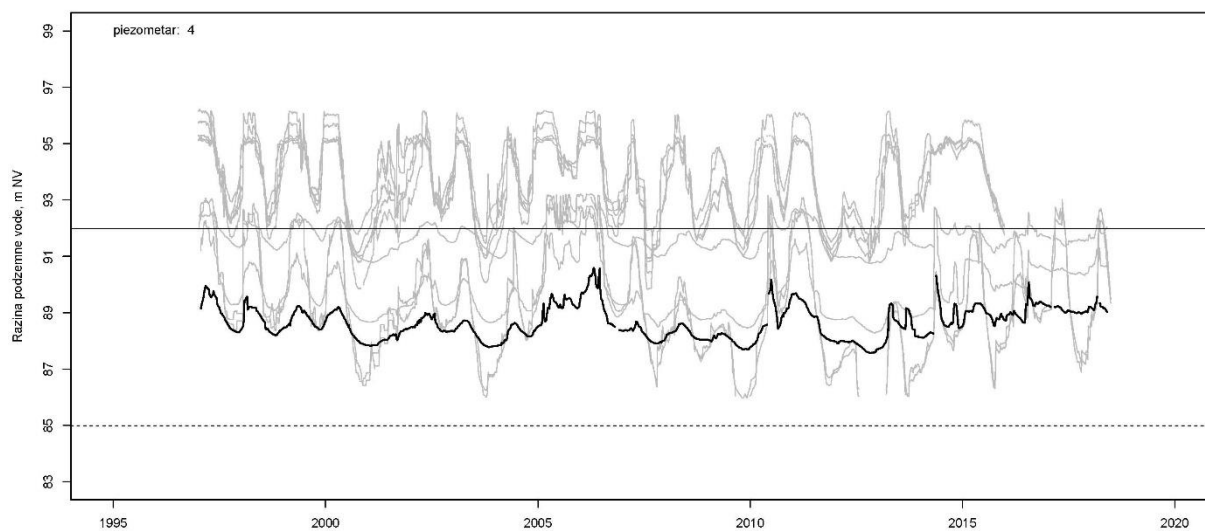
Slika 3-8 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 1 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)



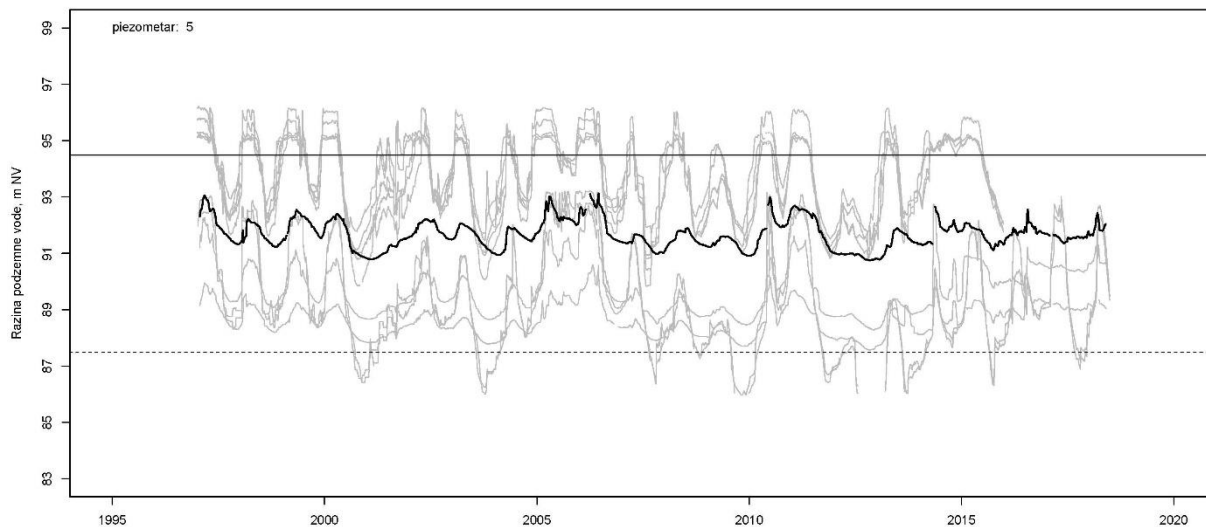
Slika 3-9 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 2 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)



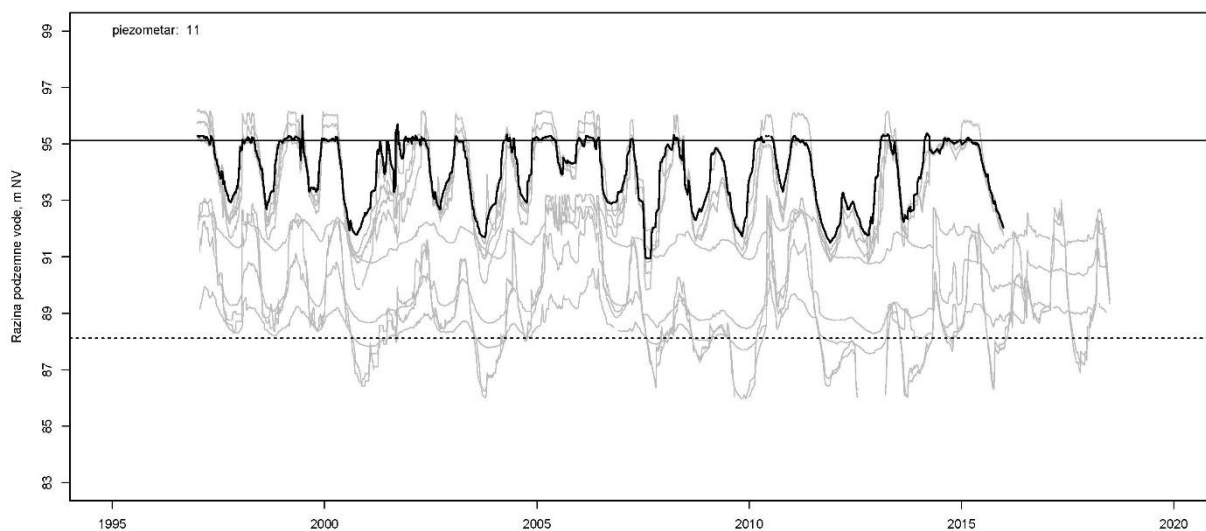
Slika 3-10 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 3 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)



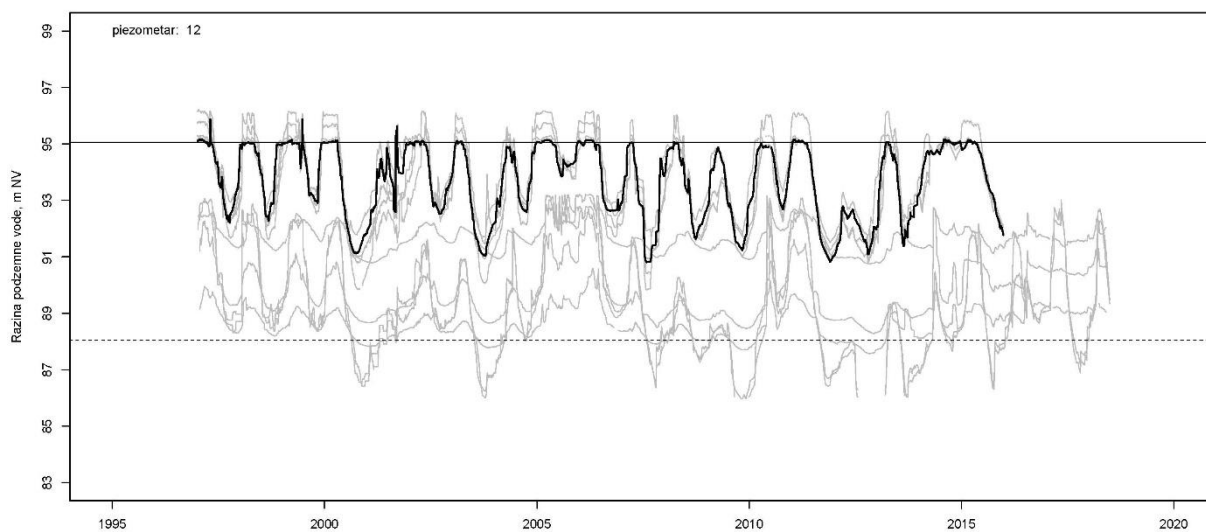
Slika 3-11 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 4 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)



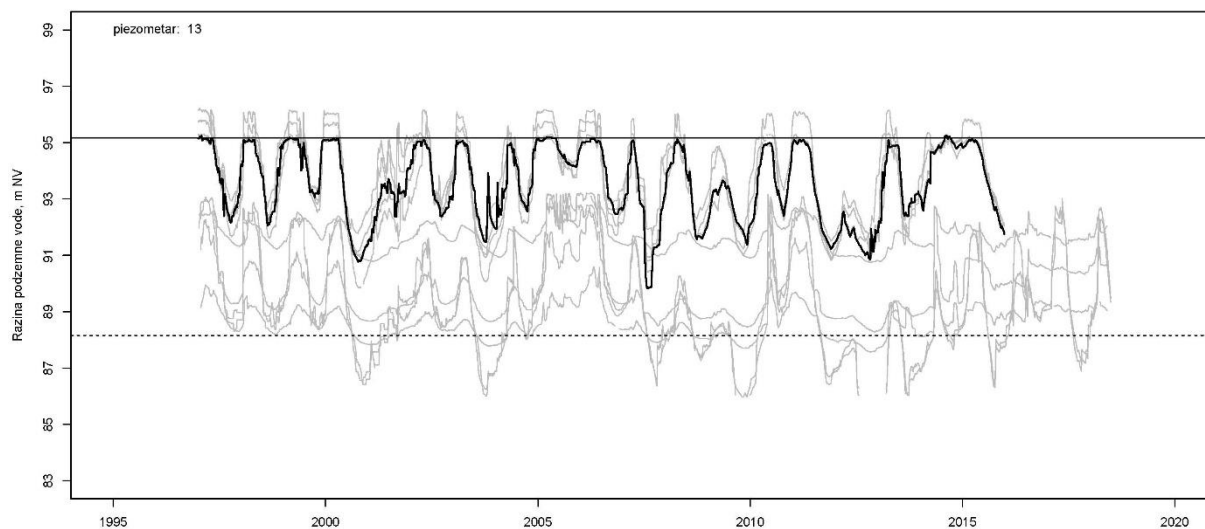
Slika 3-12 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 5 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)



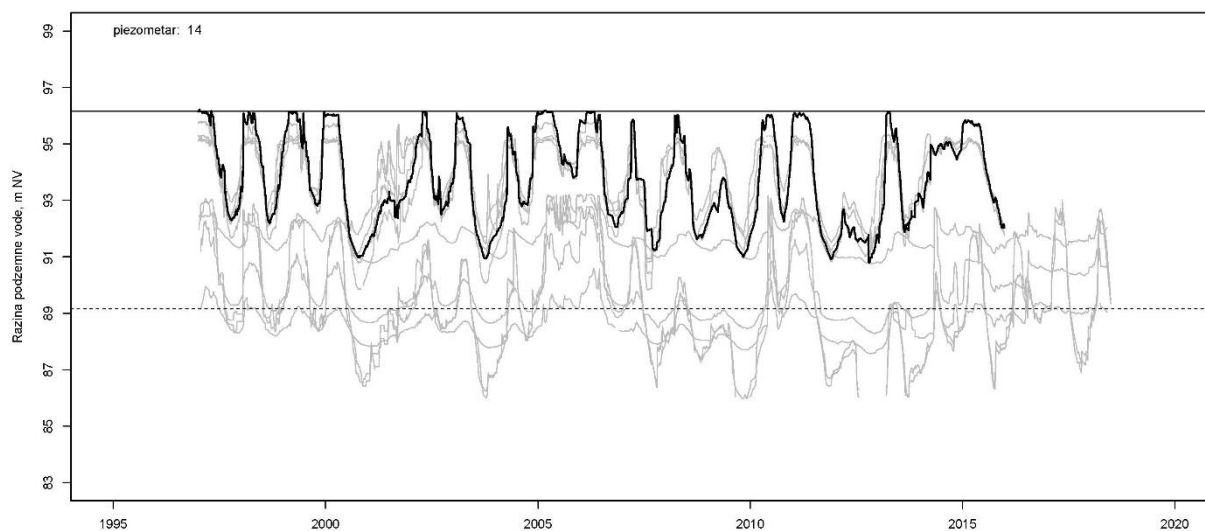
Slika 3-13 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 11 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)



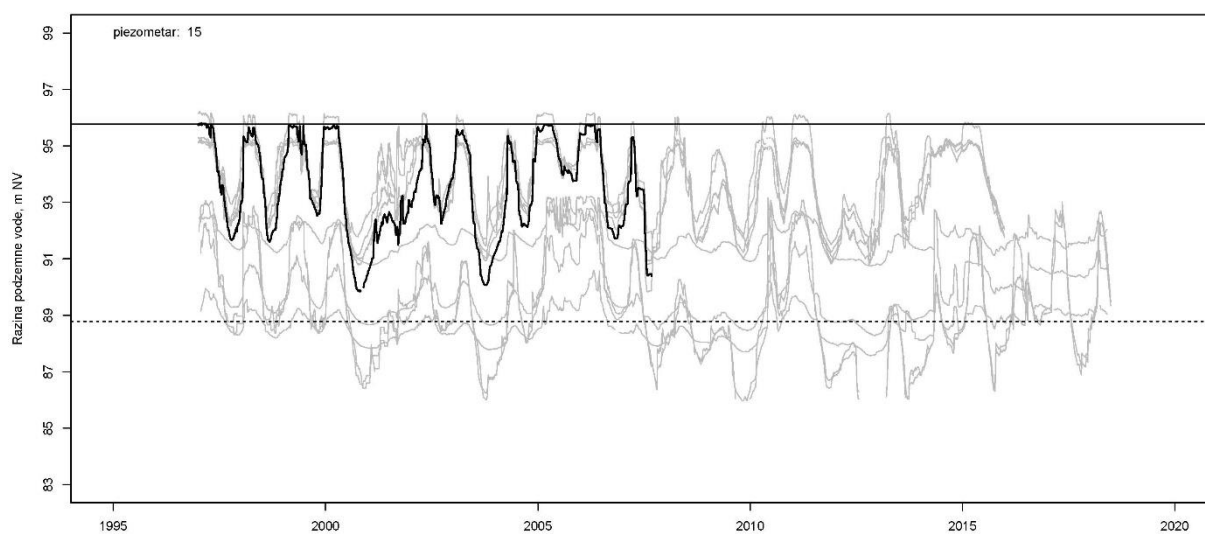
Slika 3-14 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 12 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)



Slika 3-15 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 13 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)



Slika 3-16 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 14 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)



Slika 3-17 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 15 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)

3.3 Procjene budućih klimatskih promjena područja istraživanja

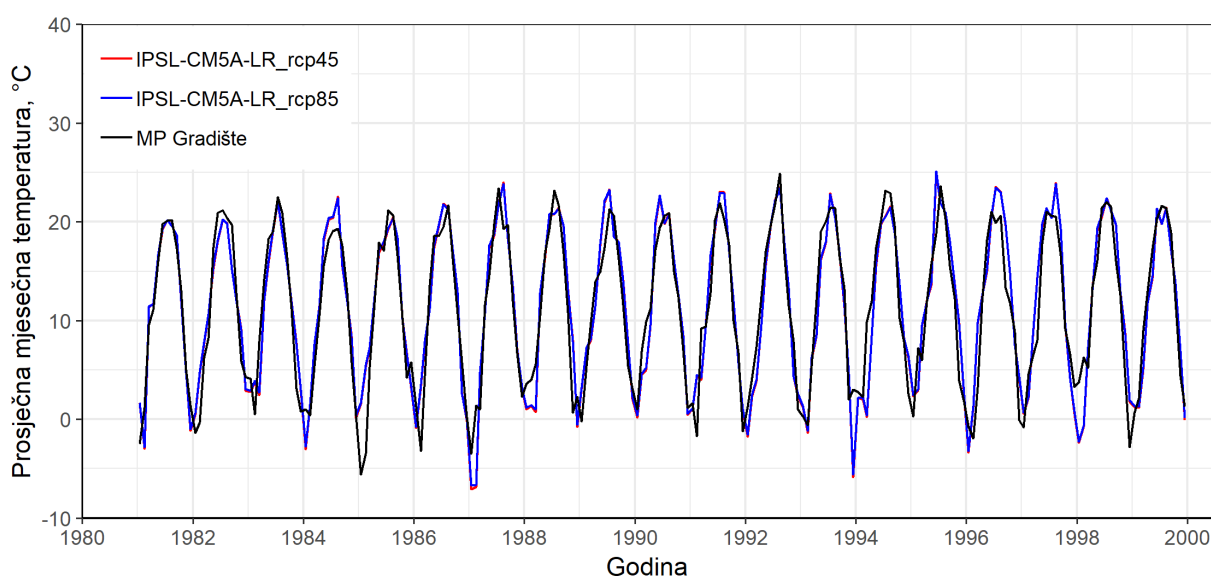
Za potrebe procjene razvoja hidroloških prilika na području šumarije Koška u uvjetima klimatskih promjena, preuzeti su podaci s mrežno dostupnih izvora podataka o budućim klimatskim promjenama. Za preuzimanje podataka korišten je portal *Copernicus Data Store* (<https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home>) Europske Unije na kojem su na raspolaganje stavljeni prostorno definirani rezultati globalnih klimatskih modela.

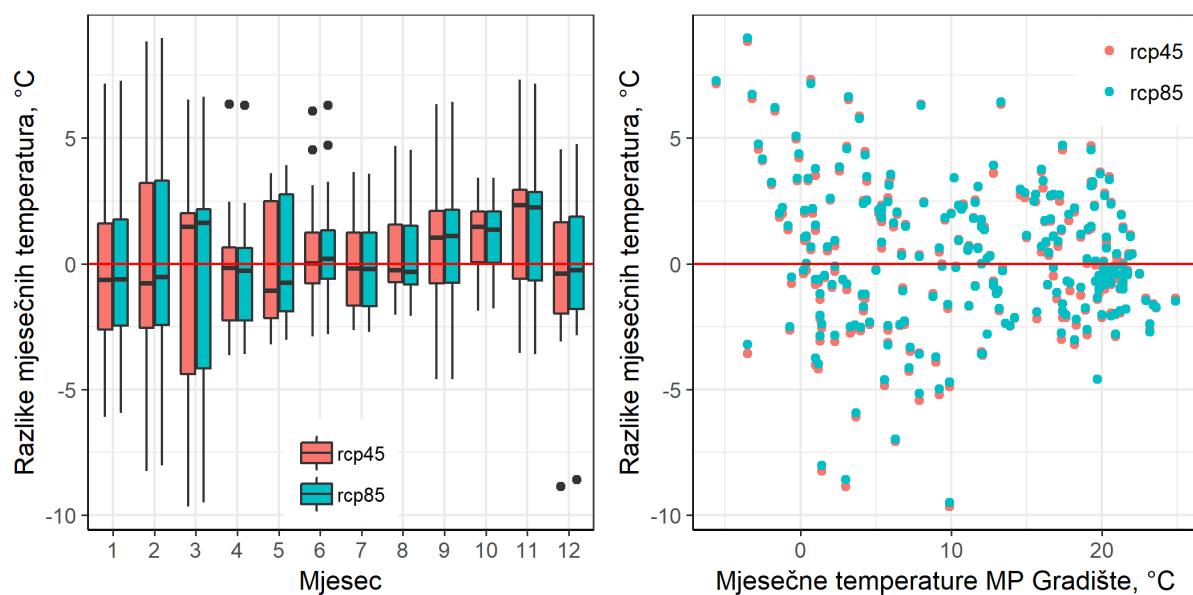
Za potrebe ove studije preuzeti su podaci iz dva globalna cirkulacijska modela (GCM) i za dva scenarija emisija stakleničkih plinova (RCP / *Representative Concentration Pathway* / 4.5 – "optimistični" i 8.5 – "pesimistični"). Prema scenariju RCP 4.5 do godine 2100. doći će do povećanja prosječne globalne temperature za 2,8°C veće od pred-industrijskih vrijednosti. Ograničavanje globalnog zagrijavanja na razini ovoga scenarija zahtijeva agresivnije međunarodne napore u smanjenju emisija stakleničkih plinova, no i prema tome scenariju neće se uspjeti postići cilj pariškog sporazuma iz 2015. godine o zadržavanju globalnoga zagrijavanja ispod 2°C. Emisija stakleničkih plinova prema scenariju RCP8.5 dovesti će do zagrijavanja koje će do kraja stoljeća biti za oko 4,5°C veće od predindustrijskih vrijednosti. Ovaj scenarij predstavlja pesimistične izgleda prema kojima međunarodna zajednica ne usporava iskorištavanje fosilnih goriva na globalnoj razini, pa posljedično niti ne smanjuje emisije ugljika u atmosferu.

Korišteni su rezultati francuskog modela IPSL-CM5A-LR i njemačkog modela MPI-ESM-LR. Podaci su preuzeti za geografsku lokaciju šumarije Koška (koordinate: 45.55N, 18.30E), te za geografsku lokaciju meteorološke postaje Gradište čiji su podaci korišteni za procjenu pouzdanosti modelnih rezultata (koordinate: 45.15N i 18.71E).

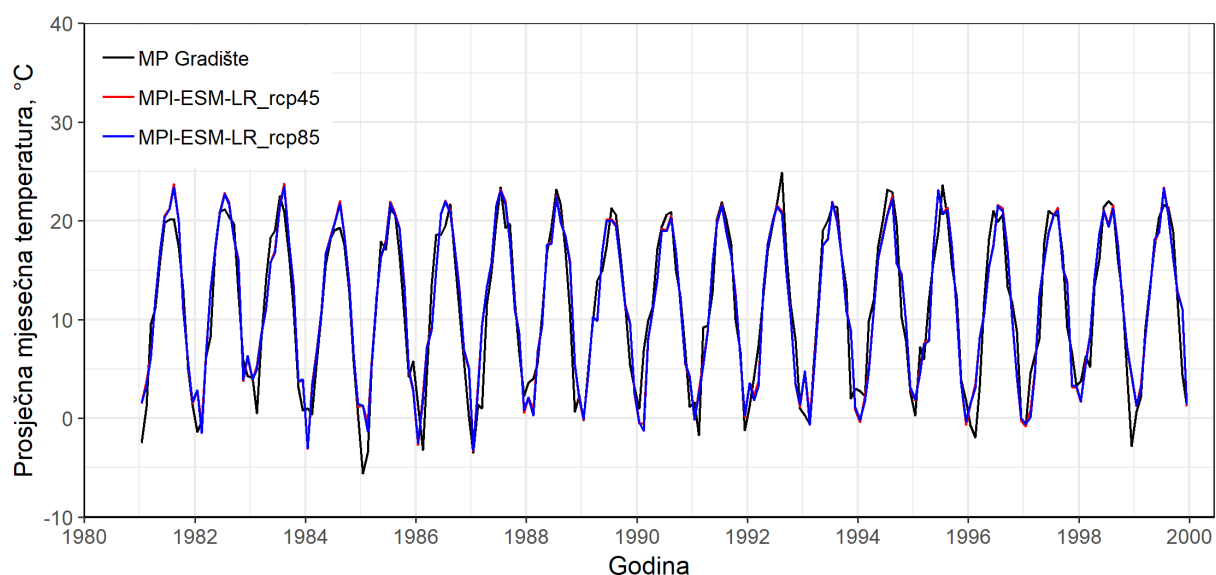
Preuzeti su podaci na dnevnoj vremenskoj razlučivosti za prosječnu dnevnu temperaturu na 2 m iznad tla i za dnevnu količinu oborina. Modelni podaci prvo su preračunati u °C i mm oborina, a zatim su agregirani na odgovarajući način na mjesečnu razinu (mjesečni srednjak u slučaju temperatura (°C) i mjesečna suma u slučaju oborina (mm)).

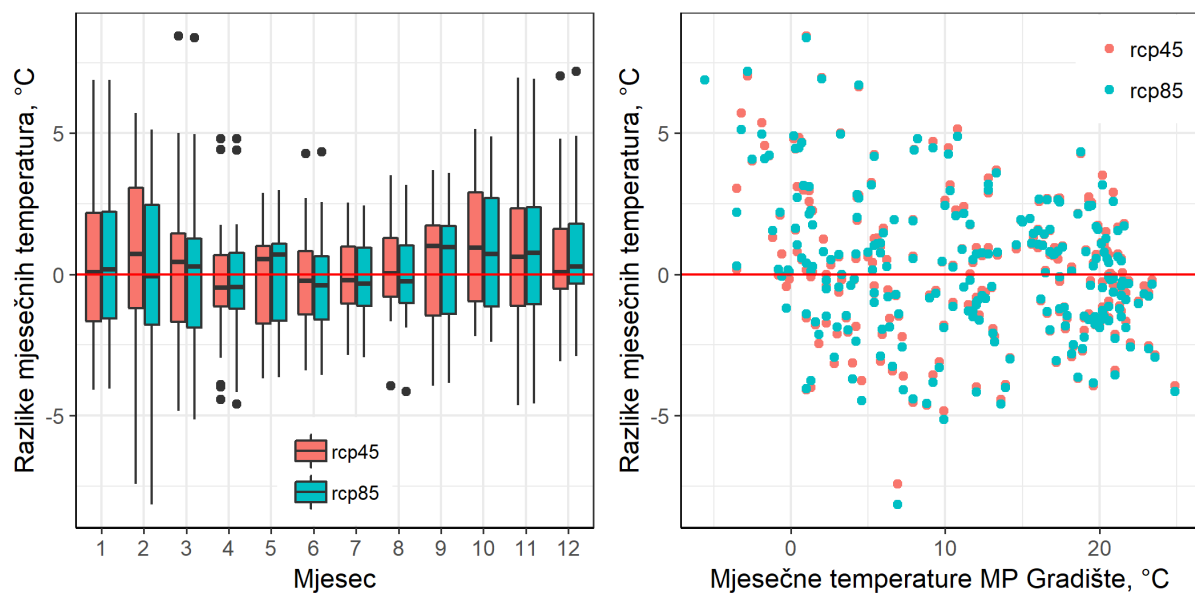
Podaci iz globalnih cirkulacijskih modela provjereni su usporedbom s mjerenim podacima na meteorološkoj postaji Gradište za razdoblje od siječnja 1981. do prosinca 1999. godine (razdoblje od 19 godina i 228 mjesečnih vrijednosti). Uspoređeni su podaci za temperature i oborine na mjesečnoj, sezonskoj i godišnjoj vremenskoj razlučivosti. Rezultati usporedbe donose se u grafikonima u nastavku.



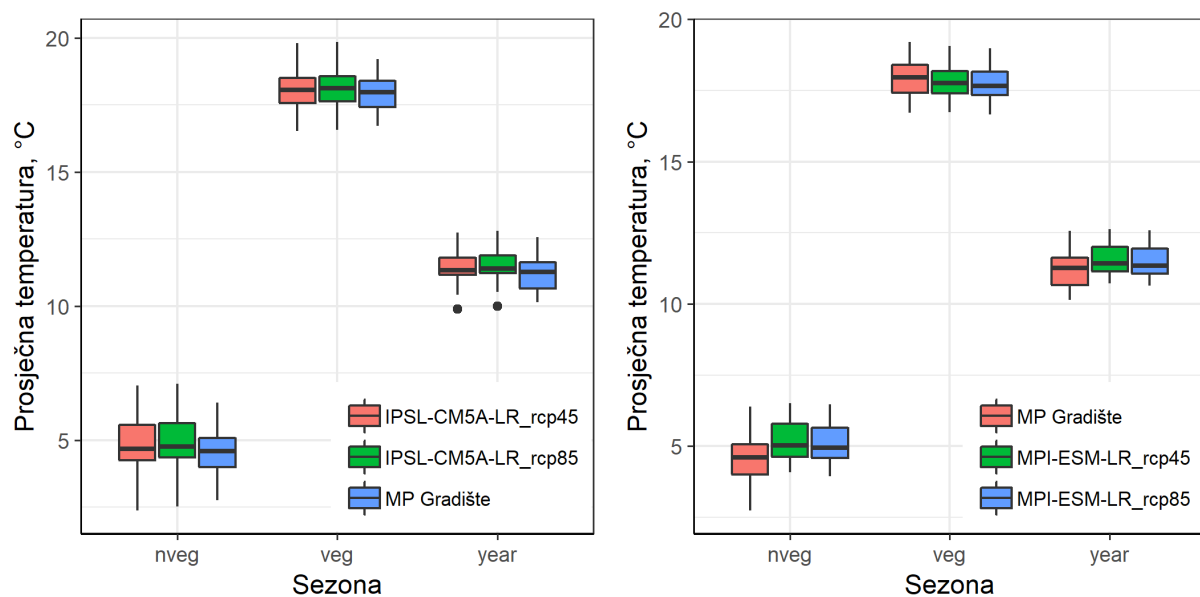


Slika 3-18 Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura modela IPSL-CM5A-LR za dva scenarija (RCP 4.5 i 8.5) s mjerenim podacima na meteorološkoj postaji Gradište: gornji panel – vremenski niz, donji lijevi panel – odstupanja po mjesecima, donji desni panel – razlika modelnih i mjerenih podataka u odnosu na mjerene podatke

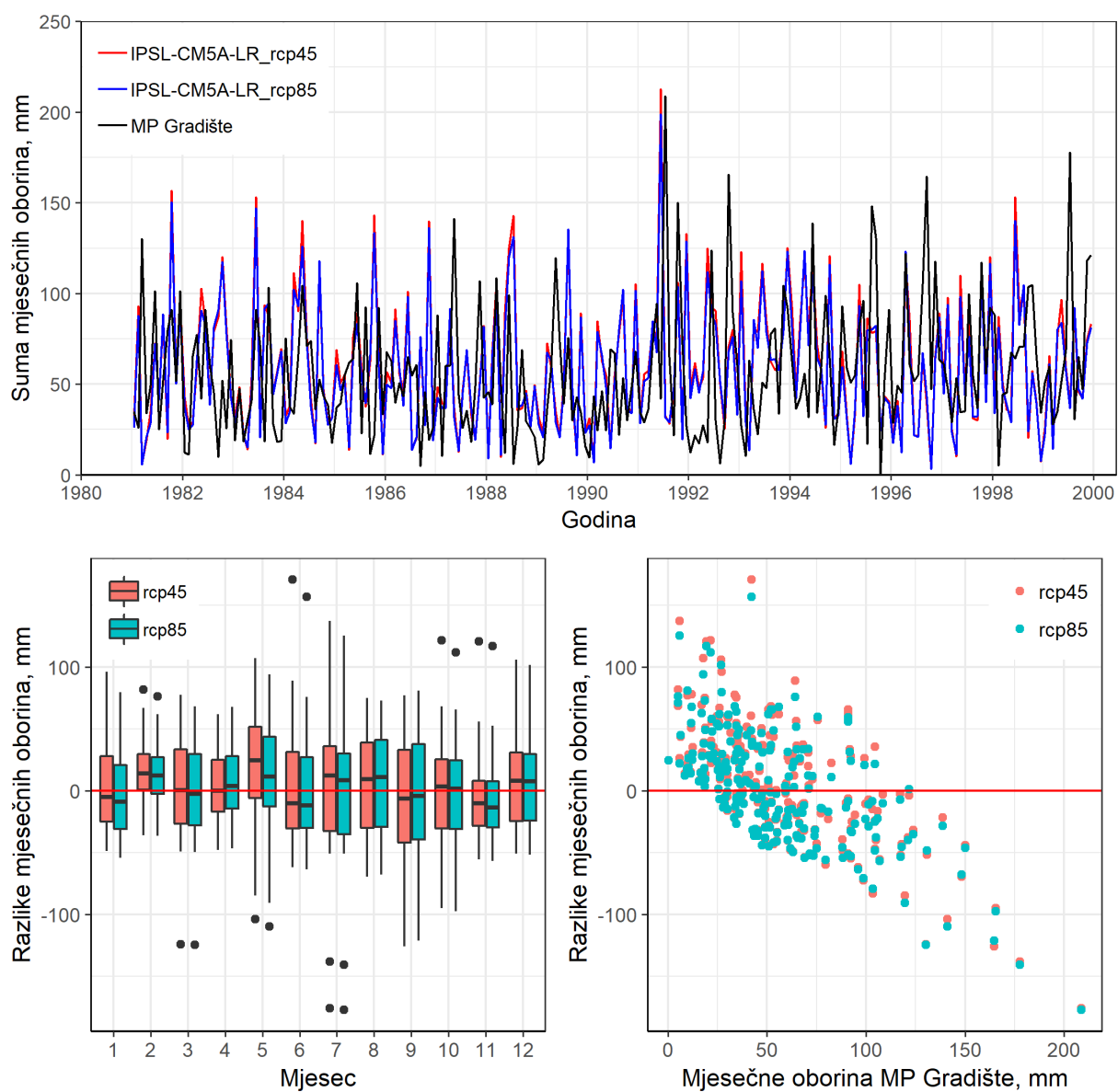




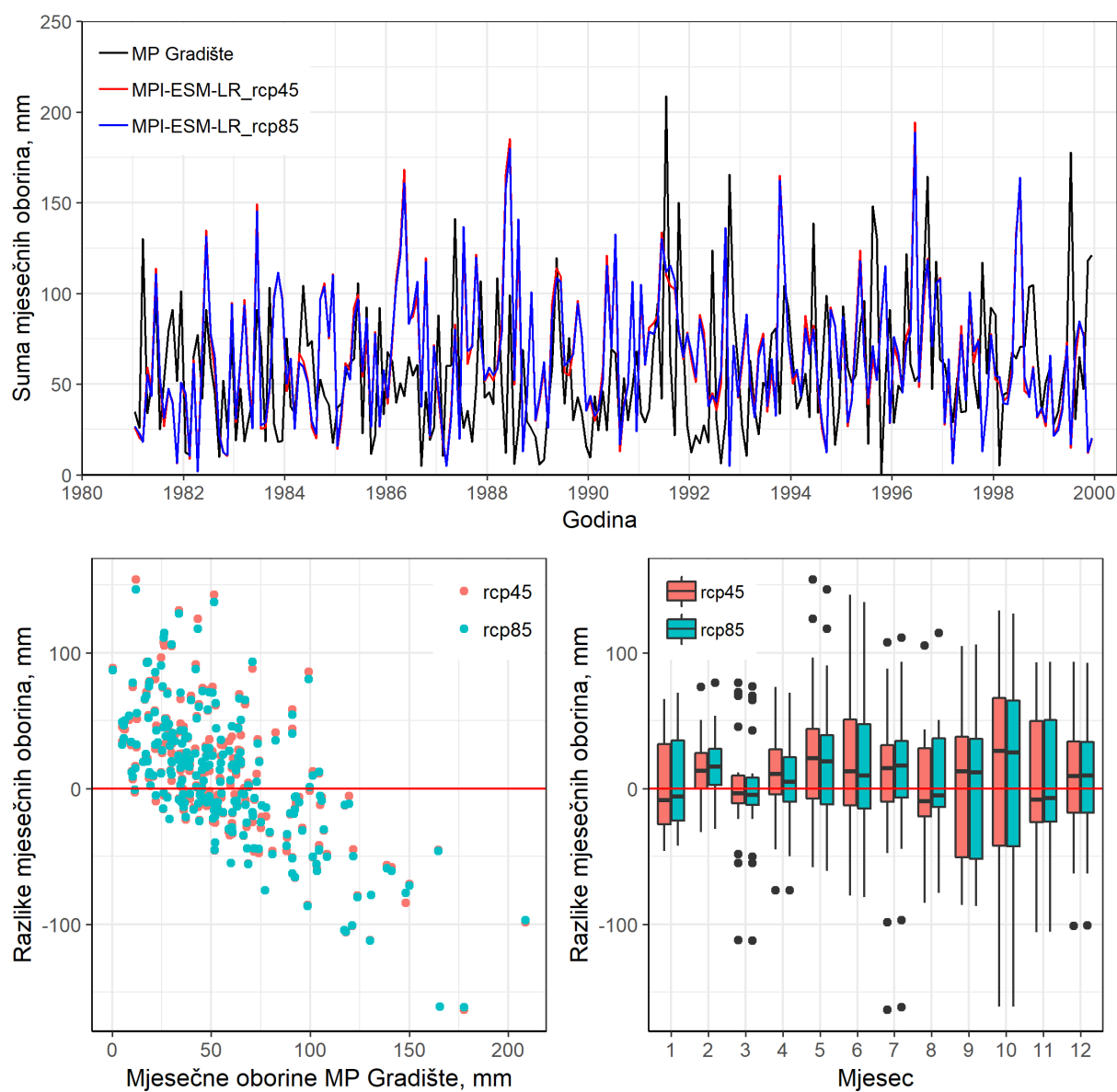
Slika 3-19 Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura modela MPI-ESM-LR za dva scenarija (RCP 4.5 i 8.5) s mjerenim podacima na meteorološkoj postaji Gradište: gornji panel – vremenski niz, donji lijevi panel – odstupanja po mjesecima, donji desni panel – razlika modelnih i mjerenih podataka u odnosu na mjerene podatke



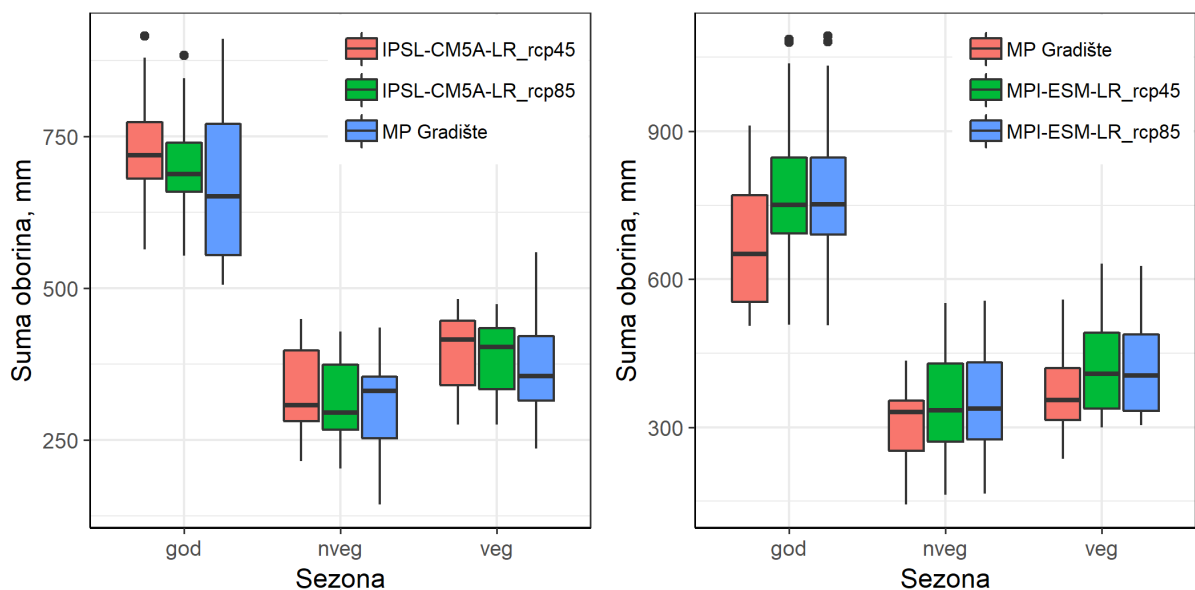
Slika 3-20 Usporedba modelnih podataka s mjerenim podacima na sezonskoj razini, lijevi panel – model IPSL-CM5A-LR, desni panel model MPI-ESM-LR; nveg – mjeseci izvan vegetacijskog razdoblja (1.-3. i 10.12.), veg – mjeseci vegetacijskog razdoblja (4.-9.), year – godišnje prosječne vrijednosti



Slika 3-21 Usporedba sume mjesečnih oborina modela IPSL-CM5A-LR za dva scenarija (RCP 4.5 i 8.5) s mjerenim podacima na meteorološkoj postaji Gradište: gornji panel – vremenski niz, donji lijevi panel – odstupanja po mjesecima, donji desni panel – razlika modelnih i mjerenih podataka u odnosu na mjerene podatke

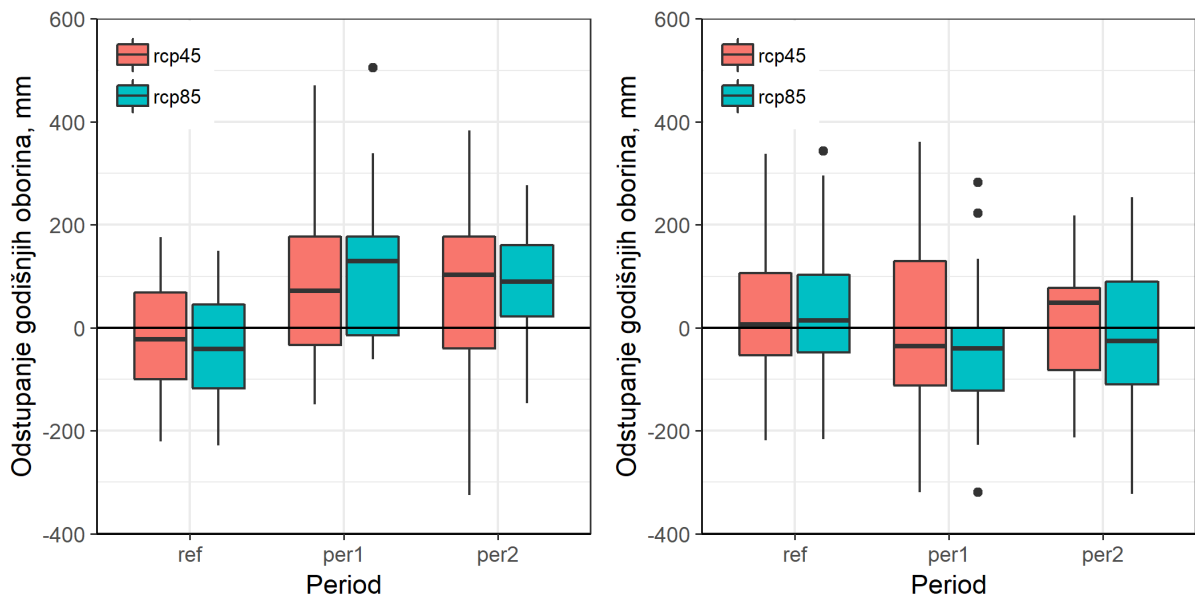


Slika 3-22 Usporedba sume mjesečnih oborina modela MPI-ESM-LR za dva scenarija (RCP 4.5 i 8.5) s mjerenim podacima na meteorološkoj postaji Gradište: gornji panel – vremenski niz, donji lijevi panel – odstupanja po mjesecima, donji desni panel – razlika modelnih i mjerenih podataka u odnosu na mjerene podatke

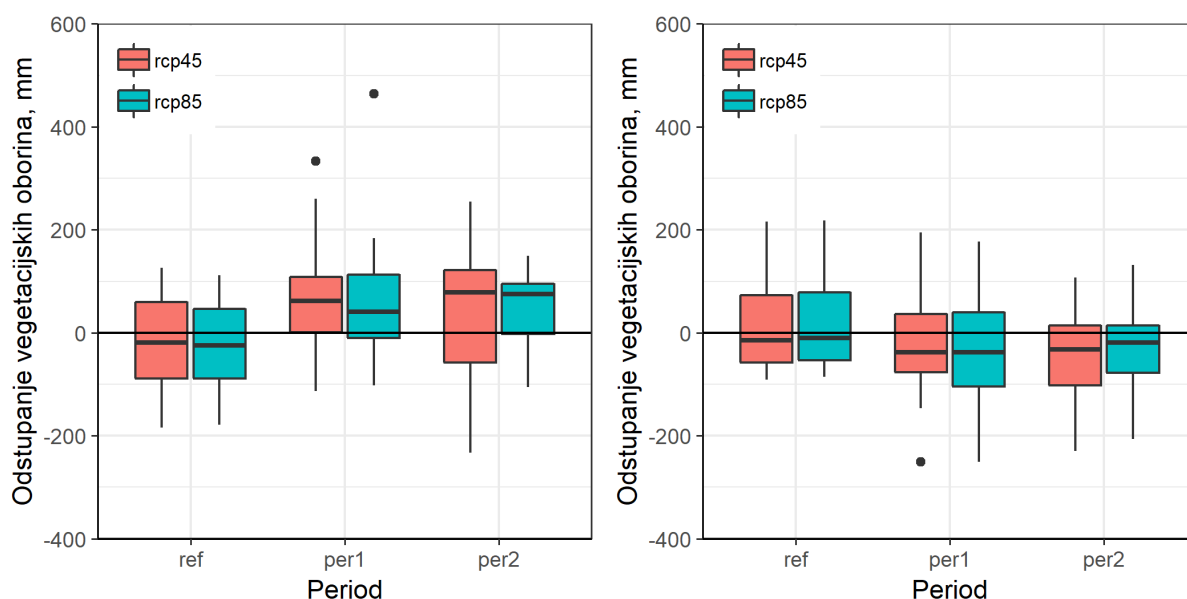


Slika 3-23 Usporedba modelnih podataka s mjerenim podacima na sezonskoj razini, lijevi panel – model IPSL-CM5A-LR, desni panel model MPI-ESM-LR; nveg – mjeseci izvan vegetacijskog razdoblja (1.-3. i 10.12.), veg – mjeseci vegetacijskog razdoblja (4.-9.), year – godišnje prosječne vrijednosti

Temeljem preuzetih podataka izrađene su projekcije klimatskih promjena u narednom kratkoročnom razdoblju (do 2049. godine). Vrijednosti klimatskih parametara prema preuzetim globalnim cirkulacijskim modelima prikazani su na grafikonima u nastavku. Očekivane klimatske promjene prikazane su kao odstupanja od prosječnih vrijednosti za razdoblje od 1970. do 1999. godine za temperature i oborine. Odstupanja su prikazana na godišnjoj razini i na razini vegetacijskog razdoblja (4. do 9. mjesec).



Slika 3-24 Projekcije promjena godišnje sume oborina prema modelima IPSL (Lijevo panel) i MPI (desni panel) u odnosu na referentno razdoblje (1970-1999), period 1 (per1 – 2000-2024) i period 2 (per2 – 2025-2049)



Slika 3-25 Projektije promjena sume oborina u vegetacijskom razdoblju (4.-9.mjesec) prema modelima IPSL (Lijevi panel) i MPI (desni panel) u odnosu na referentno razdoblje (1970-1999), period 1 (per1 – 2000-2024) i period 2 (per2 – 2025-2049)

3.3.1 Klimatske promjene i njihov utjecaj na šumske ekosustave

Klima je egzogeni (vanjski), okolišni utjecajni čimbenik koji djeluje na regionalnoj razini na razvoj vegetacije, te definira kontekst (okvirne uvjete) za lokalne reakcije rasta stabala na razini sastojine (Guarin i Taylor 2005). Od 80-ih godina prošloga stoljeća na ovamo, sve su vidljiviji indikatori koji ukazuju na značajne promjene klimatskih uvjeta diljem Zemlje. Klimatskim se promjenama zajednički nazivaju promjene u mnogim parametrima klime do kojih dolazi kao posljedica povećanja prosječne globalne temperature planeta. Prema zadnjem izvješću Međunarodnoga panela za klimatske promjene (IPCC 2013), od 1950.-ih godina povećala se temperatura atmosfere i oceana, smanjila se količina snijega i leda, povećala se razina mora, te se povećala koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi.

Do povećanja globalne temperature dolazi uslijed tzv. "efekta staklenika" koji nastaje zbog povećanja koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi (GHG). Staklenički plinovi apsorbiraju dugovalni dio Sunčevoga zračenja reflektiran s površine Zemlje, te ga zadržavaju u atmosferi.

Među stakleničkim plinovima najveći utjecaj na povećanje globalne temperature ima ugljični dioksid - CO₂ (IPCC 2013). O utjecaju ugljičnoga dioksida na globalnu temperaturu prvi znanstveni prinos pojavio se već 1896. godine (Rodhe i dr. 1997). U tome radu švedski znanstvenik Svente Arrhenius kvantificira doprinos ugljičnoga dioksida efektu staklenika, te postavlja pitanje da li kolebanje koncentracije CO₂ u atmosferi doprinosi dugoročnome kolebanju klimatskih uvjeta, prvenstveno temperature zraka (Arrhenius 1896). Sadašnja razina ugljičnoga dioksida u atmosferi najveća je u zadnjih 800 000 godina, a u odnosu na razinu od prije početka industrijske revolucije, povećanje iznosi 40% (IPCC 2013).

Primarni izvor povećanja CO₂ u atmosferi je izgaranje fosilnih goriva, dok se povećanje emisije CO₂ može detektirati i u drugim oblicima ljudskog djelovanja. Međunarodni panel za klimatske promjene ocjenjuje nedvosmisleno klimatske promjene kao posljedicu ljudskih aktivnosti. U javnosti se ponekada mogu čuti rasprave o tome jesu li uistinu ljudske aktivnosti dominantni uzročnik klimatskih promjena. Međutim, u znanstvenoj zajednici postoji izraziti konsenzus po ovome pitanju. Prema Cook i dr. (2013) koji su analizirali niz znanstvenih članaka iz područja klimatskih promjena objavljene od 1991. do 2011. godine, čak 97% članaka govori u prilog tvrdnji o antropogenome uzroku klimatskih promjena.

Intenzitet negativnoga utjecaja klimatskih promjena kao rezultata povećanja koncentracije CO₂, ne ovisi samo o magnitudi promjena koje se dešavaju, nego i mogućnosti zaustavljanja toga procesa. Solomon i dr. (2009) su utvrdili da se trend klimatskih promjena može nastaviti i do 1000 godina nakon što bi se u potpunosti uklonili svi antropogeni izvori emisija CO₂. Uzimajući u vidu ovu činjenicu, znanstvena se zajednica u zadnje vrijeme sve više bavi i mogućnostima adaptacije ekosustava na nove klimatske uvjete do kojih će sigurno doći.

Na regionalnoj razini promjene globalne klime mogu se različito očitovati. (IPCC 2013) U Europi su godišnje temperature u razdoblju od 1981 do 2010. godine porasle više od globalnoga prosjeka. Od 1950. godine porastao je broj toplih dana i noći uz smanjenje broja hladnih. Tijekom zadnja četiri desetljeća primijećeno je povećanje intenziteta i učestalosti ekstremnih kišnih događaja, posebice u zimskome razdoblju.

Prema projekcijama IPCC (2013), u narednih se stotinu godina, uz povećanje globalne temperature, u sjevernoj i središnjoj Europi može očekivati i povećanje prosječne godišnje količine oborina u zimskome dijelu godine. Prema istim projekcijama, u sjevernoj i srednjoj Europi u vegetacijskom razdoblju (travanj - rujan) doći će samo do manjih promjena u količinama oborina, dok bi na području Mediterana moglo doći do značajnih smanjenja oborina. Temperature u zimskome razdoblju porast će više u sjevernoj Europi, dok će ljeta biti toplija u središnjoj Europi na području Mediterana. S vrlo velikom vjerojatnošću se predviđa daljnje povećanje trajanja, učestalosti i intenziteta sušnih razdoblja i toplinskih valova na području cijele Europe (Fischer i Schär 2010).

Na području Hrvatske utvrđene su statistički značajan porast temperatura zraka nakon 1988. godine, a srednje godišnje temperature zraka porasle su prosječno za 0,844 °C (Bonacci 2010). Branković i dr. (2012) donose neke projekcije budućih klimatskih značajki na području Hrvatske kroz usporedbu klimatskih značajki referentnoga razdoblja (1961. - 1990. godine) s razdoblje od narednih 30-ak godina (2011. - 2040. godine). Uz povećanje prosječne godišnje temperature zraka predviđa se i povećanje broja toplih dana (>30°C) 10 do 15% što će biti izraženije u priobalnome području (10 dana) negoli u kontinentalnome dijelu (3 do 4 dana). Broj dana s oborinama > 20 mm neznatno će porasti u istočnim kontinentalnim dijelovima, pretežito u jesenskome dijelu godine (rujan - studeni). Smanjit će se broj dana sa snježnim oborinama i to za oko 10%.

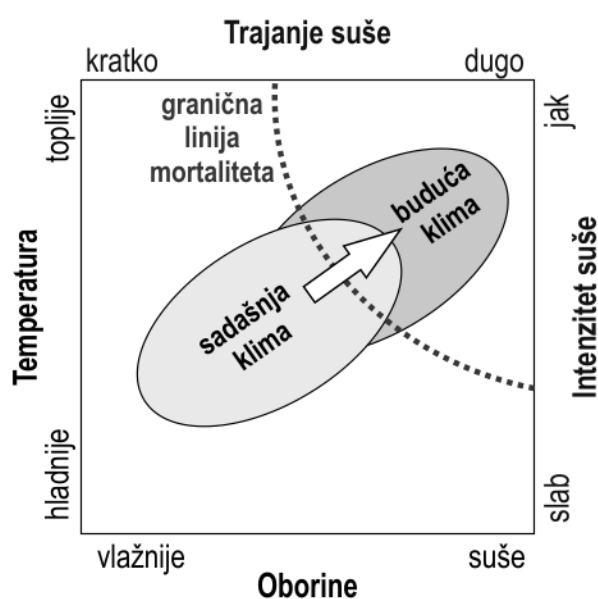
Ključne posljedice klimatskih promjena za koje se smatra da mogu značajno utjecati na šumske ekosustave su: promjene temperature, te količine i režima oborina, povećanje učestalosti i intenziteta ekstremnih klimatskih događaja (sušni ispadi ili olujni vjetrovi), promjene dinamike i rasprostranjenosti patogenih organizama kao posljedica novih klimatskih uvjeta (Anderegg i dr. 2012).

Razorni učinci novonastalih promjena već su evidentni u šumama Europe. U razdoblju od 1958. do 2001. godine najvažniji abiotski uzročnici šumskih šteta na Europskoj razini bili su jaki vjetrovi i šumski požari, dok su najvažniji biotski čimbenici bili napadi potkornjaka (Schelhaas i dr. 2003; Seidl i dr. 2011). Olujni su vjetrovi u tome razdoblju u prosjeku godišnje oštećivali 18,6 mil. m³ (oko 0,11% ukupne drvene zalihe), dok su šumski požari prosječno godišnje zahvaćali oko 149 000 ha (oko 0,11% ukupne šumske površine). Štete od potkornjaka u istom razdoblju iznosile su prosječno oko 2,88 mil m³ godišnje (oko 0,018% ukupne drvene zalihe). Što se tiče trenda oštećenja zbog navedena tri čimbenika, on je od 1958. do 2001. godine u stalnome porastu, i to oko +2,59% godišnje za oštećenja od vjetra, +4,23% godišnje za opožarene površine, te +5,31% godišnje za oštećenja od potkornjaka.

Prema Lindner i dr. (2010) utjecaji klimatskih promjena na šumske ekosustave mogu biti i pozitivni i negativni. U sjeverozapadnoj Europi očekuje se pozitivni učinak na rast stabala i proizvodnju drva kao posljedica veće koncentracije CO₂, većih temperatura i produljenja vegetacijske sezone (Myneni i dr. 1997). Nabuurs i dr. (2002) procjenjuju da bi zbog povećanoga rasta uslijed klimatskih promjena sječivi etat u europskim šumama mogao narasti za 87 mil. m³ na godišnjoj razini. S druge strane, povećanje suše i učestalosti vremenskih ekstrema donijet će negativne posljedice, pri čemu je vjerojatno da bi negativni učinci mogli nadmašiti pozitivne na području južne i istočne Europe.

Mortalitet stabala do kojega dolazi zbog suše i ekstremnih temperatura različitih od uobičajenih klimatskih obrazaca u kojima se sastojina razvijala, često puta uz međudjelovanje **insekata** i ostalih patogenih organizama, može se smatrati posljedicom djelovanja vanjskog, izvansastojinskog čimbenika (Anderegg i dr. 2012).

Povećanje mortaliteta u različitim ekosustavima koje se može povezati sa sve češćim i intenzivnijim sušama, kao i s povećanjem prosječne temperature dokumentirano je na svih šest kontinenata obraslih vegetacijom, kao i za mnoge biome na Zemlji (Allen i dr. 2010; McDowell i dr. 2011; McDowell i dr. 2008).



Slika 3-26. Konceptualni prikaz mogućeg povećanja mortaliteta stabala u uvjetima buduće toplije i suše klime (Allen i dr. 2010)

Obnova iscrpljenih zaliha vode u tlu nakon sušne sezone uvelike utječe na to hoće li se negativni učinci suše prenijeti i u sljedeću vegetacijsku sezonu (van der Molen i dr. 2011), tako da je intenzitet stresa koji suša može ostaviti na stablima šumskih sastojina ovisan ne samo o intenzitetu, nego i o trajanju suše. Na slici 13 konceptualno je prikazano moguće povećanje mortaliteta stabala zbog povećanja trajanja i intenziteta suše u uvjetima buduće klime (Allen i dr. 2010). Povećanje mortaliteta uslijed klimatskih promjena se prema tome prikazu najviše očekuje u onim staništima u kojima će doći do povećanja temperature i smanjenja količine oborina.

Jedna od posljedica klimatskih promjena je i prostorno pomicanje optimalne temperature zraka i dostupnosti vlage prema polovima i prema višim područjima (uzbrdo) (Fellows i Goulden 2013). Već prema fiziološkim

zahtjevima pojedinih vrsta to će utjecati i na njihove areale rasprostranjenja. Parmesan i Yohe (2003) su analizirajući globalne podatke za 1700 životinjskih i biljnih vrsta (uključujući drveće) pokazali da klimatske promjene već utječu na živuće sustave. Utvrdili su značajne pomake areala različitih vrsta i to brzinom od 6,1 km prema polovima ili 6,1 m u nadmorskoj visini po desetljeću, te sve ranije nastupanje proljeća i to za 2,3 dana po desetljeću.

Indirektno suša većeg ili manjeg intenziteta kao posljedica klimatskih promjena utječe na smrt stabala predstavljajući "okidač" za napade insekata i patogenih organizama, jer u stablima može inducirati stanje fiziološkoga stresa i smanjiti njihov obrambeni kapacitet prema napadima insekata (Guarin i Taylor 2005; Waring 1987)

Osim pozitivnoga utjecaja na fotosintezu, povećanje koncentracije CO₂ u atmosferi moglo bi izmijeniti i odnose između defolijatorskih insekata i stabala u sastojinama (Knepp i dr. 2005). Naime, za 12 vrsta tvrdih listača uzgajanih u uvjetima povišene koncentracije CO₂ ustanovljeno je smanjeno oštećivanje lišća od herbivornih insekata, zbog promjena kemijskih i fizičkih svojstava lista (Knepp i dr. 2005).

Također se mogu očekivati različite posljedice za šumske sastojine do kojih će doći uslijed promjena ili pomicanja kako areala patogenih organizama tako i njihovih domaćina (Cherubini i dr. 2002). Istraživanja pokazuju da je vrlo vjerojatno da će se mnogi aspekti napada insekata intenzivirati kako se klima nastavi zagrijavati (Logan i dr. 2003).

4 Preporuke za prilagodbu gospodarenja klimatskim promjenama

4.1 Smjernice za adaptaciju gospodarenja sastojinama hrasta lužnjaka

Provedenim analizama i uz konzultaciju dostupne literature definirano je nekoliko ključnih problema s kojima će se susresti, a već se uvelike i susreće, gospodarenje lužnjakovim sastojinama ako na istraživanom području Šumarija Donji Miholjac i Koška, tako i u cijelom lužnjakovom arealu u Hrvatskoj.

Ukratko, klimatske promjene na ovome području su već nastupile i u budućnosti donose promjene uvjeta za rast stabala hrasta lužnjaka u dva osnovna smjera. Postupnim povećanjem temperature mijenjaju se okvirni uvjeti za rast, posebice s obzirom na hidrološki ciklus. Povećanjem temperature povećava se i potencijalna evapotranspiracija te isparavanje s tla i vegetacije. Procjena promjena režima oborina nije pouzdana, ali vrlo vjerojatno će na godišnjim razinama količina oborina ostati ista, ili čak i nešto veća. No, vjerojatno će doći do promjena u rasporedu oborina tijekom godine.

Osim postupnih promjena okvirnih uvjeta za rast, povećat će se i učestalost i intenzitet ekstremnih vremenskih događaja. Vrlo je vjerojatna smjena vegetacijskih sezona koje će po svom karakteru biti ili vrlo sušne (veća učestalost pojavljivanja) ili ekstremno vlažne sa suviškom vode u ciklusu. Također se očekuje veća učestalost intenzivnih oluja sa snažnim vjetrovima koji najveće štete mogu napraviti ukoliko se zadrži postojeći način obnove sastojina na velikim površinama. Naime, olujni vjetrovi najveće štete donose u najvrjednijim sastojinama i najvrjednijim sortimentima, tj. u sastojinama koje se nalaze pred dovršnim sijekom. Uzimajući u obzir dobnu strukturu šumskih sastojina Šumarije Koška, površine šuma u ovome stadiju obnove će se povećavati u sljedećem razdoblju.

Također, oplodne sječe na velikim površinama dovode do značajnih promjena u mikroklimatskih uvjetima. Struktura mladih sastojina nepovoljnija je za neke ciljane vrste Natura 2000 mreže u odnosu na stare sastojine.

S obzirom na omjer smjese u našim sastojinama, posebice u sastojina uređajnoga razreda poljskog jasena, postoji veliki rizik od značajnih šteta ukoliko se pojave nove invazivne vrste šumskih štetnika. Naime, veliki je udio sastojina u kojima glavna vrsta drveća zauzima značajan udio. U slučaju pojave novog štetnika vezanog za samo jednu vrstu i njegove progradacije, moguće je očekivati značajna odumiranja stabala u kraćim vremenskim razdobljima (kao što je zadnjih nekoliko godina slučaj sa sastojinama poljskog jasena).

Uzimajući u obzir gore navedene probleme, u nastavku se donosi prijedlog adaptivnih mjera za gospodarenje sastojinama hrasta lužnjaka u istraživanom području. Mjere u ovome poglavlju odnose se na uzgojne zahvate, dok se posebno važne mjere hidrouzgojnih zahvata i potencijalne primjene LiDAR tehnologije donose u sljedećim poglavljima.

Provođenje oplodnih sječa na manjih površinama

Smanjenje površine na kojoj se obavljaju oplodne sječe donosi koristi za nekoliko problema. Oplodnim sječama na manjim površinama ne mijenja se značajno mikroklimatske uvjete što znači da je evaporacija vode značajno manja. U uvjetima budućih klimatskih promjena i u sušnim razdobljima ovo

će biti značajna mjera očuvanja vode u sustavu koja je potrebna za napredovanje mladih lužnjakovih stabala. Na ovaj se način štite i zalihe podzemne vode. Nadalje, oplodne sječe na manjim površinama povećavaju otpornost sastojina na olujne vjetrove čime se smanjuje oštećenje najvrjednijih stabala hrasta lužnjaka. Također se ovim načinom obnove sastojina čuvaju stanišni tipovi potrebni za opstanak ciljnih vrsta u Natura 2000 ekološkoj mreži.

Povećanje raznolikosti vrsta drveća u šumskim sastojinama

Potrebno je u značajnoj mjeri u budućim sastojinama Šumarije Koška povećati broj vrsta koje se u njima nalaze. S povećanjem brojnosti vrsta drveća izbjegavaju se potencijalno velike štete koje bi mogle nastati ukoliko se u ovim sastojinama pojave novi štetnici, ili ukoliko klimatski uvjeti pogoduju gradaciji i neuobičajeno velikoj brojnosti nekih štetnika koji do sada nisu izazivali veće štete.

Smanjiti gustoću lužnjakovih stabala po jedinici površine uz očuvanje pravilnoga rasporeda

Ovom se adaptivnom mjerom povoljno djeluje na povećanje otpornosti pojedinačnih stabala hrasta lužnjaka u šumskim sastojinama na djelovanje nepovoljnih klimatskih, stanišnih i biotskih čimbenika. Ukoliko se od samog osnutka sastojine vodi briga da se na raspolaganju svakom stablu hrasta lužnjaka pruži potrebni stajališni prostor, ova će stabla biti u mogućnosti razviti pravilne krošnje potrebne veličine, te razviti u tlu korijen koji može reagirati na promjene režima podzemne vode. Ovakva su stabla otpornija na stresne uvjete jer su u mogućnosti pohraniti dovoljne količine proizvoda fotosinteze koje mogu iskoristiti u uvjetima nepovoljnog rasta.

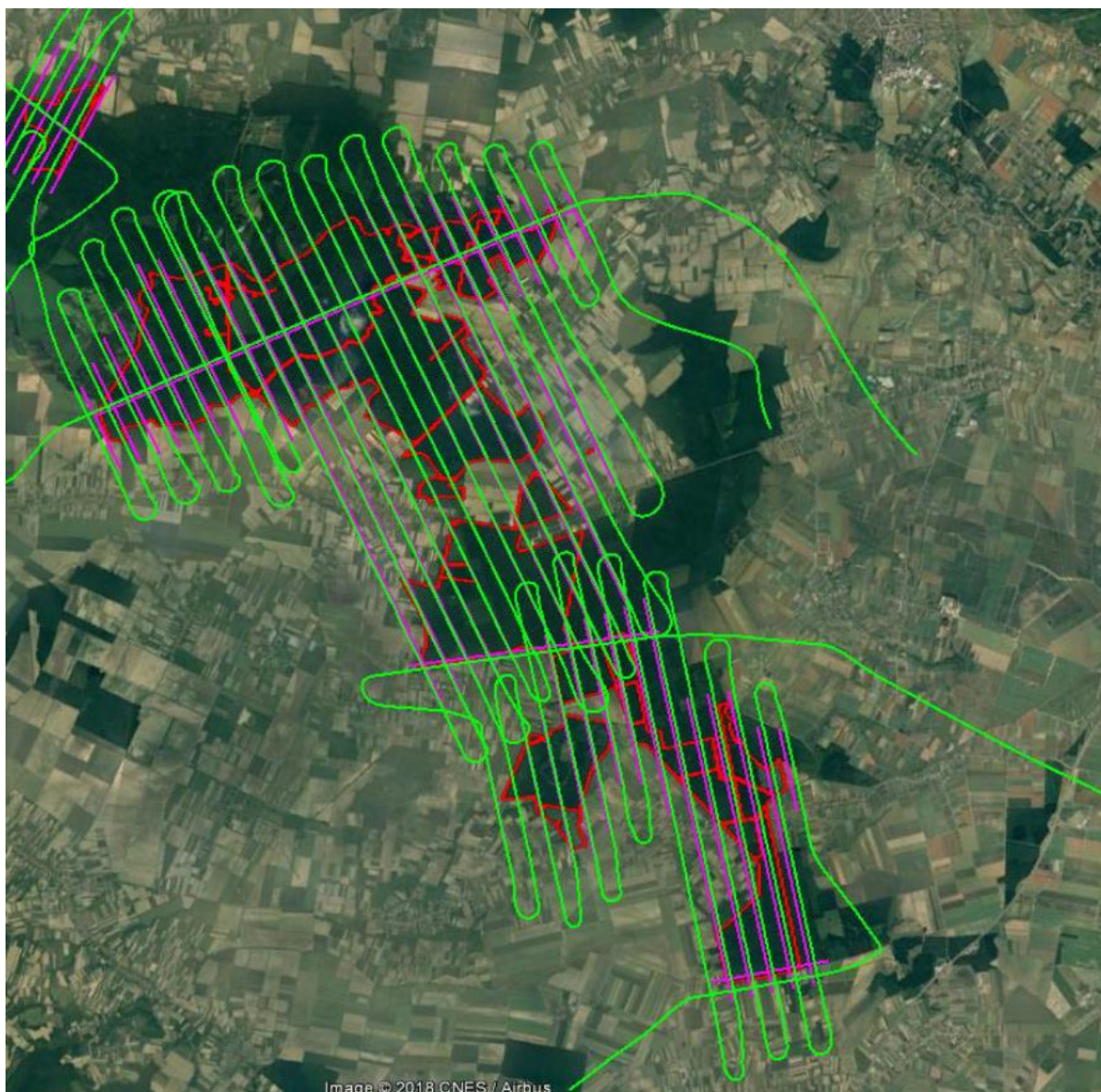
Povećati genetsku raznolikost sadnog materijala

Kod obnove sastojina potrebno je koristiti genetski materijal sa značajno većom genetskom raznolikošću. Drugim riječima, neće biti dovoljno samo povećati broj različitih vrsta drveća u šumskim sastojinama, nego će i svaka od tih vrsta zasebno trebati veću genetsku raznolikost. Ovim se načinom povećava širina moguće reakcije na promijenjene uvjete koji će na ovome području vladati za 30, 50 ili 100 godina. Naime, veća genetska raznolikost šumskog reprodukcijskog materijala osigurava veći raspon genetskih konstitucija čime se povećava adaptivna sposobnost stabala na buduće promjene.

4.2 Mogućnosti provedbe hidrouzgojnih adaptivnih mjera

4.2.1 Snimanje LiDAR podataka za područje istraživanja

U sklopu projekta prikupljene su LiDAR podloge odnosno snimke terena i vegetacije u dva navrata: u travnju 2018. godine i u travnju 2019. godine. LiDAR podaci sastoje se od iznimno velikog broja prostorno definiranih točaka (x, y, z) koje su dobivene snimanjem odbijenih laserskih zraka tijekom avionskog snimanja. Slika 4-1 prikazuje kretanje aviona s LiDAR opremom prilikom **provg** snimanja površina Šumarije Koška u travnju 2018. godine.



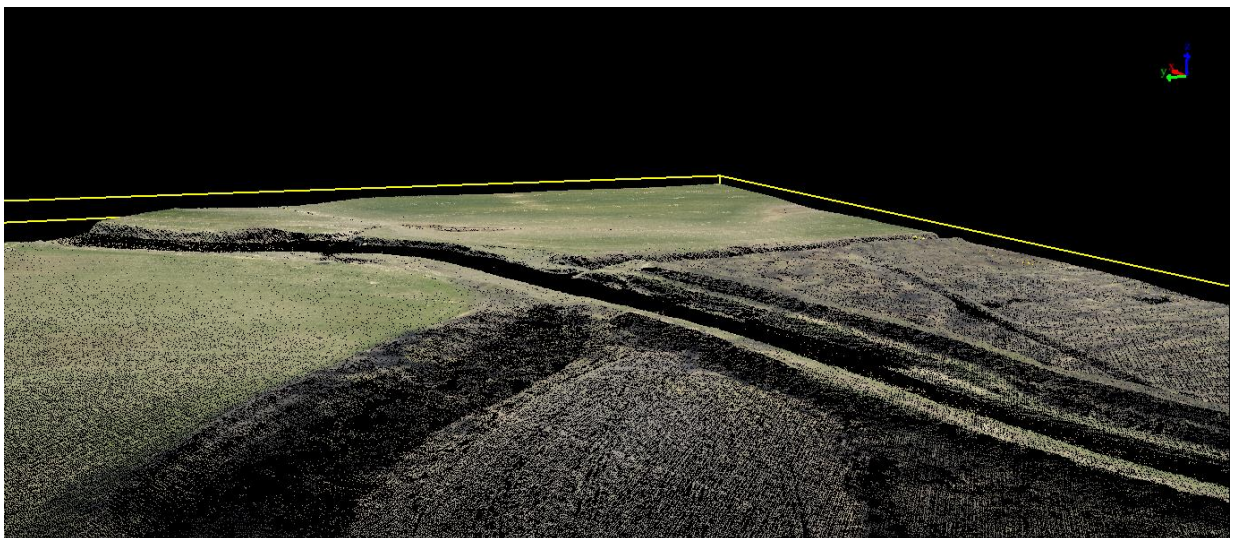
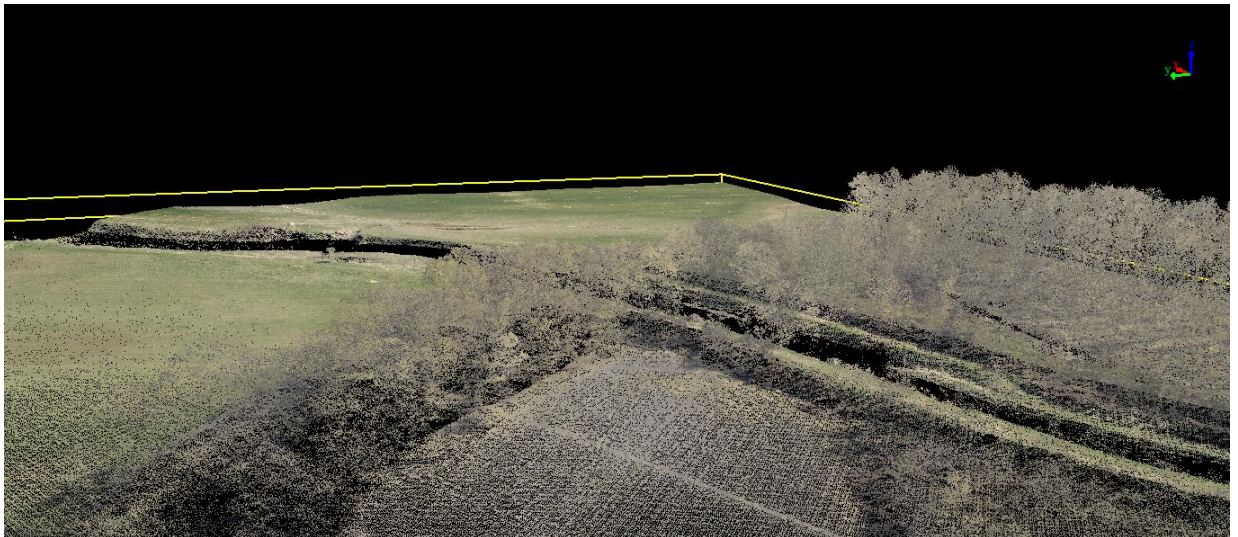
Slika 4-1 Kretanje aviona s LiDAR opremom za snimanje tijekom prvog snimanja Šumarije Koška u travnju 2018. godine

Za izradu ove studije preuzeti su rezultati oba snimanja (travanj 2018. i travanj 2019. godine) u tzv. LAS datotekama od kojih svaka datoteka pokriva kvadratnu površinu od oko 300x300 m. U LAS datotekama nalaze se prostorno definirane točke povrata laserskog signala s x, y i z koordinatama. Točke su u preuzetim datotekama bile klasificirane prema rednom broju povratka signala u:

- "first" – prvi povratak signala, označava površinu sloja krošanja,
- "last" – označava povratke laserskog signala koji su odbijeni od struktura u unutrašnjosti sastojine (grane krošanja, debla, grmlje) i tla,
- "ground" – označava točke klasificirane kao povratak signala odbijenoga od tla snimanih površina.

Sveukupno se u preuzetim datotekama nalazilo oko 1,5 milijardi točaka s x, y, z koordinatama, a ukupna veličina preuzetih i obrađenih datoteke iznosila je oko 350 GB.

Ovi su podaci iznimno precizni i mogu poslužiti kao izvrsna podloga za izradu detaljnog modela terena u svrhu određivanja potencijalnih lokacija hidrouzgojnih zahvata, te u svrhu praćenja (monitoringa) razvoja šumske vegetacije (Slika 4-2 i Slika 4-3).



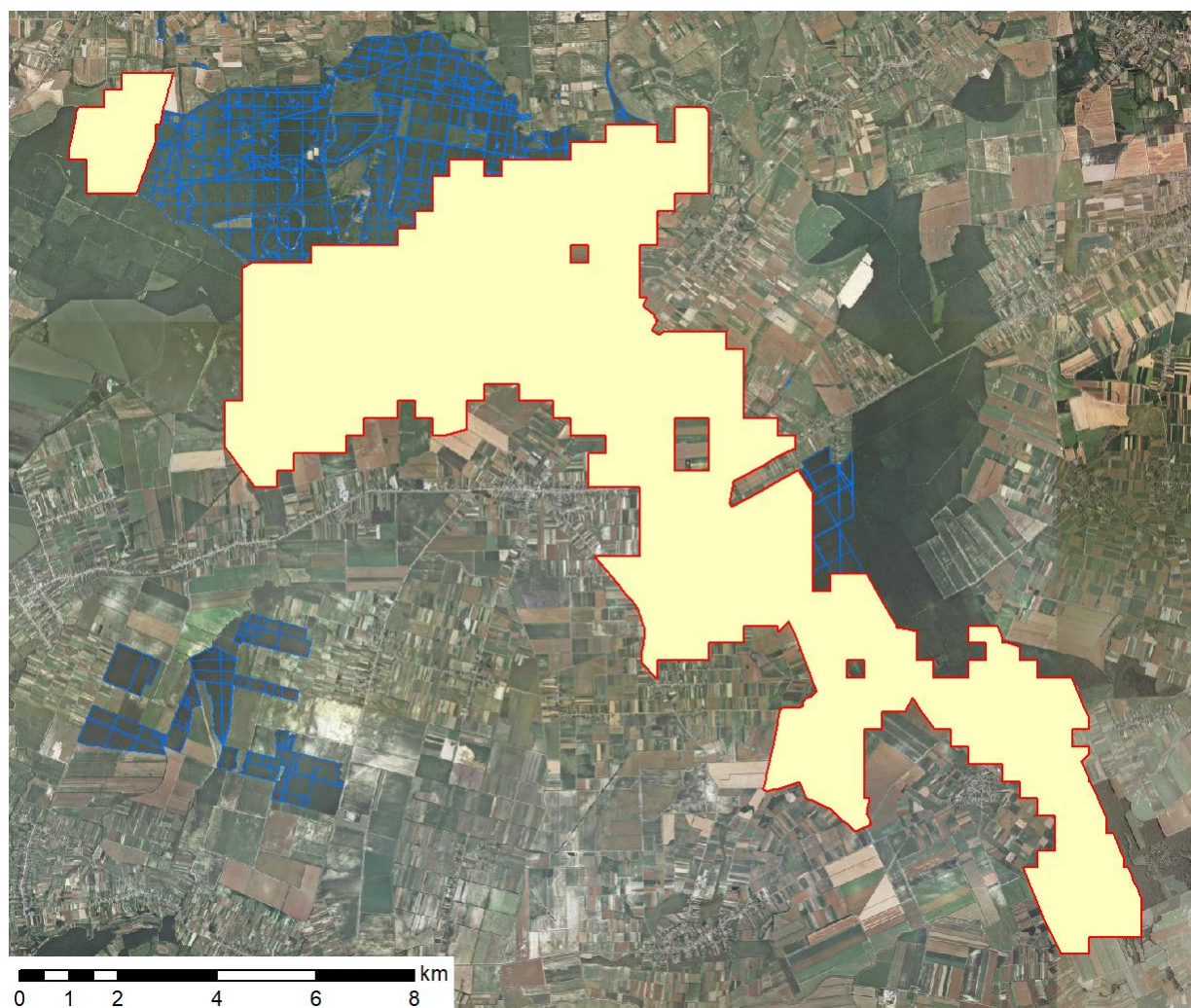
Slika 4-2 Prikaz dijela lidarskog oblaka podataka dobivenog snimanjem u travnju 2019. godine. Gornji panel pokazuje točke vegetacija i terena, dok su na donjem panelu prikazane samo točke klasificirane kao tlo iz kojih se onda dalje izrađuje digitalni model terena (DEM)



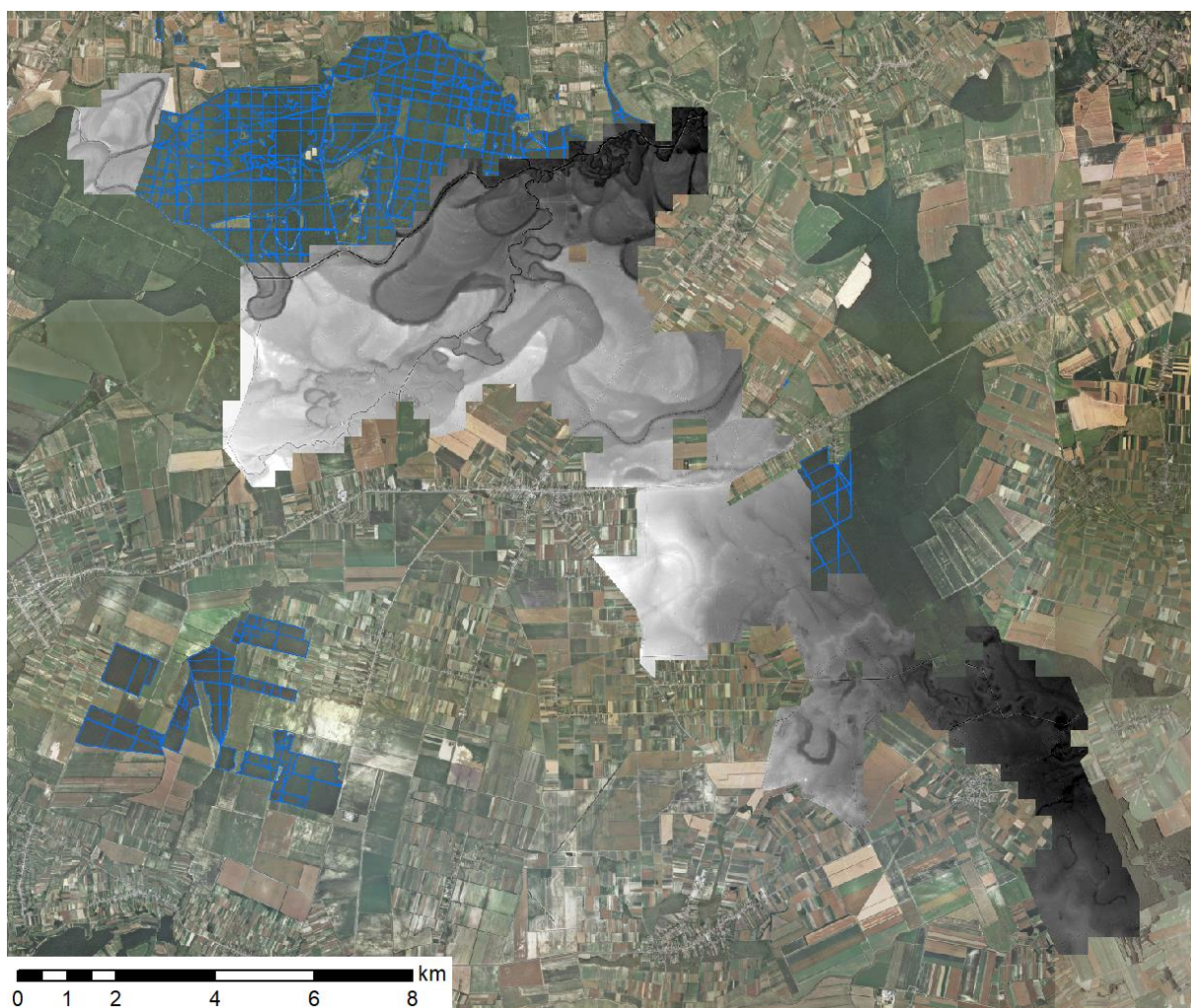
Slika 4-3 Prikaz točaka LIDAR oblaka kao presjeka sastojine u blizini lokacije novopostavljene piezometarske postaje u gospodarskoj jedinici BBL (piezometar br. 21)

Prvo snimanje LiDARom obavljeno je početkom travnja 2018. godine. Površinu snimljenu tijekom prvog snimanja prikazuje Slika 4-4. Iz LiDAR podataka izrađen je digitalni model terena za snimljene površine Šumarije Koška. Digitalni model terena prikazuje Slika 4-5. Na ovome su DEM-u istražene mogućnosti za identificiranje potencijalnih depresija kao lokacija za planiranje hidrouzgojnih mjera.

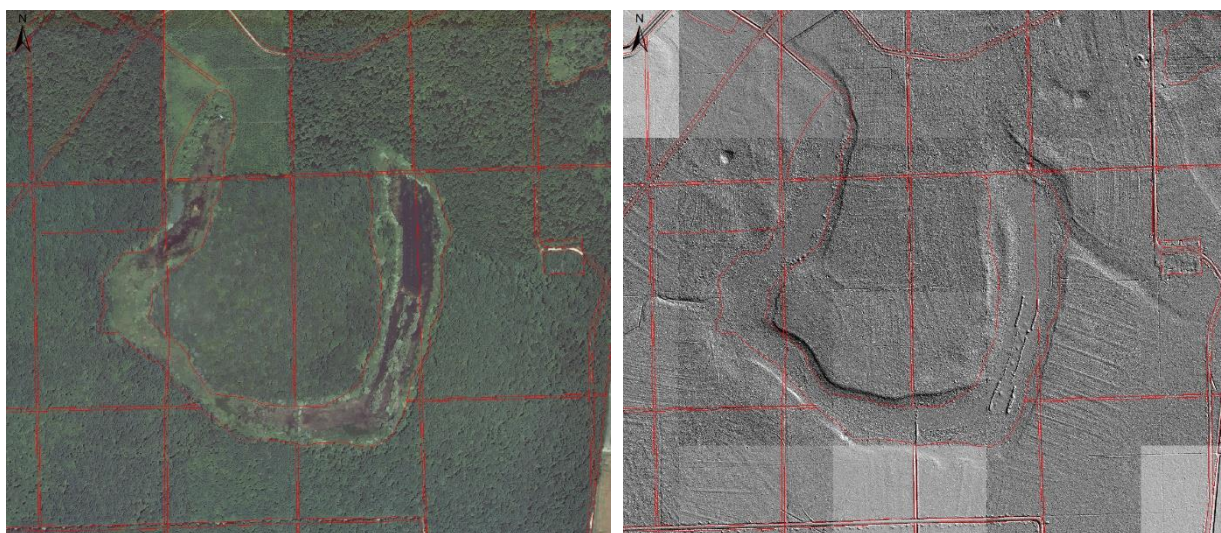
Primjer jedne od identificiranih depresija tijekom ovog koraka obrade prikazuje Slika 4-6. Radi se o velikoj depresiji u šumskom području Breza.



Slika 4-4 Površine šumarije Koška snimljene tijekom prvog LiDAR snimanja početkom travnja 2018. godine



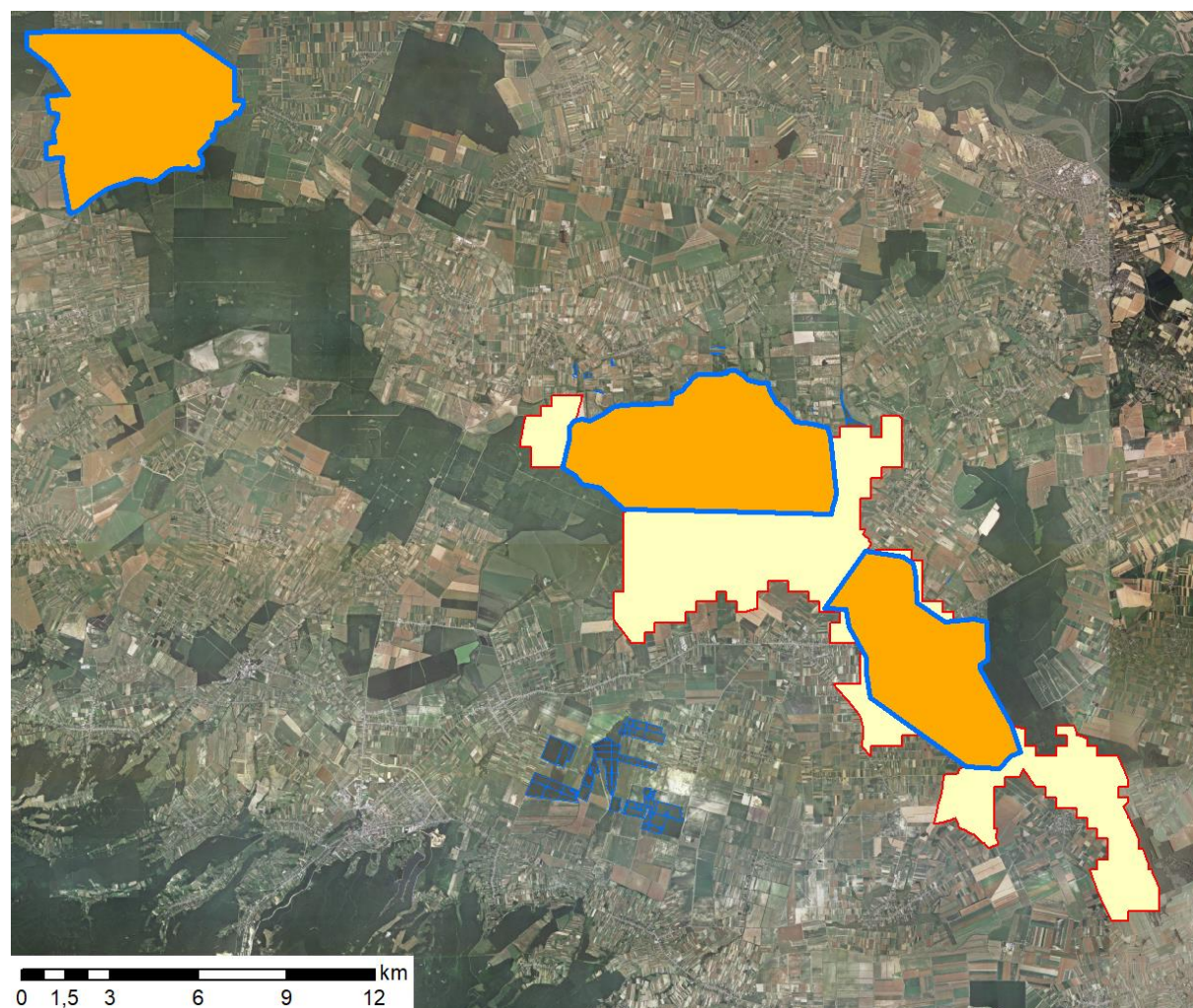
Slika 4-5 Digitalni model terena (DEM) izrađen iz LiDAR podataka snimljenih početkom travnja 2018. godine.



Slika 4-6 Prikaz jedna od bara na području Šumarije Koška na digitalnom ortofoto snimku (lijevo) i digitalnog reljefa terena velike razlučivosti deriviranog iz preuzetih LiDAR snimaka

Krajem travnja 2019. godine završeno je drugo snimanje LiDAR podataka, a površinu koja je snimljena u ovome navratu prikazuje Slika 4-7. Drugim snimanjem nastojalo se pokriti i neke od prethodno snimljenih površina u kojima su u razdoblju između dva snimanja obavljene neki od uzgojnih radova na području šumarije Koška (Slika 4-8). Na ovaj su način dobiveni LiDAR podaci pomoću kojih se moglo

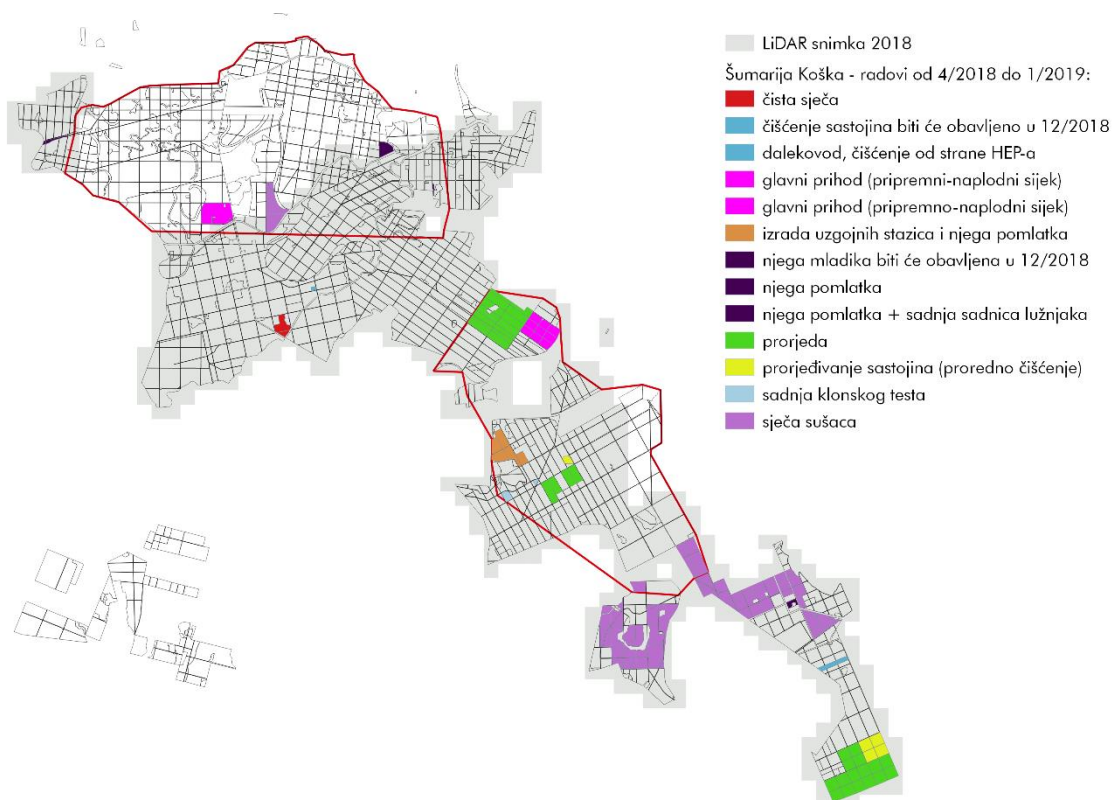
testirati uporabljivost LiDAR snimanja za praćenje razvoja lužnjakovih sastojina istraživana područja.



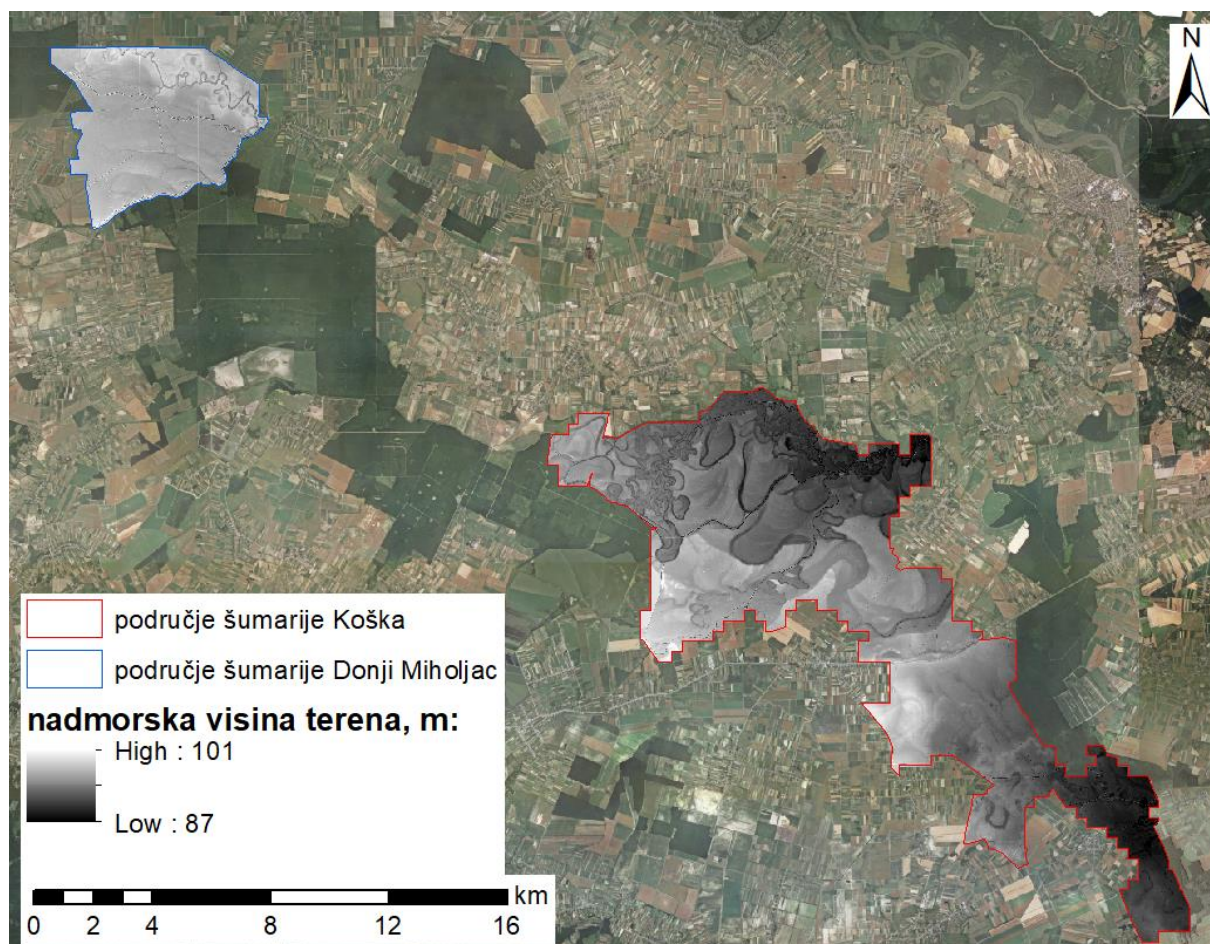
Slika 4-7 Površine šumarije Koška i šumarije Donji Miholjac snimljene tijekom drugog LiDAR snimanja krajem travnja 2019. godine

LiDAR podaci iz oba snimanja odnosno točke koje se klasificirane kao tlo upotrijebljene su za izradu jedinstvenoga digitalnog modela terena za cijelo područje snimanja (Slika 4-9). U kasnijim koracima obrade prilikom definiranja potencijalnih lokacija za hidrouzgojne mjere ovaj je jedinstveni DEM razdvojen na dva DEM-a, jedan za područje šumarije Koška, a drugi za analizirane površine šumarije Donji Miholjac.

Iz modela terena za svako područje napravljena je analiza dubina u depresijama (*depth in sink*). Prvo je funkcijom FILL napravljen DEM koji predstavlja depresije do ruba napunjene volumenom vode. Nakon toga je oduzimanjem vrijednosti dva rastera u razlučivosti od 0,5 m određena potencijalna dubina vode za svaki piksel.



Slika 4-8 Odsjeci šumarije koška u kojima su obavljene neki od uzgojnih radova u razdoblju između dva LiDAR snimanja



Slika 4-9 Digitalni model terena razlučivosti 0,5 m izrađen za cijelo područje istraživanja iz LiDAR podataka snimljenih 2018. i 2019. godine

4.2.2 Prirodne mjere zadržavanja vode – smjernice EU

Određivanje potencijalnih lokacija za hidrouzgojne mjere obavljeno je u skladu sa smjernicama EU za prirodne mjere zadržavanja vode (Natural Water Retention Measures (www.nwrm.eu)). Ove su smjernice napravljene kako bi se međusektorskim aktivnostima usmjerilo napore za stvaranje uvjeta za povećanje kapaciteta retencioniranja vode na površini terena, zadržavanje vlage u tlu, intenziviranje prihranjivanja podzemnih voda i pružanje područske ekosustavima i popravljanje njihovog sadašnjeg stanja (Bonacci 2016). Stoga su ove mjere pogodne kada se govori o ublažavanju utjecaja klimatskih promjena, prvenstveno sušnih razdoblja i deficita vode, na sastojine hrasta lužnjaka, jer se ovim mjerama može zadržati višak vode iz "vlažnih razdoblja" kako bi ih stabla mogla koristiti u sušnim razdobljima.

Smjernice također pomažu u ispunjavanju obveza RH prema Direktivama EU, posebice prema Okvirnoj direktivi o vodama, Direktivi o poplavama, Direktivi o staništima i Direktivi o pticama. Smjernice su također usklađene sa Strateškim dokumentima EU za ublažavanje klimatskih promjena.

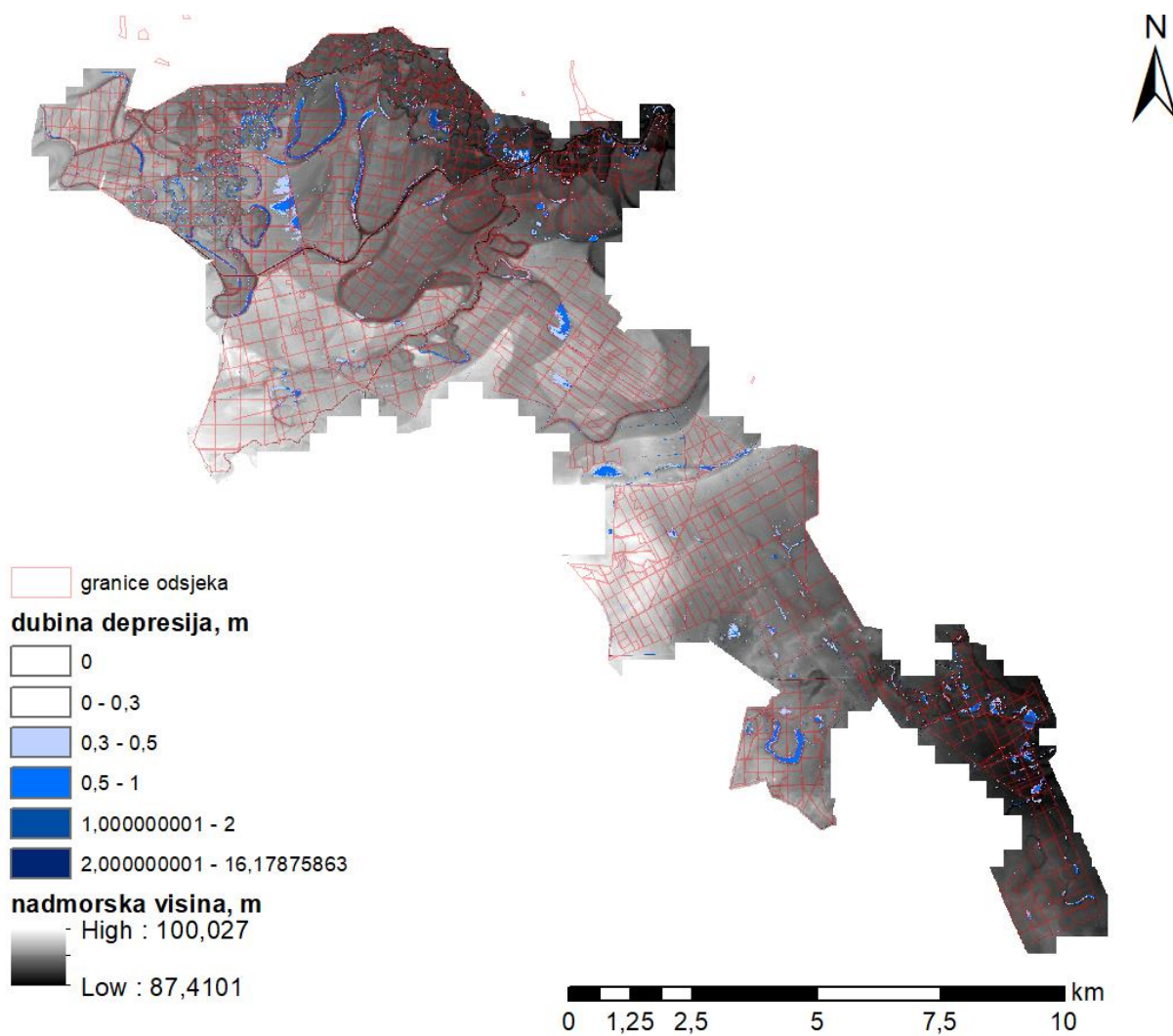
U Smjernicama se donosi katalog potencijalnih adaptivnih mjera koji je razrađen prema sljedećim sektorima:

- poljoprivreda
- šumarstvo
- hidromorfologija
- urbana područja

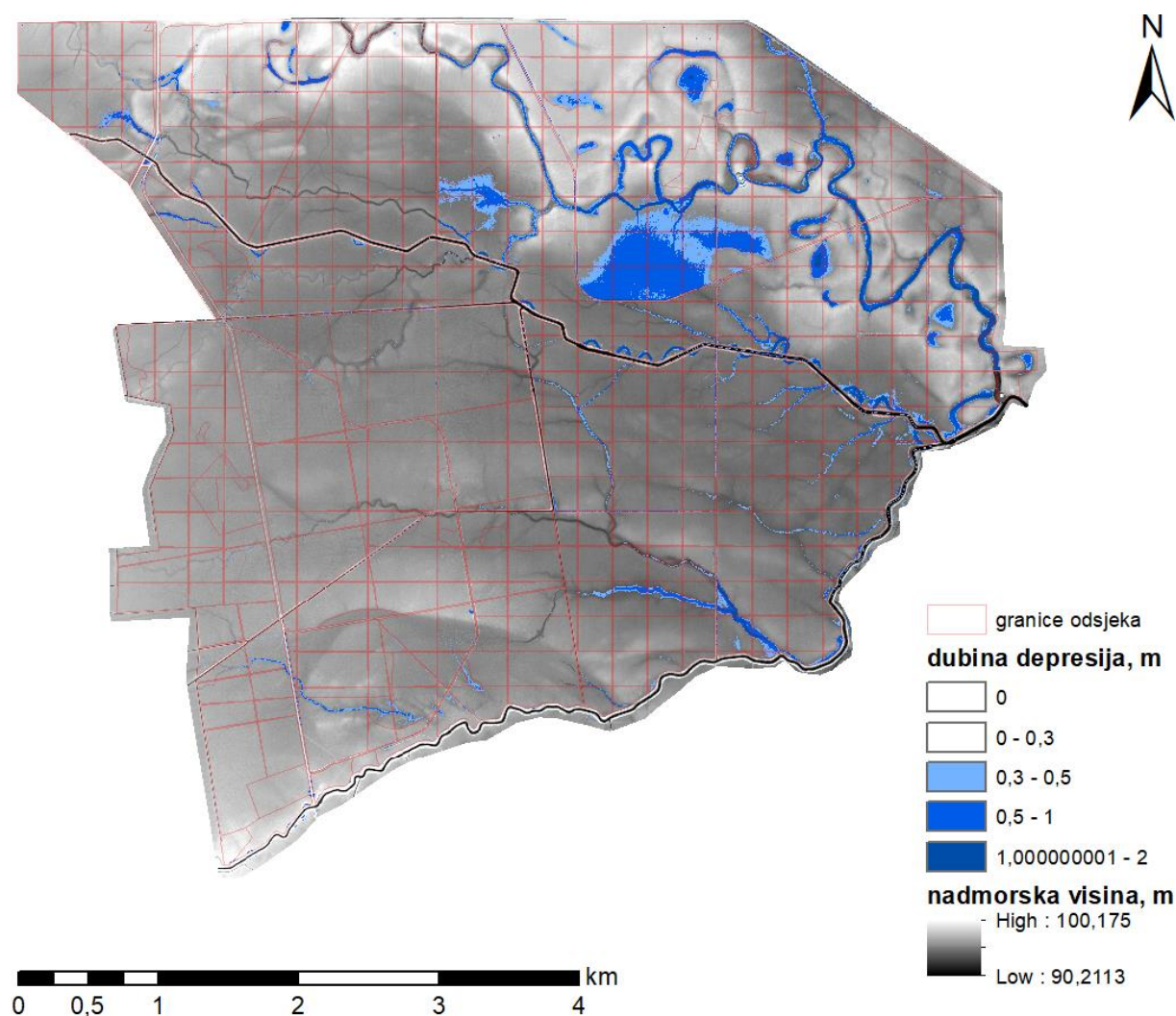
Bitno je naglasiti kako pojedine mjere mogu donijeti koristi istovremeno u više sektora. Na primjer, formiranje bazena i umjetnih jezera u šumskim sastojinama mogu pomoći pri ublažavanju poplava (upravljanje vodama), prihranjivanju podzemnih voda (šumarstvo), stvaranju i održavanju močvarnih područja (zaštita bioraznolikosti).

4.2.3 Potencijalne lokacije hidrouzgojnih mjera na istraživanom području

Potencijalne lokacije hidrouzgojnih mjera određene su iz izrađenog digitalnog modela terena prema prethodno objašnjenom postupku. Slika 4-10 prikazuje područje šumarije Koška s izrađenim digitalnim modelom terena na kojemu su prikazane depresije i izračunate potencijalne dubine vode u depresijama, dok isto za analizirano područje šumarije Donji Miholjac prikazuje Slika 4-11.



Slika 4-10 Digitalni model terena područja šumarije Koška s prikazanim depresijama i izračunatim potencijalnim dubinama vode u depresijama

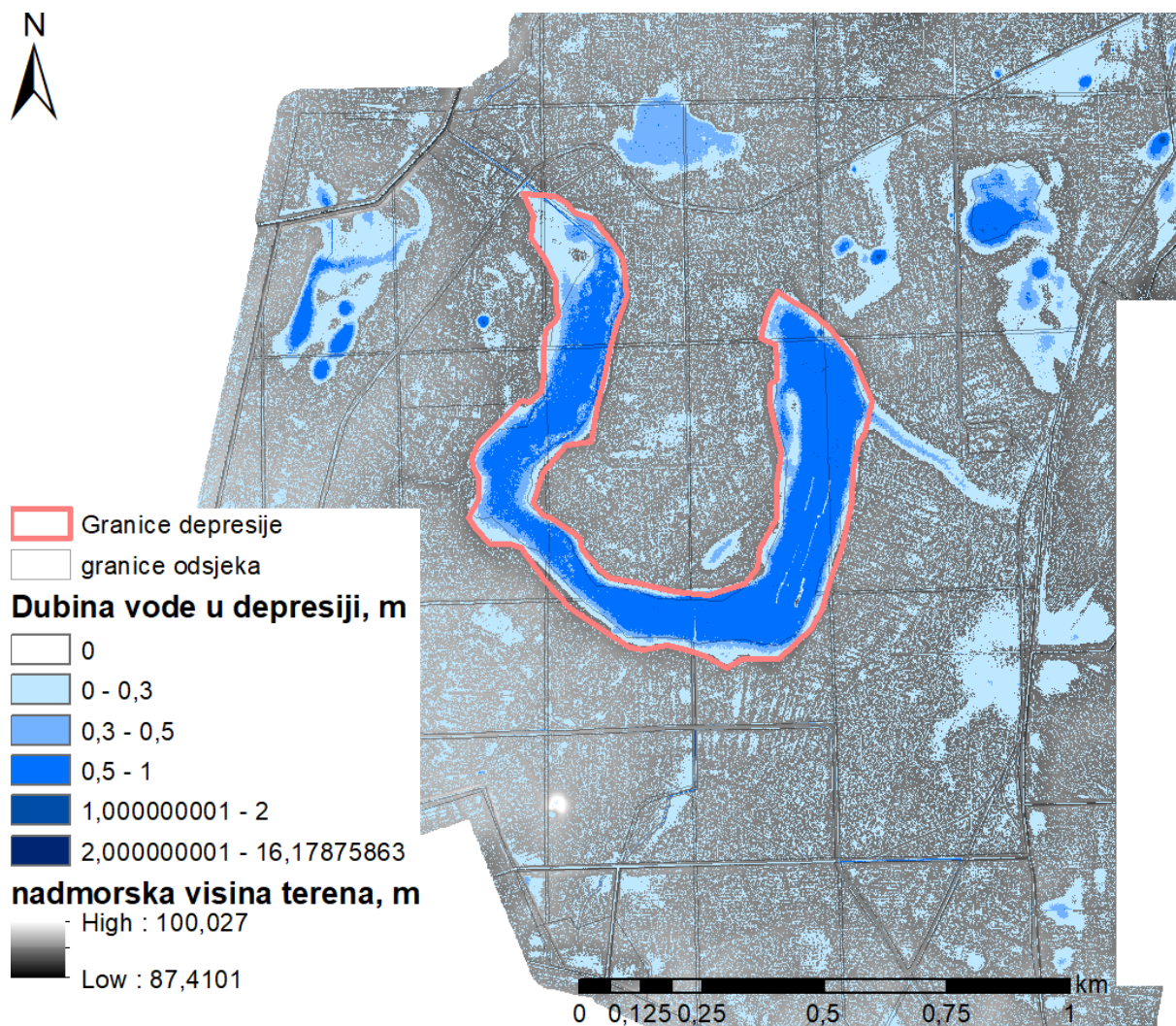


Slika 4-11 Digitalni model terena analiziranog područja šumarije Donji Miholjac s prikazanim depresijama i izračunatim potencijalnim dubinama vode u depresijama

U nastavku se na četiri slike prikazuju primjeri 5 odabranih potencijalnih lokacija za provedbu hidrouzgojnih mjera. Slika 4-12 i Slika 4-13 prikazuju dvije potencijalne lokacije na području šumarije Koška (bara u šumskom predjelu Breza i Obodska bara), dok Slika 4-14 i Slika 4-15 prikazuju tri potencijalne lokacije hidrouzgojnih mjera na području šumarije Donji Miholjac.

Za svaku su lokaciju u GIS okruženju pomoću poligona depresije izračunati površina depresije, minimalna, maksimalna i prosječna potencijalna dubina vode u depresiji i duljina depresije ukoliko se radi o starim meandrima. Potencijalni volumen zadržane vode dobiven je sumiranjem vrijednosti piksela iz raster u kojem su izračunate potencijalne dubine vode u depresiji. Svaki piksel predstavlja površinu od 0,25 m² (0,5 x 0,5 m), pa se volumen zadržane vode može dobiti dijeljenjem zbroja vrijednosti svih piksela s 4, ili množenjem ukupne površine depresije u m² s prosječnom potencijalnom dubinom vode u depresiji u m.

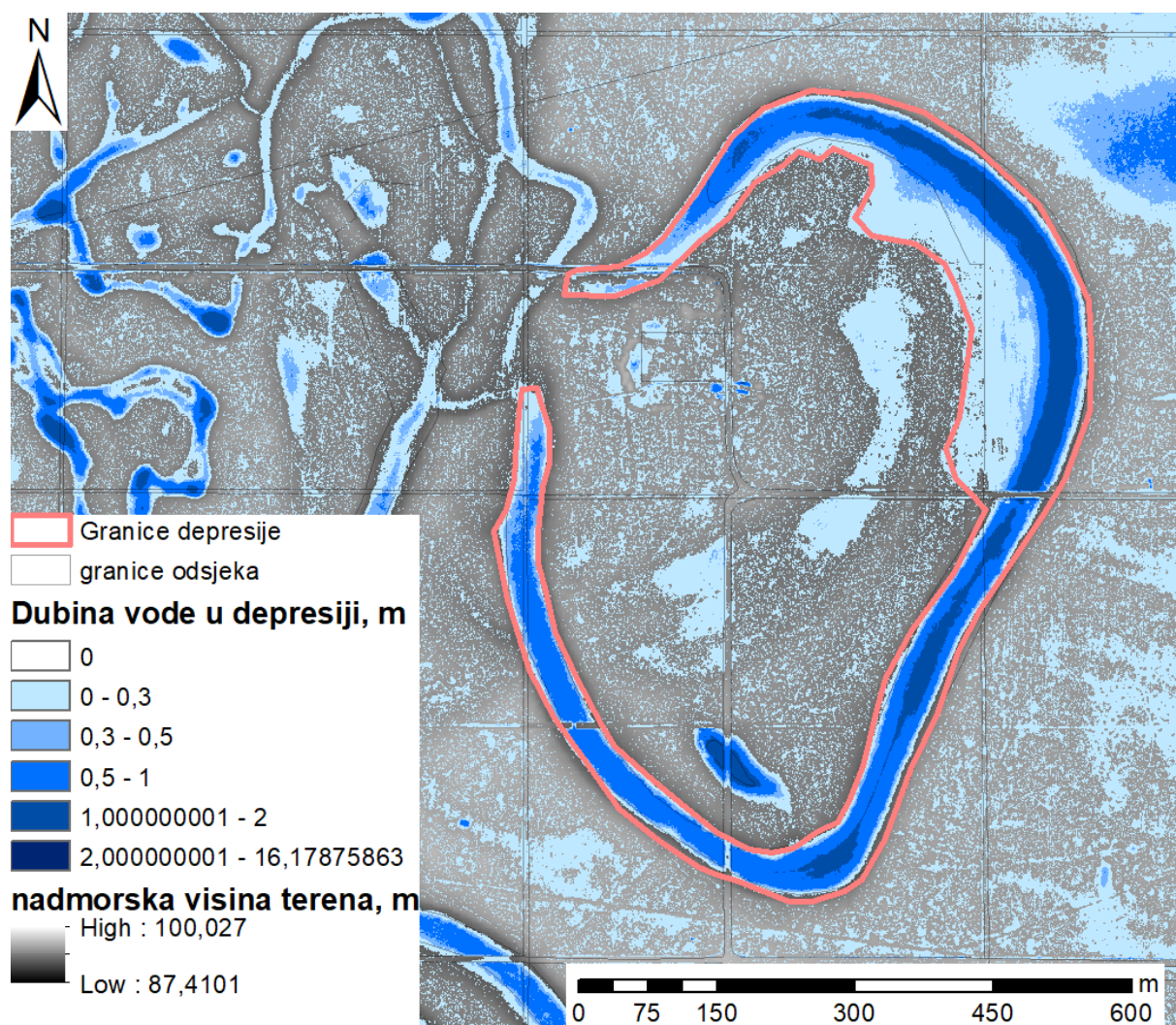
Također su za svaku depresiju procijenjeni troškovi izgradnje i održavanja prema podacima u Smjernicama EU za prirodno zadržavanje voda. Tamo su za izgradnju bazena ili retencija jedinični troškovi izgradnje procijenjeni na 44.000,00 €/ha, dok su troškovi održavanja procijenjeni na 60,00 €/ha godišnje. Za troškove spajanja starih meandara s maticom rijeke trošak je procijenjen na 400.000,00 €po kilometru meandra.



Slika 4-12 Potencijalna lokacija za hidrouzgojne mjere na području šumarije Koška, šumski predjel Breza

Površina depresije u šumskom predjelu Breza šumarije Koška iznosi 27,04 ha. Najveća potencijalna dubina vode u depresiji iznosi 1,11 m, a prosječna je dubina 0,51 m. Potencijalni volumen zadržane vode iznosi 138.961 m³. Radi se starom riječnom meandru duljine oko 2 km.

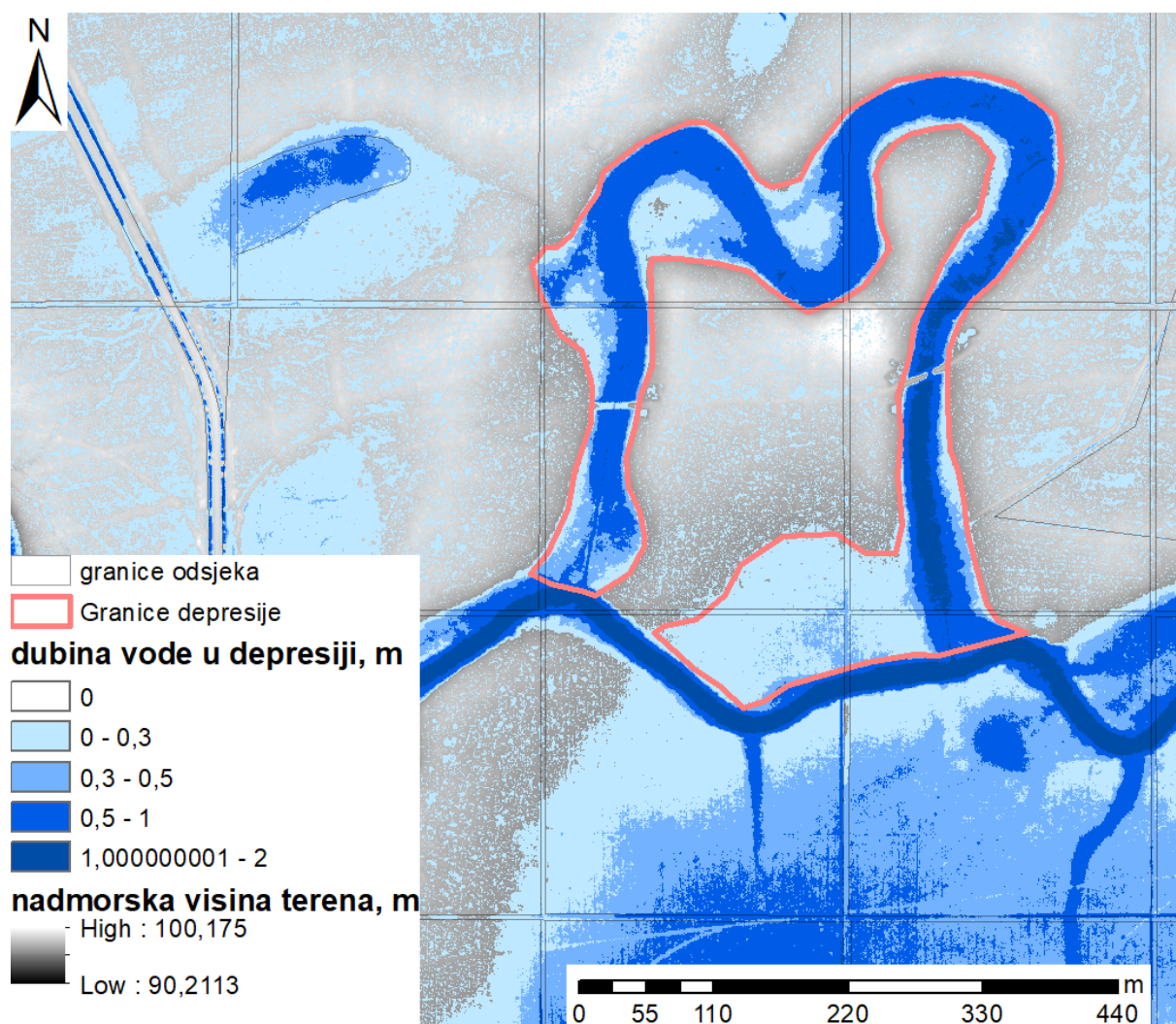
Potencijalni trošak pretvaranja ove depresije u stalno jezero ili retenciju iznosi **1.189.925,00 €**, uz godišnje troškove održavanja procijenjene na 1.622,63 € godišnje. Ukoliko bi se ovaj meandar ponovno spajao s koritom rijeke (re-meandriranje) ukupni trošak iznosi bi oko **800.000 €**.



Slika 4-13 Potencijalna lokacija za hidrouzgojne mjere na području šumarije Koška, Obodska bara

Površina Obodske bare iznosi 13,18 ha. Najveća potencijalna dubina vode u depresiji iznosi 1,63 m, a prosječna je dubina 0,50 m. Potencijalni volumen zadržane vode iznosi 65.877 m³. Radi se starom riječnom meandru duljine oko 2 km.

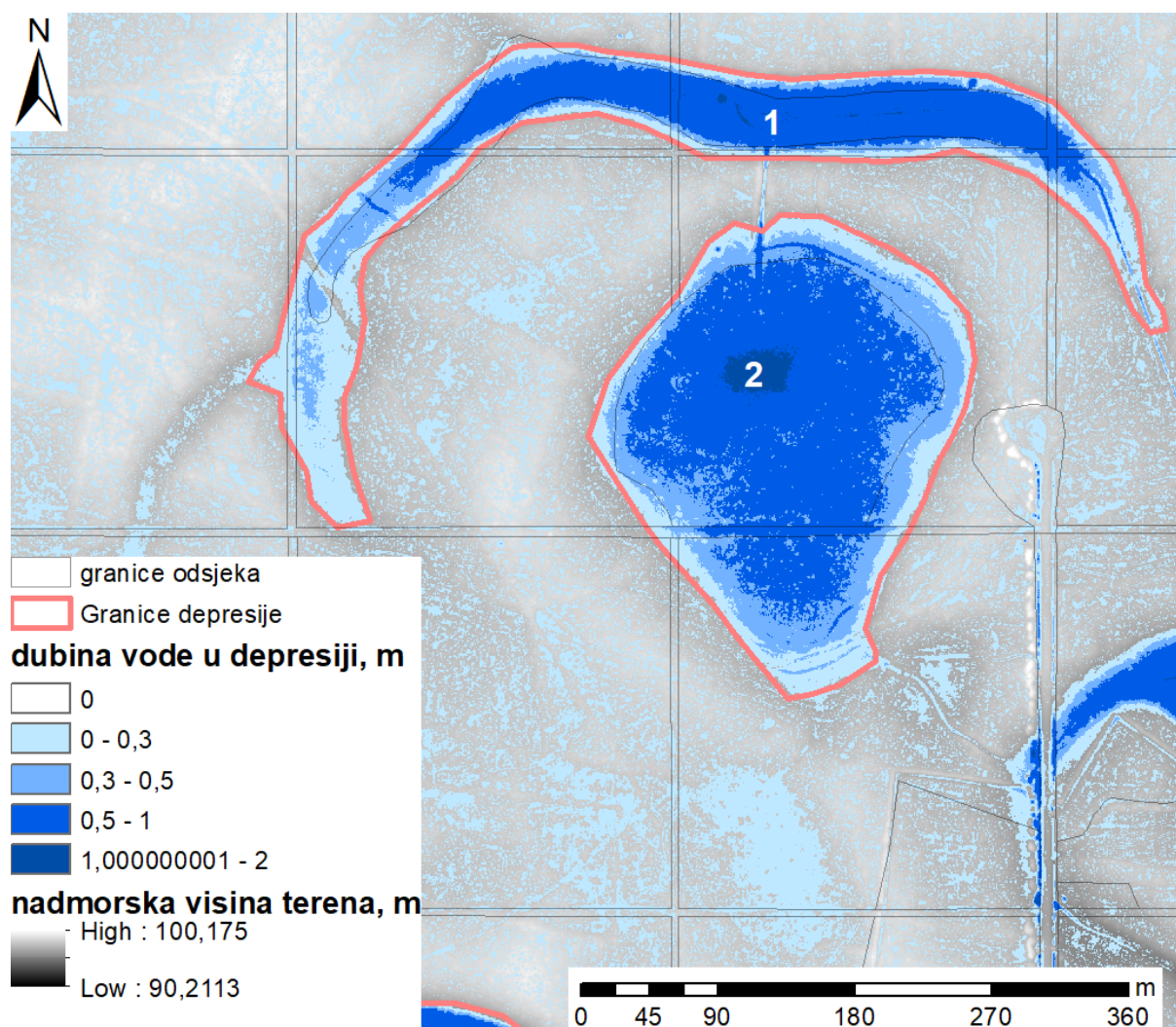
Potencijalni trošak pretvaranja ove depresije u stalno jezero ili retenciju iznosi 579.769,30 € uz godišnje troškove održavanja procijenjene na 790,59 € godišnje. Ukoliko bi se ovaj meandar ponovno spajao s koritom rijeke (re-meandriranje) ukupni trošak iznosi bi oko 800.000 €.



Slika 4-14 Potencijalna lokacija za hidrouzgojne mjere na području šumarije Miholjac, stari meandar

Površina prvog analiziranog starog meandra na području šumarije Donji Miholjac iznosi 8,90 ha. Najveća potencijalna dubina vode u depresiji iznosi 1,35 m, a prosječna je dubina 0,50 m. Potencijalni volumen zadržane vode iznosi 44.624 m³. Radi se starom riječnom meandru duljine oko 1,3 km.

Potencijalni trošak pretvaranja ove depresije u stalno jezero ili retenciju iznosi 391.667,10 € uz godišnje troškove održavanja procijenjene na 534,09 € godišnje. Ukoliko bi se ovaj meandar ponovno spajao s koritom rijeke (re-meandriranje) ukupni trošak iznosi bi oko 520.000,00 €.



Slika 4-15 Potencijalne lokacije za hidrouzgojne mjere na području šumarije Miholjac, stari meandar i ovalna depresija

Površina drugog analiziranog starog meandra na području šumarije Donji Miholjac (broj 1 na gornjoj slici) iznosi 5,12 ha. Najveća potencijalna dubina vode u depresiji iznosi 1,34 m, a prosječna je dubina 0,50 m. Potencijalni volumen zadržane vode iznosi 25.427 m³. Radi se starom riječnom meandru duljine oko 0,85 km.

Potencijalni trošak pretvaranja ove depresije u stalno jezero ili retenciju iznosi 225.240,40 € uz godišnje troškove održavanja procijenjene na 307,15 € godišnje. Ukoliko bi se ovaj meandar ponovno spajao s koritom rijeke (re-meandriranje) ukupni trošak iznosi bi oko 340.000,00 €.

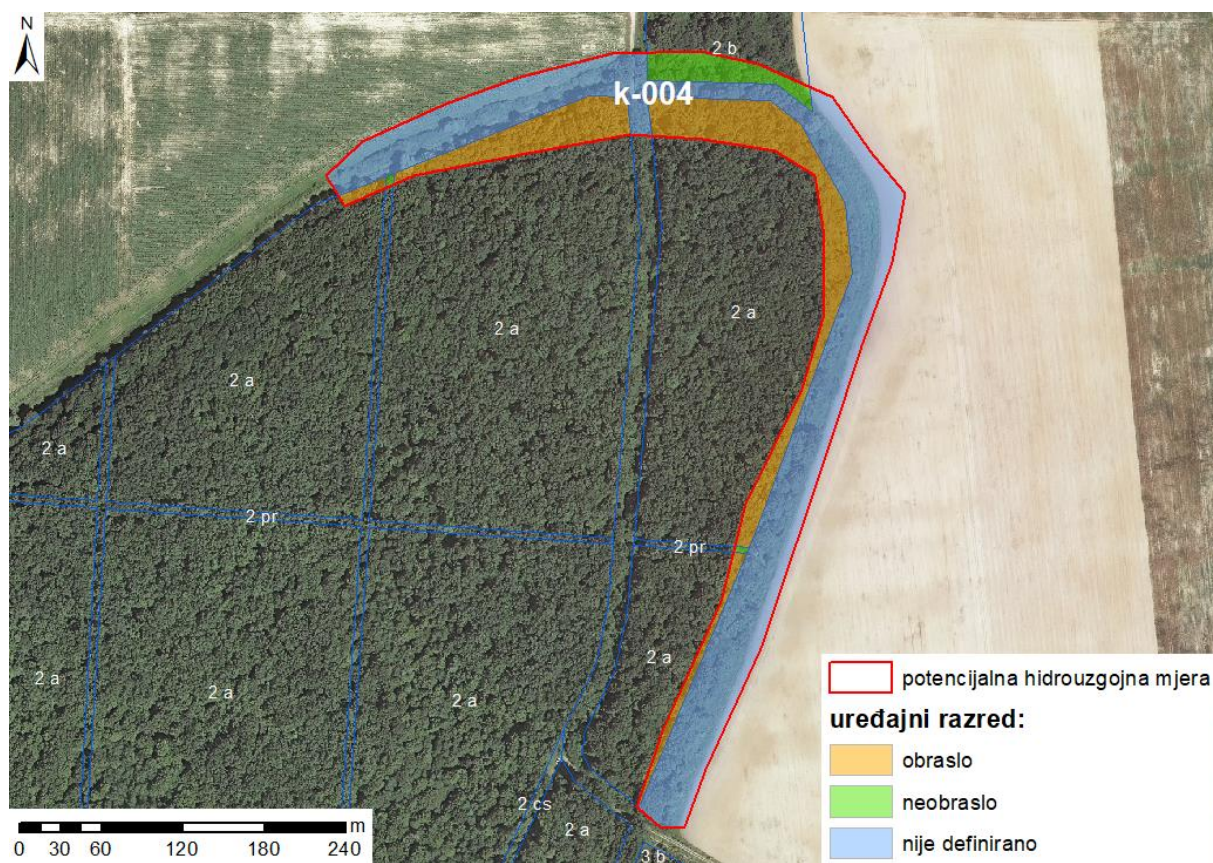
Površina zadnje analizirane depresije na području šumarije Donji Miholjac (broj 2 na gornjoj slici) iznosi 3,70 ha. Najveća potencijalna dubina vode u depresiji iznosi 1,19 m, a prosječna je dubina 0,42 m. Potencijalni volumen zadržane vode iznosi 15.627 m³. Potencijalni trošak pretvaranja ove depresije u stalno jezero ili retenciju iznosi 162.992,50 € uz godišnje troškove održavanja procijenjene na 222,26 € godišnje.

4.2.4 Katalog potencijalnih lokacija za provedbu hidrouzgojnih mjera

Gore opisanim postupkom iz LiDAR podataka definirane su depresije u mikroreljefu koje bi mogle poslužiti kao potencijalne lokacije za provedbu hidrouzgojnih mjera. Ukupno je definirano 384 lokacije od čega 64 na području Šumarije Donji Miholjac i 320 na području Šumarije Koška.

Kako bi se proveo odabir najpovoljnijih lokacija za provedbu hidrouzgojnih mjera za svaku su lokaciju iz izrađenih digitalnih modela terena izračunati najveća dubina vode u depresiji, prosječna dubina vode u depresiji i ukupna površina depresije.

Za svaku su depresiju također iz GIS baze podataka o gospodarskim sastojinama izdvojene površine i analizirane prema uređajnom razredu. Sumirane su za svaku depresije obrasle površine koje su sačinjene od uređajnih razreda uglavnom sjemenjača hrasta lužnjaka i poljskog jasena, ali i od manje vrijednih sastojina poput panjača hrasta lužnjaka, običnog graba, bagrema. Također su sumirane i površine depresije u uređajnim razredima neobraslog (proizvodnog i neproizvodnog i neplodnog zemljišta. Za dio depresija nisu bili na raspolaganju podaci o uređajnim razredima. Radi se uglavnom o depresijama koje se nalaze izvan obuhvata šumskih sastojina kojima gospodare Šumarija Koška ili Šumarija Donji Miholjac. Neke su sastojine vraćene privatnim šumoposjednicima, a neke se nalaze izvan šumskih područja, u dijelovima analiziranih modela terena na **m+** kojima se nalaze poljoprivredne površine. Za primjer se u nastavku donose kartografski prikazi nekih od analiziranih depresija koje se nalaze rubno u šumskim sastojinama (Slika 4-16), djelomično na privatnom šumskom posjedu (Slika 4-17), ili u potpunosti izvan šumskih područja (Slika 4-18).



Slika 4-16 Kartografski prikaz depresije k-004 na području Šumarije Koška koja se nalazi rubno u šumskim sastojinama



Popis svih utvrđenih depresija iz digitalnih modela terena za područje Šumarije Donji Miholjac donosi se u Prilogu 1., a za područje Šumarije Koška u Prilogu 2. Za svaku su analiziranu depresiju navedeni osnovni podaci o površini, hidrološkim značajkama depresije i strukturi površine s obzirom na uređajne razrede.

Sumarne podatke o definiranim depresijama donosi Tablica 4-1. Ukupna površina definiranih depresija iznosi 568,48 ha, što čini 4,7% analiziranih površina Šumarija Donji Miholjac i Koška. Prosječna veličina depresija iznosi oko 1,5 ha. Najveća depresija nalazi se u Šumariji Koška (oko 32 ha), dok je najveća površina depresije u Šumariji Donji Miholjac 11,63 ha. Potencijalni volumen zadržane vode u svim depresijama ukupno iznosi oko 2,7 milijuna m³.

Tablica 4-1 Podaci o ukupno utvrđenim depresijama na analiziranim područjima Šumarija Donji Miholjac i Koška

	Ukupno analizirana površina, ha	Broj utvrđenih depresija	Površine utvrđenih depresija, ha				Potencijalni volumen utvrđenih depresija, m ³ vode
			ukupno	najmanja	najveća	prosjeck	
Šumarija Donji Miholjac	2.726,20	64	96,15	0,09	11,63	1,50	506.086,88
Šumarija Koška	9.261,72	320	472,33	0,03	32,04	1,48	2.218.430,77
Ukupno	11.987,92	384	568,48				2.724.517,65

Kako bi se оформila lista potencijalnih depresija kod kojih bi bilo najisplativije provesti hidrouzgojne adaptivne mjere, izdvojeno je 20 lokacija prema sljedećim kriterijima:

- 1) ukupna površina depresije veća je od 2,5 ha i
- 2) minimalno 50% ukupne površine depresije nalazi se u uređajnim razredima neobraslog i neplodnog zemljišta (ovdje su uključene i površine za koje nije definiran uređajni razred).

Temeljem navedenih kriterija izdvojeno je ukupno 20 potencijalnih lokacija čije kartografske prikaze donosimo u Prilogu 3. Iz konačne liste (kataloga) potencijalnih lokacija za provedbu hidrouzgojnih radova isključene su četiri depresije (oznake depresija k-004, k-208, k-212 i k-223) koje su se nalazile ili rubno ili u potpunosti na poljoprivrednom zemljištu.

Tablica 4-2 donosi popis 16 lokacija koje su prema postavljenim kriterijima najpogodnije za provedbu hidrouzgojnih mjera. Na predloženim lokacijama može se zadržavati volumen vode od oko 84.500 m³ u Šumariji Donji Miholjac i gotovo 700.000 m³ na području Šumarije Koška. Navedeni volumeni zadržane vode proračunati su prema obliku dna depresija kakve se nalaze u sadašnjem stanju.

Ovi se volumeni mogu povećati određenim građevinskim zahvatima poput produbljivanja dijelova depresija i izgradnje nasipa za zadržavanje vode. Točne volumene vode koja se može zadržati moći će se utvrditi daljnjim tehničkim projektiranjem izvedbe kontroliranih retencija i/ili akumulacijskih jezera, primjerice prilikom izrade idejnih rješenja. Analize i podloge iz ove studije mogu poslužiti kao odlična podloga za provedbu daljnjih radova potrebnih za privođenje ovih depresija u stanje u kojem mogu doprinijeti ublažavanju štetnih posljedica klimatskih promjena u vidu izmjene ekstremno sušnih i ekstremno vlažnih vegetacijskih sezona.

Tablica 4-2 Najpogodnije lokacije za provedbu hidrouzgojnih mjera na analiziranim površinama Šumarija Donji Miholjac i Koška

Oznaka lokacije	Obrasli dio površine depresije		Ukupna površina depresije	Hidrološke značajke depresije		
	ha	%	ha	najveća dubina	prosječna dubina	potencijalni volumen
				m	m	m ³
dm-25	1,6	34,8	4,7	1,34	0,53	24.881,49
dm-33	1,4	41,6	3,4	1,50	0,64	21.632,70
dm-60	2,3	40,5	5,6	1,85	0,68	37.832,51
Šumarija Donji Miholjac			13,6			84.346,70
k-006	0,3	13,5	2,5	0,73	0,18	4.460,28
k-007	1,2	26,8	4,4	1,44	0,72	31.646,58
k-061	4,2	43,4	9,7	3,08	0,84	81.149,58
k-072	11,1	34,6	32,0	2,08	0,75	240.918,99
k-075	3,5	48,9	7,1	1,00	0,36	25.562,07
k-127	2,6	22,3	11,7	1,63	0,54	63.422,00
k-128	2,3	27,4	8,2	0,88	0,18	14.930,99
k-129	2,6	42,1	6,1	1,23	0,35	21.381,41
k-140	1,6	41,5	4,0	1,64	0,47	18.503,24
k-153	5,4	45,8	11,8	1,04	0,28	32.443,44
k-175	1,3	38,1	3,3	0,64	0,23	7.817,57
k-220	0,6	24,9	2,5	1,66	0,45	11.221,66
k-239	7,9	29,6	26,8	1,11	0,52	139.327,26
Šumarija Koška			130,2			692.785,08

4.3 Mogućnosti korištenja LiDAR podataka za motrenje razvoja šumskih ekosustava i uspjeh provođenja adaptivnih mjera

Za kvalitetno i učinkovito definiranje adaptivnih mjera za gospodarenje šumskim ekosustavima u uvjetima klimatskih promjena, ključno je raspolagati s kvalitetnim podlogama u smislu definiranja osnovnih značajki okoliša, definiranja osnovnih značajki šumskih ekosustava te redovito i precizno motrenje njihovog razvoja kao i uspješnosti provedbe planiranih adaptivnih mjera. U tom smislu LiDAR podaci zbog svoje preciznosti i prostorne definiranosti mogu predstavljati izvrstan izvor potrebnih podataka, posebice ako se uzme u obzir da je LiDAR tehnologija unazad pet do deset godina značajno uznapredovala s obzirom na primijenjivost tehnologije u svakodnevnom gospodarenju prirodnim resursima. Također u zadnje vrijeme cijena LiDAR snimanja i obrade snimljenih podataka u stalnom je padu.

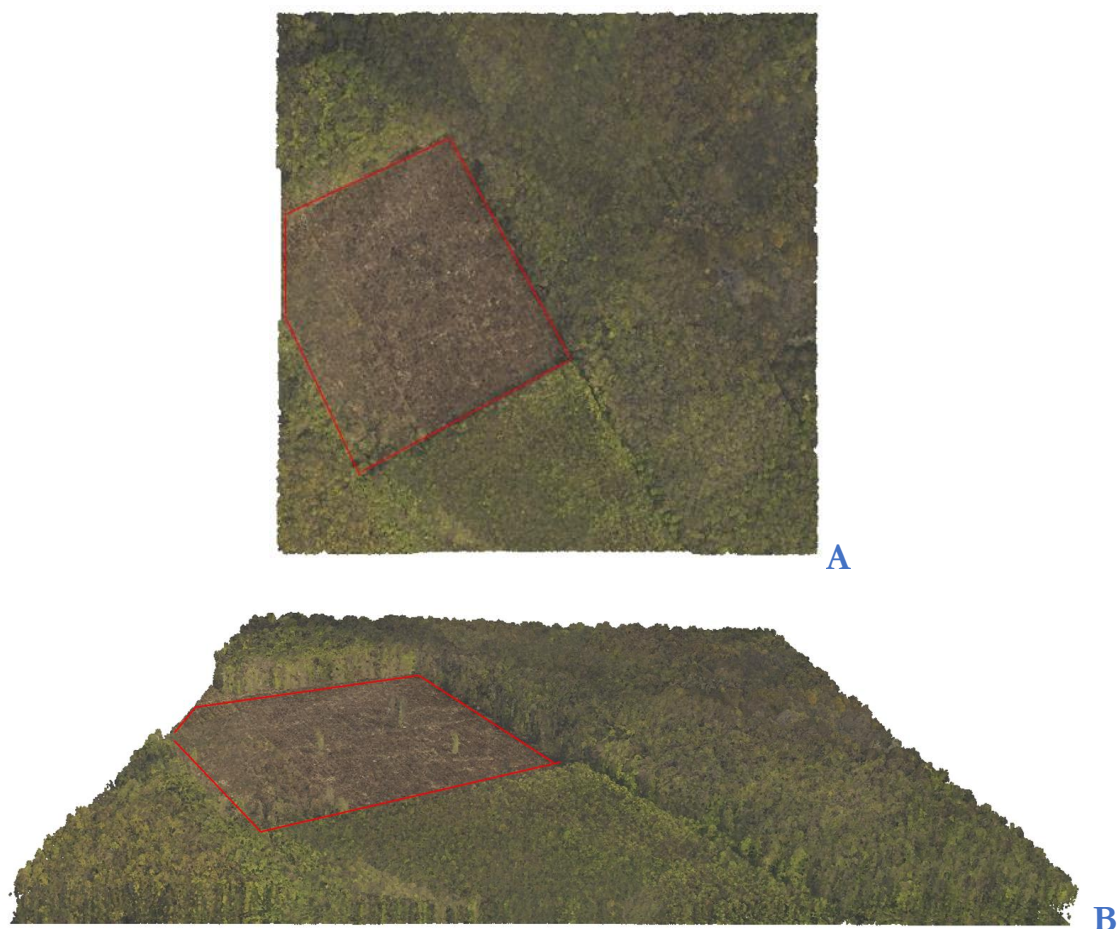
Kao što je već prije napomenuto, u okviru ovoga projekta obavljena su dva snimanja LiDAR podataka, 2018. i 2019. godine u približno isto vrijeme (mjesec travanj). Prilikom određivanja površina za snimanje 2019. godine nastojalo se u određenoj mjeri preklapati površinu s onom snimljenom 2018. godine i to u odsjecima šumarije Koška u kojima su u razdoblju između dva snimanja obavljani neki od uzgojnih radova.

U nastavku će se na tri primjera prikazati mogućnost primjene ponovljenih LiDAR snimanja u praćenju provedbe uzgojnih radova, što ujedno znači i mogućnost praćenja provedbe adaptivnih mjera. Za primjer su odabrani radovi:

- 1) izrada uzgojnih stazica i njega pomlatka,
- 2) prorjeda u srednjodobnim sastojinama i
- 3) pripremno-naplodni sijek.

Izrada uzgojnih stazica i njega pomlatka

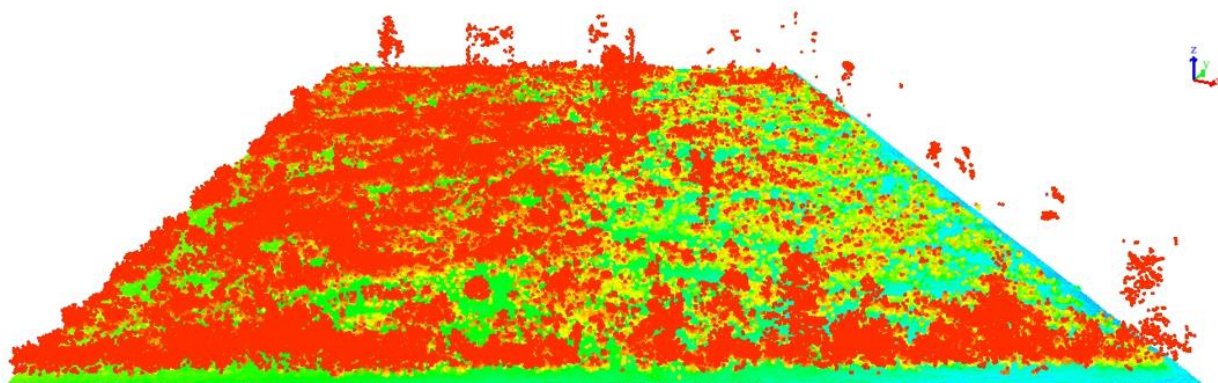
Radovi izrade uzgojnih stazica i njega pomlatka obavljani su u 2c odsjeku gospodarske jedinice Budigošće Breza Lugovi. Sastojina je u uređajnom razredu hrasta lužnjaka.

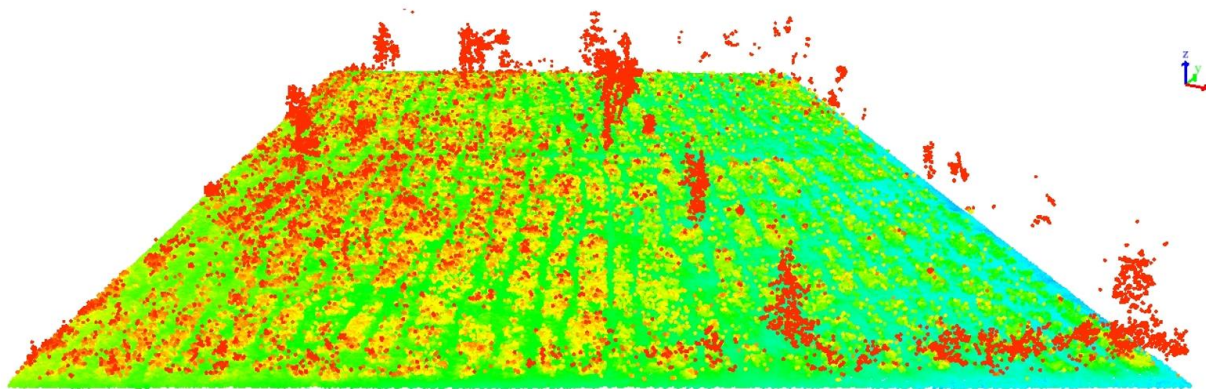


Slika 4-19 3D pogled na LiDAR podatke odsjeka 2c (A – okomiti pogled, B – perspektiva)

Slika 4-19 prikazuje 3D pogled na odsjek 2c (A – okomiti pogled odozgor, B – 3D perspektiva), na ovoj su slici točke LiDAR podataka prikazane u stvarnoj (RGB) boji.

Slika 4-20 Donosi LiDAR podatke snimljene prije izvođenja uzgojnog zahvata (gornji panel, travanj 2018. godine) i nakon izvedenih radova (donji panel, travanj 2019. godine). Na ovoj slici boje predstavljaju nadmorsku visinu svake točke LiDAR oblaka podataka. Može se vidjeti da se ponovljenim LiDAR snimanjem može izvršno detektirati primjena u rasporedu visinskih **rz**reda stabalaca u odsjeku, te se mogu jasno razlučiti izvedene uzgojne stazice.





Slika 4-20 LiDAR podaci prije izvođenja radova u odsjeku 2c (travanj 2018. – gornji panel) i nakon izvedenih radova (travanj 2019. – donji panel)

Prorjeda u srednjodobnoj sastojini

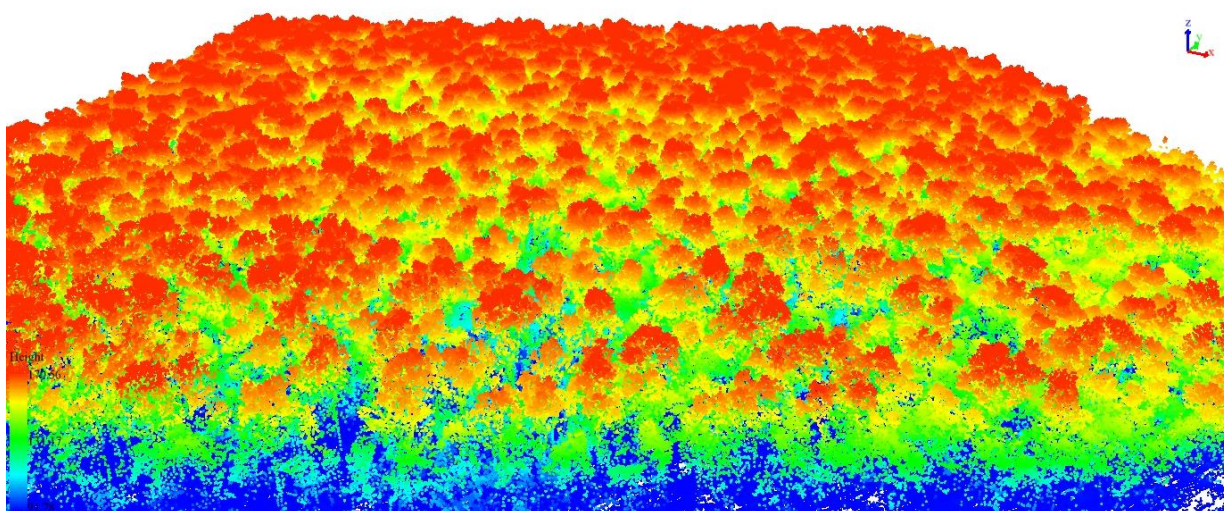
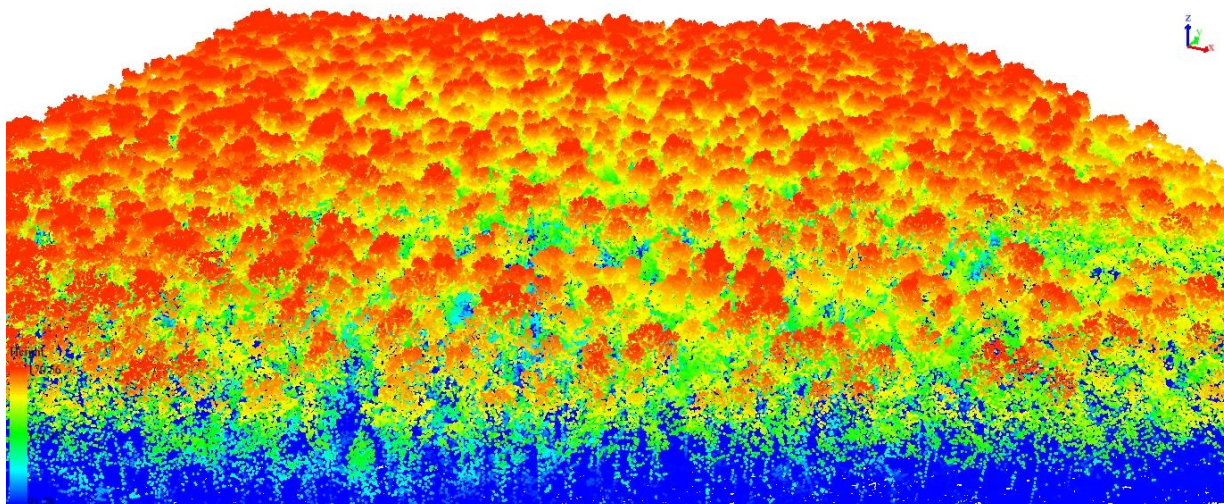
Za primjer prorjeda odabran je odsjek 16a u gospodarskoj jedinici Budigošće Breza Lugovi u dobi od 71 godine. Slika 4-21 prikazuje predmetni odsjek na dva digitalna ortofoto snimka snimljena tijekom prikupljanja LiDAR podataka.

Slika 4-22 donosi prikaze LiDAR oblaka točaka snimljen prije (gornji panel) i nakon provedene prorjede (donji panel). Točke su prikazane prema nadmorskim visinama.

Može se vidjeti da je u ovome slučaju dosta teško vizualno zamijetiti da je u razdoblju između dva snimanja proveden uzgojni zahvat prorjede. Detaljnijim obradama može se kvantificirati promjene u prostornom rasporedu visina stabala na površini odsjeka, ali također bi bilo upitno da li bi se i u tom slučaju moglo utvrditi da je obavljena prorjeda, a još teže kvantificirati značajke provedene prorjede. U ovome se slučaju radilo o prorjedi koja je prema osnovi gospodarenja obavljena manjim intenzitetom i pretežito ispod glavne etaže sastojine.



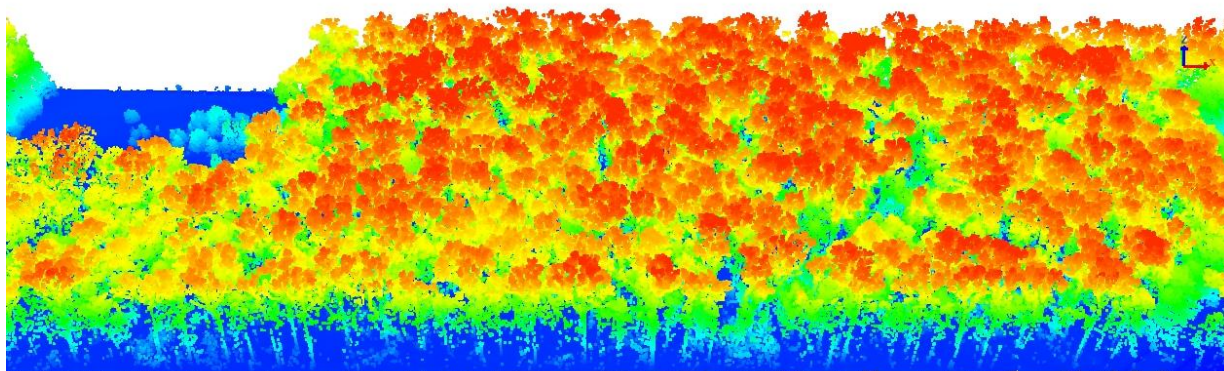
Slika 4-21 Odsjek 16a prikazan na DOF snimcima iz travnja 2018. godine (lijevi panel) i travnja 2019. godine (desni panel)

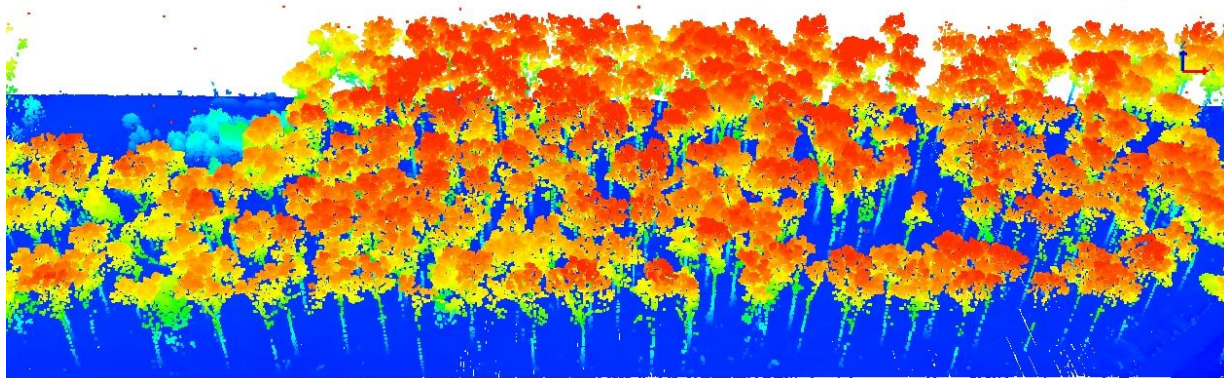


Slika 4-22 Visine LiDAR točaka prije provedene prorjede (gornji panel, travanj 2018.) i nakon provedene prorjede (donji panel, travanj 2019. godine)

Pripremno naplodni sijek

Primjer LiDAR snimaka prije i poslije pripremno-naplodnog sijeka daje Slika 4-23 na kojoj je prikazan LiDAR oblak podataka snimljen prije i poslije provedenog uzgojnog zahvata pripremno-naplodnog sijeka. Radi se o odsjeku 27a gospodarske jedinice Lacić Gložđe koji je u vrijeme pripremno naplodnog sijeka bio u dobi od 123 godine.





Slika 4-23 LiDAR snimka odsjeka 27a prije (gornji panel, travanj 2018.) i poslije (donji panel, travanj 2019.) provedenog uzgojnog zahvata pripremno-naplodnog sijeka

5 Popis slika

Slika 2-1 Zemljopisni položaj šumarije Koška	2
Slika 2-2 Gospodarske jedinice šumarije Koška	3
Slika 2-3 Usporedba raspodjele površine uređajnog razreda sjemenjače hrasta lužnjaka po dobnim razredima u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i na području Šumarije Koška (desni grafikon)	3
Slika 2-4 Prostorni raspored uređajnih razreda sastojina šumarije Koška i lokacije piezometarskih postaja	4
Slika 2-5 Prostorni raspored dobnih razreda sastojina šumarije Koška i lokacija piezometarskih postaja. Plavi krugovi označavaju odsjeke s primijećenim intenzivnim odumiranjem hrasta lužnjaka, a ljubičasti krug odsjeke u kojima je zabilježeno intenzivno odumiranje lipe.	4
Slika 2-6 Shematski prikaz kretanja vitaliteta tri stabla pod utjecajem stresa. Naznačeni su i osnovni pojmovi važni kod razmatranja utjecaja stresa na vitalitet stabala (preuzeto i doručeno iz Dobbertain (2005) i Dekanić (2014))	5
Slika 2-7. Broj članaka s tematikom odumiranja i propadanja stabala i sastojina po desetljećima objavljenih u Šumarskom listu	7
Slika 2-8. Dva tipa odumiranja stabala hrasta lužnjaka prema intenzitetu odumrle drvene zalihe sastojine	8
Slika 2-9 Ukupni etat prorjeda hrasta lužnjaka prema tipu sječe u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i u Šumariji Koška (desni grafikon) u razdoblju od 1996. do 2017. godine	14
Slika 2-10 Dinamika sječe vitalnih stabala (prorjeda) i odumirućih i odumrlih stabala (odumiranje) hrasta lužnjaka u sastojinama prethodnog priroda u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i u Šumariji Koška (desni grafikon) u razdoblju od 1995. do 2017. godine	15
Slika 2-11 Dinamika udjela odumiranja u ukupnom etatu prorjeda u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i u Šumariji Koška (desni grafikon) za razdoblje od 1995. do 2017. godine	15
Slika 2-12 Ukupno posječeni obujam odumrlih i odumirućih lužnjakovih stabala u prorjedama u Hrvatskoj (lijevi grafikon) i u Šumariji Koška (desni grafikon prema dobnim razredima u razdoblju od 1995. do 2017. godine	16
Slika 2-13 Udio obujma odumrlih i odumirućih lužnjakovih stabala u ukupnom etatu prorjeda prema dobnim razredima u razdoblju od 1995. do 2017. godine za cijelu Hrvatsku (lijevi grafikon) i za Šumariju Koška (desni grafikon)	16
Slika 2-14 Učestalost pojave odumiranja u evidentiranim sječama prethodnog etata hrasta lužnjaka u Hrvatskoj prema dobi sastojine u vrijeme sječe tijekom razdoblja od 1995. do 2017. godine	17
Slika 2-15 Učestalost pojave odumiranja u evidentiranim sječama prethodnog etata hrasta lužnjaka u šumariji Koška prema dobi sastojine u vrijeme sječe tijekom razdoblja od 1995. do 2017. godine	17
Slika 2-16 Piezometarska postaja br. 1 (BBL, odsjek 24a)	19
Slika 2-17 Piezometarska postaja br. 2 (BBL, odsjek 16a)	19

Slika 2-18 Piezometarska postaja br. 3 (LG, odsjek 114a)	19
Slika 2-19 Piezometarska postaja br. 4 (LG, odsjek 90a)	19
Slika 2-20 Piezometarska postaja br. 5 (LG, odsjek 3a)	19
Slika 2-21 Piezometarska postaja br. 21 (BBL, odsjek 42c)	19
Slika 2-22 Lokacije 10 postavljenih pokusnih ploha za izmjeru vegetacijskih značajki sastojina i uzorkovanje izvrtaka stabala hrasta lužnjaka	20
Slika 2-23 Uzimanje dva unakrsna izvrtka iz lužnjakovih stabala	21
Slika 2-24 Izmjera debljine kore na uzorkovanim lužnjakovim stablima	21
Slika 2-25 Obilježba stabala na pokusnim plohama (stablo br. 15 na plohi br. 7 uz neposrednu blizinu piezometarske postaje)	22
Slika 2-26 Obilježba stabala na pokusnim plohama (stablo br. 2 i središte plohe br.5)	22
Slika 2-27 Nadmorske visine pet piezometarskih postaja prema prethodno zabilježenim podacima i podacima iz DEM-a dobivenog iz LiDAR podataka	24
Slika 2-28 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 1	25
Slika 2-29 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 2	25
Slika 2-30 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 3	26
Slika 2-31 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 4	26
Slika 2-32 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 5	27
Slika 2-33 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 6	27
Slika 2-34 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 7	28
Slika 2-35 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 8	28
Slika 2-36 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 9	29
Slika 2-37 Tlocrti horizontalnih projekcija krošanja uzorkovanih lužnjakovih stabala na pokusnoj plohi br. 10	29
Slika 2-38 Sušenje izvrtaka na kartonskoj podlozi nakon dolaska s terena (lijevi panel) i osušeni izvrtci zalijepljeni u drvene držače i spremni za brušenje (desni panel)	30
Slika 2-39 Očitavanje obrušenih izvrtaka na ustavu za digitalizaciju visoke razlučivosti Atrics 2 u dendroekološkom laboratoriju Šumarskog fakulteta u Zagrebu	30
Slika 2-40 Očitavanje digitaliziranih izvrtaka u programskom paketu CooRecorder9.3.1.	31
Slika 2-41 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 1 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	32

Slika 2-42 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 2 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	32
Slika 2-43 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 3 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	33
Slika 2-44 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 4 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	33
Slika 2-45 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 5 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	34
Slika 2-46 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 6 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	34
Slika 2-47 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 8 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	35
Slika 2-48 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 8 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	35
Slika 2-49 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 9 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	36
Slika 2-50 Prirasti (širine godova) stabala hrasta lužnjaka uzorkovanih na plohi 10 (pojedinačna stabla su prikazana sivim linijama, a prosječni prirast svih stabala je prikazan crvenom linijom).	36
Slika 2-51 Prosječni prirasti stabala hrasta lužnjaka za svih 10 pokusnih ploha.	37
Slika 2-52 Usporedba vremenskih nizova prirasta širine goda (gornji panel) i prirasta temeljnice (donji panel) uzorkovanih stabala hrasta lužnjaka na plohi 7 (sivom bojom su prikazana pojedinačna stabla, a crvenom linijom prosječna vrijednost)	37
Slika 2-53 Geološka karta područja Našica i Koške	39
Slika 2-54 Terensko uzorkovanje pedološke jame	40
Slika 2-55 Terensko uzorkovanje pedoloških jama	40
Slika 2-56 Pseudoglej ravničarski – Profil br 3	42
Slika 2-57 Pseudoglej ravničarski – profil br 4	42
Slika 2-58 Pseudoglej-Glej – Profil br 2	43
Slika 2-59 Pseudoglej-Glej – profil br 5	43
Slika 2-60 Močvarno glejno, Euglej, hipoglej- Profil br 1	44
Slika 2-61 Ritska crnica-Humoglej – Profil br 6	44
Slika 2-62 Mikromonoliti uzimani na terenu za određivanje boje prema Münsel katalogu	49
Slika 2-63 Münsel katalog	50
Slika 2-64 Vodeni ekosustavi na području šumarije Koška	52
Slika 2-65 Pregled istraživanih lokaliteta.	55
Slika 2-66 Pretraživanje terena na karakterističnom staništu žutog mukača u šumi Koška	55
Slika 2-67 Rana dalmatina sa obaloutvrde uz Vučicu	57
Slika 2-68 Rijeka Vučica na datum 12.10.2018.	57
Slika 2-69 Obodska bara, potpuno suha, na datum 12.10.2018.	58

Slika 2-70 Livadna gušterica, <i>Lacerta agilis</i> , ulovljena uz rijeku Vučicu	58
Slika 2-71 Uzorkovanje riba elektroagregatom.	59
Slika 3-1. Shematski prikaz osnovnih sastavnica hidrološkog ciklusa podzemne vode	60
Slika 3-2 Prosječne godišnje temperature i temperature vegetacijskog razdoblja (IV.-IX. mj.) istraživanog područja u razdoblju od siječnja 1901. do prosinca 2018. godine	65
Slika 3-3 Odstupanje prosječnih godišnjih temperatura i temperatura vegetacijskog razdoblja (IV. – IX. mj.) istraživanog područja u odnosu na prosječne temperature u referentnom razdoblju (01/1970 – 12/1999)	65
Slika 3-4 Prosječne godišnje i vegetacijske (IV.-IX. mj.) sume oborina istraživanog područja u razdoblju od siječnja 1901. do prosinca 2018. godine	65
Slika 3-5 Odstupanje prosječnih godišnjih vegetacijskih (IV. – IX. mj.) suma oborina istraživanog područja u odnosu na prosjek referentnog razdoblja (01/1970 – 12/1999)	66
Slika 3-6 Samokalibrirajući Palmerov indeks jakosti suše za istraživano područje u razdoblju od 1901. do 2017. godine – mjesečne vrijednosti	66
Slika 3-7 Raspored analiziranih piezometarskih postaja s obzirom na nadmorske visine terena i dubine cijevi	67
Slika 3-8 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 1 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	67
Slika 3-9 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 2 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	68
Slika 3-10 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 3 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	68
Slika 3-11 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 4 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	68
Slika 3-12 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 5 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	69
Slika 3-13 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 11 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	69
Slika 3-14 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 12 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	69
Slika 3-15 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 13 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	70
Slika 3-16 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 14 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	70
Slika 3-17 Dinamika podzemne vode na piezometarskoj postaji br. 15 (punom horizontalnom linijom označena je kota terena, a iscrtkanom horizontalnom linijom kota dna piezometarske cijevi)	70
Slika 3-18 Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura modela IPSL-CM5A-LR za dva scenarija (RCP 4.5 i 8.5) s mjerenim podacima na meteorološkoj postaji Gradište: gornji panel – vremenski niz, donji lijevi panel – odstupanja po mjesecima, donji desni panel – razlika modelnih i mjerenih podataka u odnosu na mjerene podatke	72
Slika 3-19 Usporedba prosječnih mjesečnih temperatura modela MPI-ESM-LR za dva scenarija (RCP 4.5 i 8.5) s mjerenim podacima na meteorološkoj postaji Gradište: gornji panel – vremenski niz, donji	

lijevi panel – odstupanja po mjesecima, donji desni panel – razlika modelnih i mjerenih podataka u odnosu na mjerene podatke	73
Slika 3-20 Usporedba modelnih podataka s mjerenim podacima na sezonskoj razini, lijevi panel – model IPSL-CM5A-LR, desni panel model MPI-ESM-LR; nveg – mjeseci izvan vegetacijskog razdoblja (1.-3. i 10.12.), veg – mjeseci vegetacijskog razdoblja (4.-9.), year – godišnje prosječne vrijednosti	73
Slika 3-21 Usporedba sume mjesečnih oborina modela IPSL-CM5A-LR za dva scenarija (RCP 4.5 i 8.5) s mjerenim podacima na meteorološkoj postaji Gradište: gornji panel – vremenski niz, donji lijevi panel – odstupanja po mjesecima, donji desni panel – razlika modelnih i mjerenih podataka u odnosu na mjerene podatke	74
Slika 3-22 Usporedba sume mjesečnih oborina modela MPI-ESM-LR za dva scenarija (RCP 4.5 i 8.5) s mjerenim podacima na meteorološkoj postaji Gradište: gornji panel – vremenski niz, donji lijevi panel – odstupanja po mjesecima, donji desni panel – razlika modelnih i mjerenih podataka u odnosu na mjerene podatke	75
Slika 3-23 Usporedba modelnih podataka s mjerenim podacima na sezonskoj razini, lijevi panel – model IPSL-CM5A-LR, desni panel model MPI-ESM-LR; nveg – mjeseci izvan vegetacijskog razdoblja (1.-3. i 10.12.), veg – mjeseci vegetacijskog razdoblja (4.-9.), year – godišnje prosječne vrijednosti	76
Slika 3-24 Projekcije promjena godišnje sume oborina prema modelima IPSL (Lijevi panel) i MPI (desni panel) u odnosu na referentno razdoblje (1970-1999), period 1 (per1 – 2000-2024) i period 2 (per2 – 2025-2049)	76
Slika 3-25 Projekcije promjena sume oborina u vegetacijskom razdoblju (4.-9.mjesec) prema modelima IPSL (Lijevi panel) i MPI (desni panel) u odnosu na referentno razdoblje (1970-1999), period 1 (per1 – 2000-2024) i period 2 (per2 – 2025-2049)	77
Slika 3-26. Konceptualni prikaz mogućeg povećanja mortaliteta stabala u uvjetima buduće toplije i suše klime (Allen i dr. 2010)	79
Slika 4-1 Kretanje aviona s LiDAR opremom za snimanje tijekom prvog snimanja Šumarije Koška u travnju 2018. godine	82
Slika 4-2 Prikaz dijela lidarskog oblaka podataka dobivenog snimanjem u travnju 2019. godine. Gornji panel prikazuj točke vegetacija i terena, dok su na donjem panelu prikazane samo točke klasificirane kao tlo iz kojih se onda dalje izrađuje digitalni model terena (DEM)	83
Slika 4-3 Prikaz točaka LIDAR oblaka kao presjeka sastojine u blizini lokacije novopostavljene piezometarske postaje u gospodarskoj jedinici BBL (piezometar br. 21)	83
Slika 4-4 Površine šumarije Koška snimljene tijekom prvog LiDAR snimanja početkom travnja 2018. godine	84
Slika 4-5 Digitalni model terena (DEM) izrađen iz LiDAR podataka snimljenih početkom travnja 2018. godine.	85
Slika 4-6 Prikaz jedna od bara na području Šumarije Koška na digitalnom ortofoto snimku (lijevo) i digitalnog reljefa terena velike razlučivosti deriviranog iz preuzetih LIDAR snimaka	85
Slika 4-7 Površine šumarije Koška i šumarije Donji Miholjac snimljene tijekom drugog LiDAR snimanja krajem travnja 2019. godine	86
Slika 4-8 Odsjeci šumarije koška u kojima su obavljani neki od uzgojnih radova u razdoblju između dva LiDAR snimanja	87

Slika 4-9 Digitalni model terena razlučivosti 0,5 m izrađen za cijelo području istraživanja iz LiDAR podataka snimljenih 2018. i 2019. godine	87
Slika 4-10 Digitalni model terena područja šumarije Koška s prikazanim depresijama i izračunatim potencijalnim dubinama vode u depresijama	89
Slika 4-11 Digitalni model terena analiziranog područja šumarije Donji Miholjac s prikazanim depresijama i izračunatim potencijalnim dubinama vode u depresijama	90
Slika 4-12 Potencijalna lokacija za hidrouzgojne mjere na području šumarije Koška, šumski predjel Breza	91
Slika 4-13 Potencijalna lokacija za hidrouzgojne mjere na području šumarije Koška, Obodska bara	92
Slika 4-14 Potencijalna lokacija za hidrouzgojne mjere na području šumarije Miholjac, stari meandar	93
Slika 4-15 Potencijalne lokacije za hidrouzgojne mjere na području šumarije Miholjac, stari meandar i ovalna depresija	94
Slika 4-16 Kartografski prikaz depresije k-004 na području Šumarije Koška koja se nalazi rubno u šumskim sastojinama	95
Slika 4-17 Kartografski prikaz depresije k-072 na području Šumarije Koška koja se djelomično nalazi u privatnom šumoposjedu (sjeverni dijelovi depresije)	96
Slika 4-18 Kartografski prikaz depresije k-223 na području Šumarije Koška koja se nalazi u potpunosti izvan šumskih sastojina (na poljoprivrednim površinama)	96
Slika 4-19 3D pogled na LiDAR podatke odsjeka 2c (A – okomiti pogled, B – perspektiva)	99
Slika 4-20 LiDAR podaci prije izvođenja radova u odsjeku 2c (travanj 2018. – gornji panel) i nakon izvedenih radova (travanj 2019. – donji panel)	100
Slika 4-21 Odsjek 16a prikazan na DOF snimcima iz travnja 2018. godine (lijevi panel) i travnja 2019. godine (desni panel)	100
Slika 4-22 Visine LiDAR točaka prije provedene prorjede (gornji panel, travanj 2018.) i nakon provedene prorjede (donji panel, travanj 2019. godine)	101
Slika 4-23 LiDAR snimka odsjeka 27a prije (gornji panel, travanj 2018.) i poslije (donji panel, travanj 2019.) provedenog uzgojnog zahvata pripremno-naprodnog sijeka	102

6 Popis tablica

Tablica 2-1 Kompleks uzroka sušenja hrasta lužnjaka u Hrvatskoj (Prpić 1996)	10
Tablica 2-2 Podaci o užitoj drvnoj zalihi i propisu za hrast lužnjak tijekom važenja dvije zadnje Šumskogospodarske osnove područja	13
Tablica 2-3 Udio pojedini vrsta sječe u ukupnom etatu prorjede	14
Tablica 2-4 Osnovni podaci o piezometarskim postajama na području šumarije Koška	18
Tablica 2-5 Osnovni podaci o odsjecima u kojima su postavljene pokusne plohe	20
Tablica 2-6 Koordinate i nadmorske visine terena središta postavljenih pokusnih ploha i piezometarskih postaja	23
Tablica 2-7 Osnovni podaci o očitanim izvrtcima na pokusnim ploham	31
Tablica 2-8 Osnovni podaci o obrađenim pedološkim profilima	39
Tablica 2-9 Osnovni podaci o obrađenim pedološkim profilima	41
Tablica 2-10 Popis pedosistematskih jedinica	41
Tablica 2-11 Osnovne kemijske i mehaničke značajke pedoloških profila	46
Tablica 2-12 Rezultati očitavanja boje prema Münsel katalogu	48
Tablica 3-1 Osnovni podaci o piezometarskim postajama i razdbolju mjerenja za koje su bili dostupni podaci	66
Tablica 4-1 Podaci o ukupno utvrđenim depresijama na analiziranim područjima Šumarija Donji Miholjac i Koška	97
Tablica 4-2 Najpogodnije lokacije za provedbu hidrouzgojnih mjera na analiziranim površinama Šumarija Donji Miholjac i Koška	98

7 Literatura

- Aakala, T., Kuuluvainen, T., 2011: Summer droughts depress radial growth of *Picea abies* in pristine taiga of the Arkhangelsk province, northwestern Russia. *Dendrochronologia*, 29(2):67–75.
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N.G., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D.D., Hogg, E.H.T., Gonzalez, P., Fensham, R., Zhang, Z., Castro, J., Demidova, N., Lim, J., Allard, G., Running, S.W., Semerci, A., Cobb, N., 2010: A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management* 259:660–684.
- Allen, C.D., 2009: Climate-induced forest dieback: an escalating global phenomenon? *Unasylva* 60:43–49.
- Anderegg, W.R.L., Kane, J.M., Anderegg, L.D.L., 2012: Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. *Nature Climate Change*, (September).
- Andersson, M., Milberg, P., Bergman, K.-O., 2011: Low pre-death growth rates of oak (*Quercus robur* L.)—Is oak death a long-term process induced by dry years? *Annals of Forest Science* 68(1):159–168.
- Anić, I., 2001: Uspijevanje i pomlađivanje sastojina poljskog jasena (*Fraxinus angustifolia* Vahl) u Posavini. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 197.
- Anić, I., 2004a: Uzgajanje šuma. Interna skripta, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 168.
- Anić, I., 2004b: Zagrebačka škola uzgajanja šuma i gospodarenje nizinskim šumama. *Bilten parka prirode Lonjsko polje*, 6(2):25–37.
- Anić, I., Oršanić, M., Detelić, M., 2002: Revitalizacija degradiranoga ekosustava nakon sušenja hrasta lužnjaka - primjer šume Kalje. *Šumarski list*, CXXVI(11-12):575–587.
- Anonymous, 2006a: Pravilnik o doznaci stabala, obilježavanju drvnih sortimenata, popratnici i šumskom redu. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva.
- Anonymous, 2006b: Studija utjecaja na okoliš VKDS – šumarska istraživanja, Knjiga 15, OIKON d.o.o., 1-154, Zagreb.
- Anonymous, 2009: Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o doznaci stabala, obilježavanju drvnih sortimenata, popratnici i šumskom redu. Zagreb: Ministarstvo regionalnog razvoja, šumarstva i vodnoga gospodarstva.
- Anonymous, 2007: Pravilnik o izmjenama pravilnika o doznaci stabala, obilježavanju drvnih sortimenata, popratnici i šumskom redu. Zagreb: Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodnoga gospodarstva.
- Anonymous, 2006b: Šumskogospodarska osnova područja RH, 2006.-2015., “Hrvatske šume” d.o.o. Zagreb.
- Arrhenius, S., 1896: On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41:237–276.
- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovic, Z., Nieplova, E., 2007: HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 27:17–46.
- Baričević, D., 1999: Ekološko-vegetacijske promjene u šumama hrasta lužnjaka na području G. J. “Žutica.” *Šumarski list* CXXIII(1-2):17–28.
- Barić-Tominac, M., 2010: Dinamika i kakvoća podzemne vode u nizinskim ekosustavima na području Spačve. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 123.
- Betsch, P., Bonal, D., Bréda, N., Montpied, P., Peiffer, M., Tuzet, A., Granier, A., 2011: Drought effects on water relations in beech: The contribution of exchangeable water reservoirs. *Agricultural and Forest Meteorology* 151(5):531–543.
- Bigler, C., Bräker, O.U., Bugmann, H., Dobberty, M., Rigling, A., 2006: Drought as an inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9(3):330–343.
- Bigler, C., Bugmann, H., 2004: Assessing the performance of theoretical and empirical tree mortality models using tree-ring series of Norway spruce. *Ecological Modelling* 174:225–239.
- Bijak, S., 2008: Various factors influencing the pointer year analysis. U: *DENDROSYMPOSIUM 2007.*, Elferts D, Brumelis G, Gärtner H, Helle G, Schleser G. (ur.), str. 77–82, Potsdam.
- Binkley, D., Stape, J.L., Ryan, M.G., Barnard, H.R., Fownes, J., 2002: Age-related Decline in Forest Ecosystem Growth: An Individual-Tree, Stand-Structure Hypothesis. *Ecosystems* 5(1):58–67.
- Binkley, D., Campoe, O.C., Gspaltl, M., Forrester, D.I., 2013: Light absorption and use efficiency in forests: Why patterns differ for trees and stands. *Forest Ecology and Management* 288:5–13.
- Biondi, F., Qeadan, F., 2008: Inequality in paleorecords. *Ecology* 89(4):1056–1067.
- Biondi, F., Waikul, K., 2004: DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences* 30:303–311.
- Bolker, B., 2007: Ecological Models and Data in R. Princeton University Press, str. 516, Princeton and Oxford.
- Bonacci, O., 2010: Analiza nizova srednjih godišnjih temperatura zraka u Hrvatskoj. *Grđevinar* 62(9):781–791.
- Bond, B.J., 2000: Age-related changes in photosynthesis of woody plants. *Trends in plant science* 5(8):349–353.
- Božić, M., Čavlović, J., Lukić, N., 2001: Analiza utjecaja gospodarenja jelovim šumama na radijalni prirast jelovih stabala. U: Matić, S. i dr. (ur.), Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama, 407-412, Zagreb.

- Branković, C., Patarčić, M., Güttler, I., Srnec, L., 2012: Near-future climate change over Europe with focus on Croatia in an ensemble of regional climate model simulations. *Climate Research* 52:227–251.
- Bréda, N., Granier, A., Barataud, F., Moyne, C., 1995: Soil water dynamics in an oak stand: I. Soil moisture, water potentials and water uptake by roots. *Plant and Soil* 172:17–27.
- Bréda, N., Huc, R., Granier, A., Dreyer, E., 2006: Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science* 63:625–644.
- Brunke, M., Gonser, T., 1997: The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology* 37(1):1–33.
- Bunn, A., 2008: A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26:115–124.
- Calvo-Alvarado, J.C., McDowell, N.G., Waring, R.H., 2008: Allometric relationships predicting foliar biomass and leaf area:sapwood area ratio from tree height in five Costa Rican rain forest species. *Tree Physiology* 28:1601–1608.
- Camarero, J.J., Bigler, C., Linares, J.C., Gil-Pelegrín, E., 2011: Synergistic effects of past historical logging and drought on the decline of Pyrenean silver fir forests. *Forest Ecology and Management* 262(5):759–769.
- Carnwath, G.C., Peterson, D.W., Nelson, C.R., 2012: Effect of crown class and habitat type on climate–growth relationships of ponderosa pine and Douglas-fir. *Forest Ecology and Management* 285:44–52.
- Cestarić, D., 2008: Današnje stanje šumske vegetacije Spačvanskoga bazena u ovisnosti o promjenama staništa u razdoblju od 1969–2007. godine. Magistarski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera Osijek, Institut Ruđer Bošković Zagreb, str. 104.
- Cherubini, P., Fontana, G., Rigling, D., Dobbertin, M., Brang, P., Innes, J.L., 2002: Tree-life history prior to death: two fungal root pathogens affect tree-ring growth differently. *Journal of Ecology* 90(5):839–850.
- Cleveland, W.S., 1979: Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association* 74:829–836.
- Cochard, H., Bréda, N., Granier, A., Aussenac, G., 1992: Vulnerability to air embolism of three European species (*Quercus petraea* (Matt) Liebl, *Q. pubescens* Willd, *Q. robur* L.). *Annals of Forest Science* 49:225–233.
- Cochard, H., Bréda, N., Granier, A., 1996: Whole tree hydraulic conductance and water loss regulation in *Quercus* during drought: evidence for stomatal control of embolism? *Annals of Forest Science* 53:197–206.
- Cook, E.R., 1985: A time series analysis approach to tree ring standardization. Disertacija, University of Arizona, School of renewable natural resources, str. 171.
- Cook, E.R., 1987: The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-ring bulletin* 47:37–59.
- Cook, E.R., Johnson, A.H., Blasing, T.J., 1987: Forest decline: modeling the effect of climate in tree rings. *Tree Physiology* 3:27–40.
- Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S.A., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Way, R., Jacobs, P., Skuce, A., 2013: Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters* 8(2):024024.
- Cowpertwait, P.S.P., Metcalfe, A.V., 2009: Introductory time series with R. Use R!, Springer Science+Business Media, LLC, London, str. 254.
- Crawley, M.J., 2007: The R Book. John Wiley & Sons, England, str. 942.
- Curtis, R.O., Marshall, D.D., 2000: Why Quadratic Mean Diameter? *Western Journal of Applied Forestry* 15(3):137–139.
- Cvitić, M., 2009: Problemi šumarstva vezani za izgradnju višenamjenskoga kanala Dunav-Sava. *Šumarski list CXXXIII*(11-12):640–644.
- Čater, M., Bobinac, M., Levanić, T., Simončić, P., 2008: Water status, nutrients and radial increment of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in northern Serbia and comparison with selected sites in Slovenia. *Zbornik gozdarstva i lesarstva* 87:135–144.
- Čavlović J, Božić M., 2005: Priručnik za nacionalnu inventuru šuma Republike Hrvatske. CRONFI - Nacionalna inventura šuma Hrvatske, 1-96, Zagreb.
- Čermák, J., 1998: Leaf distribution in large trees and stands of the floodplain forest in southern Moravia. *Tree Physiology* 18:727–737.
- Čermák, J., Cienciala, E., Kučera, J., Hällgren, J.-E., 1992: Radial velocity profiles of water flow in trunks of Norway spruce and oak and the response of spruce to severing. *Tree Physiology* 10:367–380.
- Čermák, J., Úlehla, J., Kučera, J., Penka, M., 1982: Sap flow rate and transpiration dynamics in the full-grown oak (*Quercus robur* L.) in floodplain forest exposed to seasonal floods as related to potential evapotranspiration and tree dimensions. *Biologia Plantarum (Praha)* 24(6):446–460.
- Čermák, J., 1989: Solar equivalent leaf area: an efficient biometrical parameter of individual leaves, trees and stands. *Tree Physiology* 5:269–289.
- Čermák, J., Kučera, J., Bauerle, W.L., Phillips, N., Hinckley, T.M., 2007: Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes in stem volume in old-growth Douglas-fir trees. *Tree physiology* 27:181–98.
- Čermák, J., Prax, A., 2001: Water balance of a Southern Moravian floodplain forest under natural and modified soil water regimes and its ecological consequences. *Annals of Forest Science* 58:15–29.
- Čirić, M., 1965: *Atlas šumskih zemljišta Jugoslavije*, Grafički zavod Hrvatske, str. 84.
- Dai, A., Trenberth, K.E., Qian, T., 2004: A Global Dataset of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: Relationship with Soil Moisture and Effects of Surface Warming. *Journal of Hydrometeorology* 5(6):1117–1130.
- Dalgaard, P., 2002: *Introductory statistics with R* Statistics. Springer Verlag, New York, str. 284.
- Das, A., Battles, J., Stephenson, N.L., van Mantgem, P.J., 2011: The contribution of competition to tree mortality in old-growth coniferous forests. *Forest Ecology and Management* 261(7):1203–1213.
- Das, A., Battles, J., Stephenson, N.L., van Mantgem, P.J., 2007: The relationship between tree growth patterns and likelihood of mortality: a study of two tree species in the Sierra Nevada. *Canadian Journal of Forest Research* 37(3):580–597.
- Dekanić, I., 1980: Način i intenzitet proreda u šumi hrasta lužnjaka i običnog graba. SŠGO “Slavonska šuma”, Vinkovci, str. 120.
- Dekanić, I., 1959: Utjecaj podzemne vode na pridolazak i uspijevanje šumskog drveća u posavskim šumama kod Lipovljana. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 150.
- Dekanić, I. 1964: Metodi intenzivnog proređivanja sastojina visokog uzrasta. Jugoslovenski poljoprivredno-šumarski centar, Dokumentacija za tehnologiju i tehniku u šumarstvu 46:1-79.
- Dekanić, I., 1991: Utjecaj strukture na njegu sastojina proredom u šumi lužnjaka i običnog graba (*Quercus robur-Carpinetum illyricum* Anič). HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci, Vinkovci, str. 153.
- Dekanić, I., 1975: Utjecaj visine i oscilacija nivoa podzemnih voda na sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Šumarski list* 99(7-10):267–280.

- Dekanić, S., Dubravac, T., Pilaš, I., Indir, K., 2009: Dinamika sušenja hrasta lužnjaka u Spačvanskom bazenu od 1996. do 2006. godine s obzirom na dob i fitocenološku pripadnost sastojine. U: S. Matić i I. Anić (ur.), *Zbornik radova sa znanstvenog skupa Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima*. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 55–74.
- Dekanić, S., 2004. Utjecaj gustoće sadnje na razvoj strukturnih značajki dvanaestogodišnje šumske kulture hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 42.
- Dekanić, S., 2012: Neke statističke metode u modeliranju hidrološkog režima Spačvanskog bazena. Seminarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1–57.
- Dias, R., 2009: Nonparametric Regression: Lowess/Loess. *Compute GEOG* 414/514: 1–4.
- Dobbertin, M., 2001: Crown defoliation improves tree mortality models. *Forest Ecology and Management* 141(3):271–284.
- Dobbertin, M., 2005: Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research* 124(4):319–333.
- Dolanjski, D., Petošić, D., Stričević, I., 1999: Dinamika podzemnih voda na dijelu Srednje Posavine. *Poljoprivredna znanstvena smotra* 64(1):49–58.
- Donaubauer, E., 1998: Die Bedeutung von Krankheitserregern beim gegenwärtigen Eichensterben in Europa - eine Literaturübersicht. *European Journal of Forest Pathology* 28:91–98.
- Drobyshev, I., Dobrovolsky, A., Neshataev, V., 2009: Tree mortality in a mixed deciduous forest in Northwestern Russia over 22 years. *Annals of Forest Science* 66(4):411–421.
- Drobyshev, I., Linderson, H., Kerstin, S., 2007a: Relationship between crown condition and tree diameter growth in Southern Swedish oaks. *Environ. Monit. Assess* 128:61–73.
- Drobyshev, I., Linderson, H., Kerstin, S., 2007b: Temporal mortality pattern of pedunculate oaks in southern Sweden. *Dendrochronologia* 24:97–108.
- Dubravac, T., 2002: Zakonitosti razvoja strukture krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi u zajednici *Carpino betuli-Quercetum roboris* Anić em. Rauš 1969. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 196.
- Dubravac, T., 2003: Dinamika razvoja promjera krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi. *Rad.Šumar.Inst.* 38:35–54.
- Dubravac, T., 2004: Dinamika razvoja dužina krošanja hrasta lužnjaka i običnoga graba ovisno o prsnom promjeru i dobi. *Rad.Šumar.Inst.* 39:51–69.
- Dubravac, T., Dekanić, S., Vrbek, B., Matošević, D., Roth, V., Jakovljević, T., Zlatanov, T., 2009: Crown volume in forest stands of pedunculate oak and common hornbeam. *Periodicum Biologorum*, 111(4):479–485.
- Dubravac, T., Dekanić, S., 2009: Struktura i dinamika sječe suhih i odumirućih stabala hrasta lužnjaka u Spačvanskom bazenu od 1996. do 2006. godine. *Šumarski list CXXXIII*(7-8):391–405.
- Dubravac, T., Dekanić, S., Roth, V., 2011: Dinamika oštećenosti i struktura krošanja stabala hrasta lužnjaka u šumskim zajednicama na gredi i u nizi - rezultati motrenja na trajnim pokusnim ploham. *Šumarski list CXXXV*(Posebni broj 13):74–89.
- Dubravac, T., Bobinac, M., Barčić, D., Novotny, V., Andrašev, S., 2013: Growth dynamics of crown shapes in stands of pedunculate oak and common hornbeam. *Periodicum biologicorum* 115:331–338.
- Eckhardt, K., Ulbrich, U., 2003: Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *Journal of Hydrology* 284(1-4):244–252.
- Eckstein, D., Cherubini, P., 2012: The “dendrochronological community” at Rovaniemi, Finland, 2010: Lessons learned from the past and perspectives for the future. *Dendrochronologia* 30(2):195–197.
- Enquist, B.J., Niklas, K.J., 2001: Invariant scaling relations across tree-dominated communities. *Nature* 410:655–60.
- Faraway, J.J., 2002: Practical regression and anova using R. University of Michigan, SAD, str. 213.
- Fellows, A.W., Goulden, M.L., 2013: Controls on gross production by a semiarid forest growing near its warm and dry ecotonal limit. *Agricultural and Forest Meteorology* 169:51–60.
- Fischer, E.M., Schär, C., 2010: Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geoscience* 3(6):398–403.
- Flynn, R.H., Tasker, G.D., 2004: Generalized estimates from streamflow data of annual and seasonal ground-water-recharge rates for drainage basins in New Hampshire, Scientific Investigations Report 2004-5019, USDOI-USGS, Pembroke, New Hampshire, str. 67.
- Franklin, J.F., Shugart, H.H., Harmon, M.E., 1987: Tree death as an ecological process. *BioScience* 37(8):550–555.
- Fridman, J., Ståhl, G., 2001: A three-step approach for modelling tree mortality in Swedish forests. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16:455–466.
- Führer, E., 1998: Oak Decline in Central Europe: A synopsis of hypotheses. U: M. L. McManus i A. M. Liebhold (ur.) *Population Dynamics, Impacts, and Integrated Management of Forest Defoliating Insects*. Radnor: USDA Forest service, Northeastern Research Station, 7–24.
- Von Gadow, K., 2003: Waldstruktur und Wachstum. Universitätsdrucke Göttingen, Göttingen, str. 237.
- Gaertig, T., Schack-Kirchner, H., Hildebrand, E.E., v. Wilpert, K., 2002: The impact of soil aeration on oak decline in southwestern Germany. *Forest Ecology and Management* 159:15–25.
- Garbrecht, J., Fernandez, G.P., 1994: Visualization of trends and fluctuations in climatic records. *Water Resources Bulletin*, 30(2):297–306.
- Giraudoux, P., 2012: Package "pgirmess". CRAN Repository, str. 60.
- Glavač, V., 1961: O vlažnom tipu šume hrasta lužnjaka i običnog graba. *Šumarski list*, 85(9-10):342–347.
- Glavač, V., 1962: Osnovno fitocenološko raščlanjenje nizinskih šuma u Posavini. *Šumarski list*, 86(9-10):317–329.
- Goršić, E., 2013: Dinamika debljinskog prirasta stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 154.
- Gower, S.T., Kucharik, C.J., Norman, J.M., 1999: Direct and indirect estimation of leaf area index, fAPAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sens. Environ.*, 70:29–51.
- Green, T.R., Taniguchi, M., Kooi, H., Gurdak, J.J., Allen, D.M., Hiscock, K.M., Treidel, H., Aureli, A., 2011: Beneath the surface of global change: Impacts of climate change on groundwater. *Journal of Hydrology*, 405(3-4):532–560.
- Griffis, V.W., Stedinger, J.R., 2007: The use of GLS regression in regional hydrologic analyses. *Journal of Hydrology*, 344(1-2):82–95.

- Grissino-Mayer, H.D., 2001: Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-ring Research*, 57(2):205–221.
- Grote, R., Kiese, R., Grünwald, T., Ourcival, J.-M., Granier, A., 2011: Modelling forest carbon balances considering tree mortality and removal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(2):179–190.
- Gspaltl, M., Sterba, H., 2011: An approach to generalized non-destructive leaf area allometry for Norway spruce and European beech. *Austrian Journal of Forest Science*, 128(4):219–250.
- Guarin, A., Taylor, A.H., 2005: Drought triggered tree mortality in mixed conifer forests in Yosemite National Park, California, USA. *Forest Ecology and Management*, 218:229–244.
- Guiterman, C.H., Seymour, R.S., Weiskittel, A.R., 2012: Long-term thinning effects on the leaf area of *Pinus strobus* L. as estimated from litterfall and individual-tree allometric models. *Forest Science*, 58(1):85–93.
- Güneralp, B., Gertner, G., 2007: Feedback loop dominance analysis of two tree mortality models: relationship between structure and behavior. *Tree physiology*, 27(2):269–80.
- Hager, H., Schume, H., Tiefenbacher, H., Buchleitner, E., 2007: The management of floodplain forests in Austria. U: P. Hobza, (ur.) *Forest management systems and regeneration of floodplain forest sites*. Brno, 41–59.
- Hamilton, N.R.S., Matthew, C., Lemarie, G., 1995: In defence of the $-3/2$ boundary rule: a re-evaluation of self-thinning concepts and status. *Annals of Botany*, 76:569–577.
- Harapin, M., Androić, M., 1996: Sušenje i zaštita šuma hrasta lužnjaka. U: D. Klepac, (ur.) *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti - Centar za znanstveni rad Vinkovci i "Hrvatske šume" d.o.o., Vinkovci-Zagreb, 227–256.
- Hartmann, G., 1996: Ursachenanalyse des Eichensterbens in Deutschland - Versuch einer Synthese bisheriger Befunde. U: A. Wulf i R. Kehr, (ur.) *Eichensterben in Deutschland - Situation, Ursachenforschung und Bewertung*. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz im Forst, Berlin, 125–151.
- Hartmann, H., Messier, C., 2008: The role of forest tent caterpillar defoliations and partial harvest in the decline and death of sugar maple. *Annals of Botany*, 102(3):377–87.
- Hasenauer, H., 1997: Dimensional relationships of open-grown trees in Austria. *Forest Ecology and Management*, 96:197–206.
- Helama, S., Läänelaid, A., Raisio, J., Tuomenvirta, H., 2008: Oak decline in Helsinki portrayed by tree-rings, climate and soil data. *Plant and Soil*, 319(1-2):163–174.
- Hemery, G., Savill, P., Pryor, S., 2005: Applications of the crown diameter–stem diameter relationship for different species of broadleaved trees. *Forest Ecology and Management*, 215(1-3):285–294.
- Hermann, J., 2005: Pilze an Bäumen, Patzer Verlag, Berlin-Hannover, str. 347.
- Hilasvuori, E., Berninger, F., 2010: Dependence of tree ring stable isotope abundances and ring width on climate in Finnish oak. *Tree physiology*, 30(5):636–47.
- Hipel, K.W., McLeod, A.I., 1994: Time series modelling of water resources and environmental systems. Elsevier Science B. V., Amsterdam, str. 1031.
- Horvat, I., 1938: Biljnosociološka istraživanja šuma u Hrvatskoj. *Glasnik za šumske pokuse*, 6(6):127–279.
- Hren, V., 1980: Dinamika horizontalnog širenja krošanja nekih važnijih vrsta drveća sjeverne Hrvatske. *Šumarski list*, 104(11-12):455–460.
- Hren, V., Krejči, V., 1992: Oblični broj nekih važnijih vrsta drveća Hrvatske. *Rad. Šumar. Inst.*, 27:12–20.
- HŠD, 2007: Mišljenje šumarske struke o Studiji o utjecaju na okoliš višenamjenskoga kanala Dunav-Sava. *Šumarski list*, CXXXI(7-8):371–372.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change T. F. Stocker, (ur.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, str. 1535.
- Iqbal, J., MacLean, D.A., Kershaw Jr., J.A., 2011: Impacts of hemlock looper defoliation on growth and survival of balsam fir, black spruce and white birch in Newfoundland, Canada. *Forest Ecology and Management*, 261(6):1106–1114.
- Ivkov, M., 1994: Simuliranje razvoja sastojina uz pomoć modela ovisnosti debljinskog prirasta o razini podzemnih voda. *Glasnik za šumske pokuse*, 30:95–142.
- Ivković, K.M.-J., 2006: Modelling groundwater-river interactions for assessing water allocation options. Disertacija, Australian National University, str. 233.
- J.E., 1884: Odkuda sušaki? *Šumarski list*, VIII(5):245–246.
- Jakovac, H., 1999: Mogući utjecaj višenamjenskoga kanala Dunav-Sava na šumske ekosustave. *Šumarski list*, CXXIII(1-2):63–66.
- Johnson, P.S., Shifley, S.R., Rogers, R., 2002: The ecology and silviculture of oaks. CABI Publishing, New York, str. 503.
- Jönsson-Belyazio, U., Rosengren, U., 2006: Can *Phytophthora quercina* have a negative impact on mature pedunculate oaks under field conditions? *Annals of Forest Science*, 63:661–672.
- Jureša, B., 1976: Sušenje hrasta, jasena i brijesta u razdoblju 1950-1974. god. na području ŠG "Hrast." *Šumarski list*, 100(1-2):61–66.
- Jureša, B., 1988: Sušenje šuma na području jugoistočne Slavonije. *Šumarski list*, CXII(1-2):51–64.
- Jurjević, P., 2007: O kanalu Dunav-Sava sa šumarskoga stajališta. *Šumarski list*, CXXXI(5-6):269–271.
- Kalafadžić, Z., Kušan, V., Horvatić, Z., Pernar, R., 1993: Oštećenost šuma i neki čimbenici okoliša u šumskom bazenu "Spačva." *Šumarski list*, CXVII(6-8):281–292.
- Kalinić, M., 1975: Tla šumskih zajednica Spačvanskog bazena. U: T. Varićak, M. Vidaković, D. Švagelj, (ur.) *Sto godina znanstvenog i organiziranog pristupa šumarstvu jugoistočne Slavonije*. HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci, Zagreb, 413–432.
- Kandler, O., 1992: The German forest decline situation: a complex disease or a complex of diseases. U: P. D. Manion i D. Lachance, (ur.) *Forest decline concepts*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 59–84.
- Kapec, D., 2006: Utjecaj intenziteta sušenja, mikroklijeta i savske poplavne vode na stanje i strukturu sastojina hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici "Žutica." *Šumarski list*, CXXX(9-10):425–443.
- Kavehkar, S., Ghorbani, M.A., Khokhlov, V., Ashrafzadeh, A., Darbandi, S., 2011: Exploiting two intelligent models to predict water level: A field study of Urmia lake, Iran. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 75:948–952.
- Keane, R.E., Austin, M., Field, C., Huth, A., Lexer, M.J., Peters, D., Solomon, A., Wyckoff, P., 2001: Tree mortality in gap models: Application to climate change. *Climate Change*, 51:509–540.

- Kint, V., Vansteeniste, D., Aertsen, W., Vos, B., Bequet, R., Acker, J., Muys, B., 2011: Forest structure and soil fertility determine internal stem morphology of Pedunculate oak: a modelling approach using boosted regression trees. *European Journal of Forest Research* 131:609–622.
- Kint, V., Hein, S., Campioli, M., Muys, B., 2010: Modelling self-pruning and branch attributes for young *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. trees. *Forest Ecology and Management*, 260(11):2023–2034.
- Klepac, D., 1959: Izračunavanje gubitka na prirastu u sastojinama koje je napao gubar (*Lymantria dispar*). *Šumarski list*, 83(8-9):280–290.
- Klepac, D., 2000: Najveća cjelovita šuma hrasta lužnjaka u Hrvatskoj Spačva. HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci, Zagreb-Vinkovci, str. 116.
- Klepac, D., 1996: Stare šume hrasta lužnjaka i njihov doprinos razvoju Hrvatske. U: D. Klepac, (ur.) Hrast lužnjak u Hrvatskoj. HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i “Hrvatske šume” d.o.o. Zagreb, Zagreb-Vinkovci, 13–26.
- Klepac, D., Spaić, I., 1965: Utjecaj nekih defolijatora na debljinski prirast hrasta lužnjaka. *Šumarski list*, 89(3-4):93–101.
- Knepp, R.G., Hamilton, J.G., Mohan, J.E., Zangerl, A.R., Berenbaum, M.R., Delucia, E.H., 2005: Elevated CO₂ reduces leaf damage by insect herbivores in a forest community. *The New phytologist*, 167(1):207–18.
- Koenker, R., 2006: Quantile regression in R: A vignette. CRAN Repository, str. 21.
- Konópka, B., Yuste, J.C., Janssens, I.A., Ceulemans, R. 2005: Comparison of fine root dynamics in Scots pine and pedunculate oak in sandy soil. *Plant and Soil*, 276(1-2):33–45.
- Kozarac, J., 1896: O uzgoju posavskih hrastovih sastojina u prvim periodima obhodnje. *Šumarski list*, XXI(1):1–15.
- Kozłowski, T.T., 1997: Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph*, 1(1):1–29.
- Kozłowski, T.T., Pallardy, S.G., 2002: Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *The Botanical Review*, 68(2):270–334.
- Krajčević, J.E., Brinkman, K.A., Gingrich, S.F., 1961: Crown competition - A measure of density. *Forest Science*, 7(1):35–42.
- Kraljić, B., Golubović, U., 1980: Ekonomske posljedice sušenja hrasta lužnjaka (*Q. robur* L.). *Šumarski list*, CIV(1-2):3–15.
- Krejči, V., 1988. Prirast širina krošanja hrasta lužnjaka u zajednici hrasta lužnjaka s velikom žutilovkom (*Genista elatae-Quercetum roboris* Horv. 1938) na području Hrvatske. Magistarski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 60.
- Kroll, C.N., Stedinger, J.R., 1998: Regional hydrologic analysis: Ordinary and generalized least squares revisited. *Water Resources Research*, 34(1):121–128.
- Laganis, J., Pečkov, A., Debeljak, M., 2008: Modeling radial growth increment of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) tree. *Ecological Modelling*, 215(1-3):180–189.
- Lageard, J.G.A., Drew, I.B., 2008: Hydrogeomorphic control on tree growth responses in the Elton area of the Cheshire Saltfield, UK. *Geomorphology*, 95(3-4):158–171.
- Landsberg, J., Sands, P., 2011: Physiological ecology of forest production. Terrestria., Elsevier, Oxford, str. 331.
- Larcher, W., 2003. Physiological plant ecology. Springer-Verlag, Berlin, str. 513.
- LeBlanc, D., Terrell, M., 2001: Dendroclimatic analyses using Thornthwaite-Mather-type evapotranspiration models: a bridge between dendroecology and forest simulation models. *Tree-ring Research*, 57(1):55–66.
- Levanič, T., 1996: Dendrokronološka in dendroekološka analiza propadajočih vladajočih in sovladajočih jelk (*Abies alba* Mill.) v Dinarskem fitogeografskem območju. Disertacija, Univerza v Ljubljani Biotehniška fakulteta, str. 165.
- Levanič, T., 2007. Osnove dendrokronologije. Interna skripta, Univerza v Ljubljani Biotehniška fakulteta, str. 80.
- Levanič, T., Čater, M., McDowell, N.G., 2011: Associations between growth, wood anatomy, carbon isotope discrimination and mortality in a *Quercus robur* forest. *Tree physiology*, 31(3):298–308.
- Lévy, G., Bréchet, C., Becker, M., 1996: Element analysis of tree rings in pedunculate oak heartwood: an indicator of historical trends in the soil chemistry, related to atmospheric deposition. *Annals of Forest Science*, 53:685–696.
- Leyer, I., 2005: Predicting plant species' responses to river regulation: the role of water level fluctuations. *Journal of Applied Ecology*, 42(2):239–250.
- Linares, J.C., Camarero, J.J., Carreira, J.A., 2010: Competition modulates the adaptation capacity of forests to climatic stress: insights from recent growth decline and death in relict stands of the Mediterranean fir *Abies pinsapo*. *Journal of Ecology*, 98(3):592–603.
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbat, A., Garcia-Gonzalo, J., Seidl, R., Delzon, S., Corona, P., Kolström, M., Lexer, M.J., Marchetti, M., 2010: Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 259(4):698–709.
- Logan, J.A., Régnière, J., Powell, J.A., 2003: Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(3):130–137.
- Lorimer, C.G., Dahir, S.E., Nordheim, E. V., 2001: Tree mortality rates and longevity in mature and old-growth hemlock-hardwood forests. *Journal of Ecology*, 89:960–971.
- Lu, J., Sun, G., McNulty, S.G., Amatya, D.M., 2005: A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 41(3):621–633.
- Lukić, N., Pranić, A., Kružić, T., Babić, S., 1996. Dendrokronološka istraživanja u šumama pokupskog bazena. *Radovi Šumarskog Instituta*, 31(1-2):125–130.
- Lütkepohl, H., 2005: New introduction to multiple time series analysis. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, str. 764.
- Maguire, D.A., Kanaskie, A., 2002: The ratio of live crown length to sapwood area as a measure of crown sparseness. *Forest Science*, 48(1):93–100.
- Mahr, K., 1926: Sušenje hrastovih šuma na državnom dobru Belje. *Šumarski list*, 50(3):188–191.
- Maindonald, J.H., 2008: Using R for data analysis and graphics - Introduction, code and commentary. Centre for mathematics and its applications, Australian National University, Canberra, str. 96.
- Mäkinen, H., Vanninen, P., 1999: Effect of sample selection on the environmental signal derived from tree-ring series. *Forest Ecology and Management*, 113(1):83–89.
- Manion, P.D., 2003: Evolution of concepts in forest pathology. *Phytopathology*, 93:1052–1055.
- Manion, P.D., 1991. Tree disease concepts. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, str. 402.
- Manion, P.D., Lachance, D., 1992: Forest decline concepts: An overview. U: P. D. Manion i D. Lachance, (ur.), *Forest decline concepts*. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, 181–190.

- Manojlović, M., Marković, L., 1930: Sušenje naših hrastika i nova naša šumarska politika. *Šumarski list*, 54(3):125–133.
- Manojlović, P., 1926: Sadanje stanje hrastovih šuma u Slavoniji. U: A. Ugrenović, (ur.), *Pola stoljeća šumarstva 1876-1926*. Zagreb, 372–385.
- Marković, L., Manojlović, M., 1933: Stanje oglednih polja 1929 godine - Prilog šumarsko-naučnom istraživanju u slavonskim hrasticima u vezi sa sušenjem. Beograd, str. 98.
- Marković, L., Manojlović, M., 1929: Sušenje hrasta lužnjaka u šumama Hrvatske i Slavonije. Beograd, str. 96.
- Marshall, J.D., Waring, R.H., 1986: Comparison of methods of estimating leaf-area index in old-growth Douglas-fir. *Ecology*, 67(4):975–979.
- Martín-Benito, D., Kint, V., del Río, M., Muys, B., Cañellas, I., 2011: Growth responses of West-Mediterranean *Pinus nigra* to climate change are modulated by competition and productivity: Past trends and future perspectives. *Forest Ecology and Management*, 262(6):1030–1040.
- Martinović, J., 2003: Gospodarenje šumskim tlima u Hrvatskoj. Šumarski institut, Jastrebarsko, str. 525.
- Matić, S., 2009: Gospodarenje šumama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima. U: S. Matić i I. Anić, (ur.), *Zbornik radova sa znanstvenog skupa Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima*, HAZU, Zagreb, 1–22.
- Matić, S., Prpić, B., Rauš, Đ., Vranković, A., 1979: Rezervati šumske vegetacije Prašnik i Muški bunar. Šumsko gospodarstvo “Josip Kozarac”, Nova Gradiška, str. 131.
- Matić, S., 1989: Uzgojne mjere u sastojinama narušenim sušenjem hrasta lužnjaka. *Glasnik za šumske pokuse*, 25:67–77.
- Matić, S., Oršanić, M., Anić, I., 1998: Utjecaj klimatskih promjena na strukturu i razvoj šumskih ekosustava. U: M. Macelj, (ur.), *Zbornik radova znanstvenog skupa s međunarodnim sudjelovanjem: Prilagodba poljoprivrede i šumarstva klimi i njenim promjenama*. HAZU, Zagreb, 239–250.
- Mayer, B., 1996a: Hidrološka problematika osobito s gledišta površinskog dijela krovine. U: D. Klepac, (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i “Hrvatske šume” d.o.o. Zagreb, Vinkovci-Zagreb, 55–70.
- Mayer, B., 1996b: Hidropedološki odnosi na području nizinskih šuma Pokupskog bazena. *Radovi Šumarskog Instituta*, 31(1-2):37–90.
- Mayer, B., 1996c: Kroz “Reagiranj” do bolje suradnje vodoprivrede i šumarstva. *Šumarski list*, CXX(7-8):349–354.
- Mayer, B., Jalušić, B., 1992: Freatofilne šumske vrste ugrožene padom razine podzemne vode u okolini hidroelektrane “Varaždin.” *Radovi Šumarskog Instituta*, 27(1):43–53.
- McDowell, N.G., Ryan, M.G., Zeppel, M.J.B., Tissue, D.T., 2013: Improving our knowledge of drought-induced forest mortality through experiments, observations, and modeling. *New Phytologist*, 200:289–293.
- McDowell, N.G., 2011: Mechanisms linking drought, hydraulics, carbon metabolism, and vegetation mortality. *Plant physiology*, 155(3):1051–1059.
- McDowell, N.G., Pockman, W.T., Allen, C.D., Breshears, D.D., Cobb, N., Kolb, T., Plaut, J., Sperry, J., West, A., Williams, D.G., Yepez, E.A., 2008: Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought? *The New phytologist*, 178(4):719–39.
- McDowell, N.G., Beerling, D.J., Breshears, D.D., Fisher, R.A., Raffa, K.F., Stitt, M., 2011: The interdependence of mechanisms underlying climate-driven vegetation mortality. *Trends in ecology & evolution*, 26(10):523–532.
- Meadows, J.S., Hodges, J.D., 2002: Sapwood area as an estimator of leaf area and foliar weight in cherrybark oak and green ash. *Forest Science*, 48(1):69–76.
- Medvedović, J., 2003: Snimanje fenoloških i klimatskih podataka u Spačvi. U: D. Klepac i K. Čorkalo-Jemrić, (ur.), *Retrospektiva i perspektiva gospodarenja šumama hrasta lužnjaka u Hrvatskoj*, HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i “Hrvatske šume” d.o.o. Zagreb- Vinkovci, 245–258.
- Meštrić, B., 2008: Digitalizacija Šumarskog lista. *Šumarski list*, CXXXII(11-12):551–554.
- Meštrić, B., 2005: Šumarski list - bibliografska baza podataka i njena prezentacija. *Šumarski list*, CXXIX(5-6):279–286.
- Mikloš, I., 1989: Da li šume “umiru”? *Šumarski list*, CXIII(6-8):345–362.
- Mitchell, T.D., Carter, T.R., Jones, P.D., Hulme, M., New, M., 2004: A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre for Climate Change Research, Norwich, str. 29.
- Mitchell, T.D., Jones, P.D., 2005: An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*, 25(6):693–712.
- Mohler, C.L., Marks, P.L., Sprugel, D.G., 1978: Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. *Journal of Ecology*, 66:599–614.
- van der Molen, M.K., Dolman, A.J., Ciais, P., Eglin, T., Gobron, N., Law, B.E., Meir, P., Peters, W., Phillips, O.L., Reichstein, M., 2011: Drought and ecosystem carbon cycling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(7):765–773.
- Monserud, R.A., 1986: Time-series analyses of tree-ring chronologies. *Forest Science*, 32(2):349–372.
- Monserud, R.A., Sterba, H., 1999: Modeling individual tree mortality for Austrian forest species. *Forest Ecology and Management*, 113:109–123.
- Móricz, N., 2010: Water balance study of a groundwater-dependent oak forest. *Acta Silvatica i Lignaria Hungarica*, 6:49–66.
- Moss, M.E., Tasker, G.D., 1991: An intercomparison of hydrological network-design technologies. *Hydrological Sciences*, 36(3):209–221.
- Mueller-Dombois, D., 1992: A natural dieback theory, cohort senescence as an alternative to the decline disease theory. U: P. D. Manion i D. Lachance, (ur.), *Forest decline concepts*, APS Press, St. Paul, Minnesota, 26–37.
- Mustać, I., Petošić, D., Gjetvaj, G., Filipović, V., 2011: Groundwater dynamics in drained soils of the Biđ-field district. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 76(1):41–47.
- Mustać, I., Petošić, D., Tomić, F., Dolanjski, D., Stričević, I., 2007: Surface and ground water regime in Biđ-field soils. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72(1):59–67.
- Myneni, R.B., Keeling, C.D., Tucker, C.J., Asrar, G., Nemani, R.R., 1997: Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 386:698–702.
- Nabuurs, G.-J., Pussinen, A.R.I., Karjalainen, T., Erhard, M., 2002: Stemwood volume increment changes in European forests due to climate change: A simulation study with the EFISCEN model. *Global Change Biology*, 8:304–316.
- Naidoo, R., Lechowicz, M.J., 2001: Effects of gypsy moth on radial growth of deciduous trees. *Forest Science*, 47(3):338–348.

- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970: River flow forecasting through conceptual models: 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10:282–290.
- Naumburg, E., Mata-Gonzalez, R., Hunter, R.G., McLendon, T., Martin, D.W., 2005. Phreatophytic vegetation and groundwater fluctuations: a review of current research and application of ecosystem response modeling with an emphasis on great basin vegetation. *Environmental management*, 35(6):726–40.
- Nemeš, T., Bašić-Palković, P., Licht, R., Posarić, D., 2009: Štete u Spačvanskom bazenu nastale olujnim nevremenom u 2008. godini. *Glasilo biljne zaštite*, 9(1/2-dodatak):27.
- Nemeš, T., Bašić-Palković, P., Dekanić, S., Licht, R., Dubravac, T., 2010: Winds of Change – Management of even-aged pedunculate oak forests in increasingly windier climate. U: L. Rakonjac, (ur.), *International scientific conference Forest Ecosystems and Climate Changes - Book of Abstracts*. Institute of Forestry, Belgrade, 9–10.
- Nenadić, Đ., 1931: Istraživanje prirasta hrasta lužnjaka u šumi Žutici. *Glasnik za šumske pokuse*, 3:1–27.
- Nenadić, Đ., 1940: O posljedicama sušenja hrastovih šuma Gradiške imovne općine. *Glasnik za šumske pokuse*, 7(1):1–29.
- Neuwirth, B., Schweingruber, F., Winiger, M., 2007: Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971. *Dendrochronologia*, 24(2-3):79–89.
- Nichols, J.O., 1968: Oak mortality in Pennsylvania: a ten-year study. *Journal of Forestry*, 66(9):681–694.
- Novotny, V., Krejčí, V., Benko, M., Dubravac, T., 1994. Utjecaj horizontalne projekcije širine krošnja hrasta lužnjaka na debljinski prirast. *Radovi Šumarskog Instituta*, 29(1):137–150.
- Oršanić, M., Matić, S., Anić, I., 1996: O izboru vrsta drveća za obnovu sastojina hrasta lužnjaka zahvaćenih sušenjem. U: S. Sever, (ur.), *Skrb za hrvatske šume 1846. do 1996. godine - Knjiga 2*, Šumarski fakultet Zagreb i Šumarski institut Jastrebarsko, Zagreb, 127–133.
- Orwig, D.A., Abrams, M.D., 1997: Variation in radial growth response to drought among species, site, and canopy strata. *Trees*, 11:474–484.
- Pallardy, S., 2008: Physiology of woody plants. Third edit., Elsevier, Amsterdam, str. 454.
- Parmesan, C., Yohe, G., 2003: A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918):37–42.
- Pedersen, B.S., 1998: Modeling tree mortality in response to short- and long-term environmental stresses. *Ecological Modelling*, 105:347–351.
- Pederson, N., Tackett, K., McEwan, R.W., Clark, S., Cooper, A., Brosi, G., Eaton, R., Stockwell, R.D., 2012: Long-term drought sensitivity of trees in second-growth forests in a humid region. *Canadian Journal of Forest Research*, 42(10):1837–1850.
- Perez-Valdivia, C., Sauchyn, D., 2011: Tree-ring reconstruction of groundwater levels in Alberta, Canada: Long term hydroclimatic variability. *Dendrochronologia*, 29(1):41–47.
- Pernar, R., Seletković, A., Ančić, M., 2007: Utvrđivanje oštećenosti šuma Spačvanskog bazena primjenom infracrvenih kolornih aerosnimaka. *Šumarski list*, CXXXI(7-8):315–331.
- Phillips, N.G., Ryan, M.G., Bond, B.J., McDowell, N.G., Hinckley, T.M., Cermák, J., 2003: Reliance on stored water increases with tree size in three species in the Pacific Northwest. *Tree physiology*, 23(4):237–45.
- Pilaš, I., 2006: Odnos morfoloških svojstava tla i vode u tlu u nizinskim šumama središnje Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 243.
- Pilaš, I., Lukić, N., Vrbek, B., Dubravac, T., Roth, V., 2007: The effect of groundwater decrease on short and long term variations of radial growth and dieback of mature pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stand. *Ekologija (Bratislava)*, 26(2):122–131.
- Pilaš, I., Potočić, N., 2004: Odnos unutarsezonskih varijacija prirasta debela, električnog otpora kambijalne zone i podzemne vode u sastojini hrasta lužnjaka (*Q. robur* L.). *Šumarski list*, CXXVIII(5-6):255–267.
- Ponti, F., Minotta, G., Cantoni, L., Bagnaresi, U., 2004: Fine root dynamics of pedunculate oak and narrow-leaved ash in a mixed-hardwood plantation in clay soils. *Plant and Soil*, 259(1/2):39–49.
- Poršinsky, T., 2005: Djelotvornost i ekološka pogodnost forvardera Timberjack 1710 pri izvoženju oblovine iz nizinskih šuma Hrvatske. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, str. 170.
- Poršinsky, T., Ožura, M., 2006: Oštećivanje dubelih stabala pri izvoženju drva forvarderom. *Nova mehanizacija šumarstva*, 27:41–49.
- Posarić, D., 2008: Obnova spačvanskih šuma hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) oplodnim sječama - mogućnosti poboljšanja postojećeg načina rada. *Šumarski list*, CXXXII(1-2):53–63.
- Powers, M.D., Palik, B.J., Bradford, J.B., Fraver, S., Webster, C.R., 2010: Thinning method and intensity influence long-term mortality trends in a red pine forest. *Forest Ecology and Management*, 260(7):1138–1148.
- Pranjić, A., Lukić, N., 1997: Izmera šuma. Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, str. 405.
- Pranjić, A., Lukić, N., 1989: Prirast stabala hrasta lužnjaka kao indikator stanišnih promjena. *Glasnik za šumske pokuse*, 25:79–92.
- Pretzsch, H., 2002: A unified law of spatial allometry for woody and herbaceous plants. *Plant Biology*, 4(2):159–166.
- Pretzsch, H., 2009: Forest dynamics, growth and yield. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, str. 664.
- Pretzsch, H., 2006: Species-specific allometric scaling under self-thinning: evidence from long-term plots in forest stands. *Oecologia*, 146(4):572–83.
- Pretzsch, H., Mette, T., 2008: Linking stand-level self-thinning allometry to the tree-level leaf biomass allometry. *Trees*, 22:611–622.
- Prpić, B., 2005: Antropogeni utjecaj na vodne prilike riječne nizine i odraz promjena na poplavne šume. U: J. Vukelić, (ur.), *Poplavne šume u Hrvatskoj*, Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 177–190.
- Prpić, B., 1987: Ekološka i šumsko-uzgojna problematika šuma hrasta lužnjaka u Jugoslaviji. *Šumarski list*, CXI(1-2):41–52.
- Prpić, B., 2003: Hidrološki sustav Spačve u odnosu na uspijevanje hrasta lužnjaka. U: D. Klepac i K. Čorkalo-Jemrić, (ur.), *Retrospektiva i perspektiva gospodarenja šumama hrasta lužnjaka u Hrvatskoj*. HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci, Zagreb-Vinkovci, 109–126.
- Prpić, B., 1989a: Međunarodni simpozij o propadanju šuma. *Šumarski list*, CXIII(6-8):233–234.
- Prpić, B., 1999: Mogući utjecaj višenamjenskog kanala Dunav-Sava na šumske ekosustave. *Hrvatske šume*, 3(25):28–30.
- Prpić, B., 1992: Odabiranje oštećenih stabala za sječu i obnova sastojina opustošenih propadanjem. *Šumarski list*, CXVI(11-12):515–522.
- Prpić, B., 1996: Propadanje šuma hrasta lužnjaka. U: D. Klepac, (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. HAZU - Centar za znanstveni rad Vinkovci i "Hrvatske šume" d.o.o., Vinkovci-Zagreb, 273–298.
- Prpić, B., 1985: Studija utjecaja vodne stepenice Đurđevac na šumu Repaš. *Šumarski list*, CIX(11-12):541–551.

- Prpić, B., 1989b: Sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj u svjetlu ekološke konstitucije vrste. *Glasnik za šumske pokuse*, 25:1–24.
- Prpić, B., Vranković, A., Rauš, Đ., Matić, S., Pranjić, A., Meštrović, Š., 1994: Utjecaj ekoloških i gospodarskih činilaca na sušenje hrasta lužnjaka u gospodarskoj jedinici Kalje šumskog gospodarstva Sisak. *Glasnik za šumske pokuse*, 30:361–419.
- Prpić, B., 2001: Utjecaj vodotehničkih zahvata na stabilnost sastojina hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj u primjeru HE Novo Virje. *Šumarski list*, CXXV(7-8):379–390.
- Prpić, B., Anić, I., 2000: The role of climate and hydraulic operations in the stability of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in Croatia. *Glasnik za šumske pokuse*, 37:229–239.
- Prpić, B., Rauš, Đ., Matić, S., 1977: Posljedice narušavanja ekološke ravnoteže nizinskih šumskih ekosistema hidromelioracijskim zahvatima u površini buduće retencije Kupčina. *Šumarski list*, 101(5-7):312–318.
- Prpić, B., Seletković, Z., Tikvić, I., 1997: O utjecaju kanala Dunav-Sava na šumske ekosustave. *Šumarski list*, CXXI(11-12):579–592.
- Prpić, B., Seletković, Z., Žnidarić, G., 1994: Ekološki i biološki uzroci propadanja stabala hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u nizinskoj šumi "Turopoljski lug." *Glasnik za šumske pokuse*, 30:193–222.
- Rauš, Đ., 1972: Karta šumskih zajednica Spačvanskog bazena i okolice Vinkovaca. Grafički zavod Hrvatske, Zagreb.
- Rauš, Đ., 1982: Rezultati petnaestogodišnjih (1966.-1980.) istraživanja i kartiranja slavonskih i baranjskih šuma. *Šumarski list*, CVI(4-5):93–105.
- Rauš, Đ., 1990: Sukcesija šumske vegetacije u bazenu Spačva u razdoblju 1970-1989. god. *Šumarski list*, CXIV(9-10):341–356.
- Rauš, Đ., 1996: Šumske zajednice i sinekološki uvjeti hrasta lužnjaka. U: D. Klepac, (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*, HAZU Centar za znanstveni rad Vinkovci i "Hrvatske šume" d.o.o. Zagreb, Vinkovci-Zagreb, 27–54.
- Rauš, Đ., 1975: Vegetacijski i sinekološki odnosi šuma u bazenu Spačva. *Glasnik za šumske pokuse*, 18:225–346.
- Redfern, D.B., Boswell, R.C., 2004: Assessment of crown condition in forest trees: comparison of methods, sources of variation and observer bias. *Forest Ecology and Management* 188:149–60.
- Reineke, L.H., 1933: Perfecting a stand-density index for even-aged forests. *Journal of Agricultural Research*, 46(7):627–638.
- Rewald, B., 2008: Impact of climate change-induced drought on tree root hydraulic properties and competition belowground. Disertacija, Georg-August-Universität, Göttingen, str. 172.
- Reynolds, J.H., Ford, E.D., 2005: Improving competition representation in theoretical models of self-thinning: a critical review. *Journal of Ecology*, 93(2):362–372.
- Rodhe, H., Charlson, R., Crawford, E., 1997: Svante Arrhenius and the greenhouse effect. *Ambio*, 26(1):2–5.
- Roth, V., Dekanić, S., Dubravac, T., 2011: Utjecaj krupnoće žira na morfološki razvoj jednogodišnjih sadnica hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u uvjetima različite dostupnosti svjetla. *Šumarski list*, CXXXV(Posebni broj 13):159–168.
- Rozas, V., 2001: Detecting the impact of climate and disturbances on tree-rings of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in a lowland forest in Cantabria, Northern Spain. *Annals of Forest Science*, 58(3):237–251.
- Sabin, T.E., Stafford, S.G., 1990: Assessing the need for transformation of response variables. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Special Publication 20, str. 31.
- Sala, A., Woodruff, D.R., Meinzer, F.C., 2012: Carbon dynamics in trees: feast or famine? *Tree physiology*, 32(6):764–75.
- Scharnweber, T., Manthey, M., Criegee, C., Bauwe, A., Schröder, C., Wilmking, M., 2011: Drought matters – Declining precipitation influences growth of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in north-eastern Germany. *Forest Ecology and Management*, 262(6):947–961.
- Schelhaas, M.-J., Nabuurs, G.-J., Schuck, A., 2003: Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9:1620–1633.
- Schneider-Jacoby, M., 2002: Utopijski plan koji guta sredstva i krajobraz u Hrvatskoj. *Šumarski list*, CXXVI(1-2):29–34.
- Schweingruber, F.H., Wirth, C., 2009: Old trees and the meaning of "old." U: C. Wirth, G. Gleixner, i M. Ieimann, (ur.), *Old-Growth Forests: Function, Fate and Value*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 35–114.
- Scott, J.M., Mathiasen, R.L., 2012: Assessing growth and mortality of bristlecone pine infected by dwarf mistletoe using dendrochronology. *Forest Science*, 58(4):366–376.
- Seidl, R., Rammer, W., Bellos, P., Hochbichler, E., Lexer, M.J., 2010: Testing generalized allometries in allocation modeling within an individual-based simulation framework. *Trees*, 24:139–150.
- Seidl, R., Schelhaas, M.-J., Lexer, M.J., 2011: Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology*, 17(9):2842–2852.
- Seletković, Z., 1996: Klima lužnjakovih šuma. U: D. Klepac, (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*. HAZU - Centar za znanstveni rad Vinkovci i "Hrvatske šume" d.o.o., Vinkovci-Zagreb, 71–82.
- Seletković, Z., Tikvić, I., 2005: Klimatske prilike. U: J. Vukelić, (ur.), *Poplavne šume u Hrvatskoj*. Akademija šumarskih znanosti, Zagreb, 455.
- Shalamu, A., 2009: Monthly and seasonal streamflow forecasting in the Rio Grande Basin. Disertacija, New Mexico State University, str. 289.
- Sheather, S.J., 2009: A modern approach to regression with R. Springer Science+Business Media, LLC, New York, str. 392.
- Shifley, S.R., Fan, Z., Kabrick, J.M., Jensen, R.G., 2006: Oak mortality risk factors and mortality estimation. *Forest Ecology and Management*, 229:16–26.
- Shortle, W.C., Smith, K.T., Minocha, R., Minocha, S., Wargo, P.M., Vogt, K.A., 2000: Tree health and physiology in a changing environment. U: R. A. Mickler, R. A. Birdsey, i J. Hom, (ur.), *Responses of Northern U.S. Forests to Environmental Change*. Springer-Verlag, 229–274.
- Sickert, A., 2007: Forestry management systems applied to Leipzig's floodplain forests. U: P. Hobza, (ur.), *Forest management systems and regeneration of floodplain forest sites*. Brno, 61–72.
- Skelly, J.M., 1992: A closer look at forest decline: A need for more accurate diagnostics. U: P. D. Manion i D. Lachance, (ur.), *Forest decline concepts*. APS Press, St. Paul, Minnesota, 85–107.
- Smith, R.L., 2008: Appendix A: Statistical trend analysis. U: T. R. Karl i G. A. Meehl, (ur.), *Weather and climate extremes in a changing climate*. US Climate Change Science Program, 127–132.
- Sohar, K., Vitas, A., Läänelaid, A., 2011: Sapwood estimates of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in eastern Baltic. *Dendrochronologia*, 30(1):49–56.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J., 1995: *Biometry*, W. H. Freeman and Company, New York, str. 887.

- Solomon, S., Plattner, G.-K., Knutti, R., Friedlingstein, P., 2009: Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(6):1704–1709.
- Sonesson, K., Drobyshev, I., 2010: Recent advances on oak decline in southern Sweden. *Ecological Bulletins*, 53:197–207.
- Sophocleous, M., 2002: Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10(1):52–67.
- Spaić, I., 1970: Neki od glavnih problema zaštite šuma u Slavoniji s osobitim obzirom na značaj entomofaune. U: V. Radauš, (ur.), *Zbornik radova prvog znanstvenog sabora Slavonije i Baranje*. Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti, Osijek, 351–362.
- Spaić, I., 1974: O sušenju hrastika. *Šumarski list*, 98(7-9):273–284.
- Spiecker, H., 1991: Controlling the diameter growth and the natural pruning of Sessile and Pedunculate oaks. Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart, str. 135.
- Steinemann, A., Hayes, M.J., Cavalcanti, L., 2005: Drought indicators and triggers. U: D. A. Wilhite, (ur.), *Drought and Water Crises: Science, Technology and Management Issues*, Taylor i Francis Group, Boca Raton, USA, 71–92.
- Suarez, M.L., Ghermandi, L., Kitzberger, T., 2004: Factors predisposing episodic drought-induced tree mortality in *Nothofagus* - site, climatic sensitivity and growth trends. *Journal of Ecology*, 92(6):954–966.
- Škorić, A., 1977: Tipovi naših tala. Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, str. 129.
- Škvorc, Ž., Cestarić, D., Franjić, J., Krstonošić, D., Sever, K., Guzmic, M., 2009: Dinamika šumske vegetacije Spačvanskog bazena u posljednjih četrdeset godina. U: S. Matić i I. Anić, (ur.), *Zbornik radova sa znanstvenog skupa Šume hrasta lužnjaka u promijenjenim stanišnim i gospodarskim uvjetima*, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zagreb, 75–101.
- Špiranec, M., 1975: Prirasno-prihodne tablice za hrastove, bukvu, obični grab i pitomi kesten. *Radovi Šumarskog Instituta*, 25:1–103.
- Tatarinov, F., Urban, J., Čermák, J., 2008: Application of “clump technique” for root system studies of *Quercus robur* and *Fraxinus excelsior*. *Forest Ecology and Management*, 255:495–505.
- Teator, P., 2011: R Cookbook. O'Reilly Media, Sebastopol, USA, str. 413.
- Temmesgen, H., Mitchell, S.J., 2005: An individual-tree mortality model for complex stands of Southeastern British Columbia. *Western Journal of Applied Forestry*, 20(2):101–109.
- Thomas, F.M., 2008: Recent advances in cause-effect research on oak decline in Europe. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 3:1–12.
- Thomas, F.M., Blank, R., Hartmann, G., 2002: Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology*, 32:277–307.
- Thomas, H., 2012: Senescence, ageing and death of the whole plant. *New Phytologist*, 197(3):696–711.
- Thornthwaite, C.W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1):55–94.
- Tikvić, I., Zečić, Ž., Ugarković, D., Posarić, D., 2009: Oštećenost stabala i kakvoća drvnih sortimenata hrasta lužnjaka na spačvanskom području. *Šumarski list*, CXXXIII(5-6):237–248.
- Tikvić, I., Zečić, Ž., Seletković, Z., Ugarković, D., Posarić, D., 2006: Struktura i iskorištenje drvnog obujma oštećenih i propalih stabala hrasta lužnjaka na primjeru Spačve. *Radovi Šumarskog Instituta*, 41(1-2):51–56.
- Timbal, J., Aussenac, G., 1996: An overview of ecology and silviculture of indigenous oaks in France. *Annales des Sciences Forestières*, 53(2-3):649–661.
- Tomiczek, C., 1993: Oak decline in Austria and Europe. *Journal Of Arboriculture*, 19(2):71–73.
- Tyree, M.T., Cochard, H., 1996: Summer and winter embolism in oak: impact on water relations. *Annals of Forest Science*, 53:173–180.
- Vajda, Z., 1968: Naučno istraživačke studije o sušenju hrastika. *Šumarski list*, 92(3-4):122–142.
- Vajda, Z., 1948a: Koji su uzroci sušenju hrastovih posavskih i donjo-podravskih šuma? *Šumarski list*, 72(4):105–113.
- Vajda, Z., 1948b: Utjecaj klimatskih kolebanja na sušenje hrastovih posavskih i donjopodravskih nizinskih šuma. Institut za šumarska istraživanja Ministarstva šumarstva N. R. Hrvatske, Zagreb, str. 154.
- Vanclay, J.K., 1994. Modelling Forest Growth and Yield Applications to Mixed Tropical Forests. CAB International, Wallingford, U.K., str. 329.
- Vanclay, J.K., Sands, P.J., 2009: Calibrating the self-thinning frontier. *Forest Ecology and Management*, 259:81–85.
- Vergni, L., Todisco, F., 2011: Spatio-temporal variability of precipitation, temperature and agricultural drought indices in Central Italy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3):301–313.
- Vrbek, B., Pilaš, I., Dubravac, T., Novotny, V., Dekanić, S., 2008: Effect of deposition substances on the quality of throughfall and soil solution of pedunculate oak and common hornbeam forest. *Periodicum Biologorum*, 110(3):269–275.
- Vukelić, J., Mikac, S., Baričević, D., Bakšić, D., Rosavec, R., 2008: Šumska staništa i šumske zajednice u Hrvatskoj: Nacionalna ekološka mreža. Državni zavod za zaštitu prirode, Zagreb, str. 263.
- Vukelić, J., 1992: Šumska vegetacija poplavnog područja i kontaktnih zona gornje Rajne u Njemačkoj i problematika njene zaštite. *Šumarski list*, CXVI(1-2):27–40.
- Vukelić, J., Rauš, Đ., 1998: Šumarska fitocenologija i šumske zajednice u Hrvatskoj. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 310.
- Vuletić, D., 2001: Utjecaj mehaničkog ozljeđivanja stabala na kakvoću sortimenata hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). *Radovi Šumarskog Instituta*, 36(1):15–32.
- Wargo, P.M., 1996: Consequences of environmental stress on oak: predisposition to pathogens. *Annals of Forest Research*, 53:359–368.
- Waring, R.H., 1987: Characteristics of trees predisposed to die. *BioScience*, 37(8):569–574.
- Waring, R.H., 1983: Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area. U: A. MacFadyen i E. D. Ford, (ur.), *Advances in Ecological research - Volume 13*, Academic Press Inc., London, 327–354.
- Waring, R.H., 1980: Stem growth per unit of leaf area: A measure of tree vigor. *Forest Science*, 26(1):112–117.
- Waring, R.H., 2004: Tree physiology: Stress. U: J. Burley, J. Evans, i J. Youngquist, (ur.), *Encyclopedia of Forest Sciences*. Elsevier Science Ltd., London, 1628–1632.
- Waring, R.H., Newman, K., Bell, J., 1981: Efficiency of tree crowns and stemwood production at different canopy leaf densities. *Forestry*, 54(2):129–137.
- Waring, R.H., Schroeder, P.E., Oren, R., 1982: Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area. *Canadian Journal of Forest Research*, 12:556–560.
- Weller, D.E., 1987: A reevaluation of the -3/2 power rule of plant self-thinning. *Ecological Monographs*, 57(1):23–43.

- Wickham, J.D., Wade, T.G., Riitters, K.H., 2012: Comparison of cropland and forest surface temperatures across the conterminous United States. *Agricultural and Forest Meteorology*, (166-167):137–143.
- Wolf, A., Möller, P.F., Bradshaw, R.H.W., Bigler, J., 2004: Storm damage and long-term mortality in a semi-natural, temperate deciduous forest. *Forest Ecology and Management*, 188(1-3):197–210.
- Wullschlegel, S.D., Meinzer, F.C., Vertessy, R.A., 1998: A review of whole-plant water use studies in trees. *Tree Physiology*, 18:499–512.
- Yang, Y., Titus, S.J., 2002: Maximum size–density relationship for constraining individual tree mortality functions. *Forest Ecology and Management*, 168(1-3):259–273.
- Yoda, K.T., Kira, T., Ogawa, H., Hozumi, K., 1963: Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. *J Inst Polytech Osaka Univ D*, 14:107–129.
- Yoder, B.J., Ryan, M.G., Waring, R.H., Schoettle, A.W., Kaufmann, M.R., 1994: Evidence of reduced photosynthetic rates in old trees. *Forest Science*, 40(3):513–527.
- Zang, C., 2011: Package "bootRes". CRAN Repository, str. 13.
- Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., 2000: Changes in components of the water balance in the Croatian lowlands. *Theoretical and Applied Climatology*, 65:111–117.
- Zarnoch, S.J., Bechtold, W.A., Stolte, K.W., 2004: Using crown condition variables as indicators of forest health. *Canadian Journal of Forest Research*, 34:1057–1070.
- Zeide, B., 1987: Analysis of the 3/2 Power Law of Self-Thinning. *Forest Science*, 33:517–537.
- Zeileis, A., Leisch, F., Hansen, B., Hornik, K., Kleiber, C., 2012: Package "strucchange". CRAN Repository, str. 61.
- Zeileis, A., Kleiber, C., Krämer, W., Hornik, K., 2003: Testing and dating of structural changes in practice. *Computational Statistics & Data Analysis*, 44:109–123.
- Zhang, L., Bi, H., Gove, J.H., Heath, L.S., 2005: A comparison of alternative methods for estimating the self-thinning boundary line. *Canadian Journal of Forest Research*, 35:1507–1514.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Elphick, C.S., 2010: A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution*, 1:3–14.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Smith, G.M., 2007: Analysing ecological data. Springer Verlag, New York, str. 672.
-
- Babić, Ž., I. Čakarun, B. Sokač, V. Mraz (1978): O geologiji kvartarnih naslaga porječja Drave. *Geol. vjesnik*, 30/1:43-61, Zagreb.
- Binkley, D., & R. F. Fisher, (2013): Ecology and management of forest soils. Wiley-Blackwell, 347 p.
- Bouyoucos, G. J. (1921): A new classification of the soil moisture. *Soil Sci.*, 11: 33-47.
- Bowen, H. J. M. (1979): Environmental Chemistry of the elements. Academic Press, London.
- Bognar, A. (1978): Les i lesu slični sedimenti Hrvatske. *Geografski glasnik* 40: 21-39, Zagreb.
- Bogunović, M. (1976): Semiglejna tla Slavonije. Poljoprivredni fakultet, Zagreb.
- Breemen, N. (1988): Visser, P.A.B. (eds) Biogeochemistry of an oak-woodland ecosystem in the Netherlands affected by acid atmospheric deposition. Pudoc Wageningen the Netherlands.
- Briggs, L. J. (1897): The mechanics of soil moisture. U.S. Dep. Agr., Div. of Soils, Bul. 10. 24 pp.
- Brevik, E. C., (2012): Soils and Climate Change: Gas Fluxes and Soil Processes. *Soil Sci Soc Am J* 53(4). doi: 10.2136/sh12-04-0012
- Churkina, G. & S. W. Running, (1998): Contrasting climatic controls on the estimated productivity of global terrestrial biomes. *Ecosystems*, 1:206-215.
- Dekanić, I. (1975): Utjecaj visine i oscilacije nivoa podzemnih voda na sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) Šum. list 7-10: 119-127, Zagreb.
- Ferry, B., T. Eglin, A. Bispo, É. Dambrine & C. Chenu, (2014): Soil organic matter of forests and climate and atmosphere changes. *Rev. For. Fr.* LXVI:33-43.
- Gračan, J., B. Vrbek, I. Pilaš (1999): Monitoring podzemnih voda u šumama hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. III. Delavnica Javne gozdarske službe z međunarodno udeležbo Raziskave nižinskih hrastov gozdov, Zbornik posvetovanja str.85, Murska Sobota, 12.-13. Oktober, Slovenija.
- Hatfield, J.L. (2011): Soil management for increasing water use efficiency in fieldcrops under changing climates. In: Hatfield, J. L.&T.J. Sauer (Eds.): Soil management: Building a stable base for agriculture. SSSA, Madison, WI. p.161–173.
- Janeković, Gj. (1971): Pedologic characteristics of Slavonija and Baranja. Zbornik radova prvog znanstvenog sabora Slavonije i Baranje, JAZU-Osijek 1970.
- Janeković, Gj., Z. Racz (1967): Pseudoglej. Treći kongres JDPZ, Zadar.
- Janeković, Gj., Pichler-Sajer, A. 1976: Soil survey of the Đakovo area. "Zbornik Đakovštine", knj. 1, JAZU, Centar za znanstveni rad, Vinkovci, posebna izdanja, knj. II, Zagreb.
- Komlenović, N., B. Mayer, P. Rastovski (1991): Unos teških metala onečišćenim poplavnim vodama u tla nizinskih šuma istočne Slavonije. Šum. list 11-12: 131-149, Zagreb.
- Kovačević, P. (1967): Teksturna građa soluma i matičnog supstrata kao morfogeneretički kriterij istraživanja semiterestričkih tala doline Save. Treći Kongres JDPZ, Zadar. 279-285
- Malez, M., A. Takšić (1977): Geološki prikaz Slavonije i Baranje. Tla Slavonije i Baranje. Projektni savjet Pedološke karte Hrvatske, 235-256, Zagreb.
- Martinović, J. (1997): Tloznanstvo u zaštiti okoliša. Priručnik za inženjere, Zagreb.
- Mayer, B. (1994): Utjecaj dinamike vlažnosti tla, podzemne vode, oborina i defolijacije na sezonsku dinamiku radijalnog prirasta i sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Varoškom Varoškom Lugu. Rad. Šumar. inst. 1(29):83-103, Jastrebarsko.
- Mayer, B. (1992): Šumska tla Republike Hrvatske pri kraju XX stoljeća, Monografija šume u Hrvatskoj, 19-32, Šumarski fakultet, Zagreb.
- McBridge, M. B. (1994): Environmental Chemistry of Soils. Oxford University Press, Oxford.
- Miletić, P., K. Urumović, A. Capar (1971): Hidrogeologija prvog vodonosnog horizonta porječja Drave na području Hrvatske. *Geol. vjesnik*, 24: 149-154, zagreb.
- Munsell Color Company, Inc (1954): Munsell Color Charts, Baltimore, USA.
- Nejgebauer, V. (1958): Pitanje pseudogleja u Hrvatskoj. *Zemljište i biljka*, 1-3, 209-211.
- Nrigau, J. O. (1978): Biogeochemistry of Lead. Elsevier Biomedical Press, 18-88, Amsterdam.

- Ovington, I. D. (1962): Quantitative ecology and the woodland ecosystem concept *adv. Ecol. Pres.* 1, 103-192.
- Parker, F. W. (1922): The classification of soil moisture. *Soil Sci.*, 13:43-54.
- Pastor, J., W. M. POST (1988): Response of northern forest to CO₂-included climate change. *Nature* 334:55-58.
- Penka, M., M. Vyscot, E. Klimo, F. Vašíček (1985): Floodplain forest ecosystem. Prague.
- Pernar, N., Z. Seletković, D. Bakšić (2000): Pedological and microclimatic properties of some experimental plots of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) plantations in Croatia. *Glas. Šum. pokuse* 37: 251-262, Zagreb.
- Pernar, N., (2017): Tlo; nastanak, značajke, gospodarenje. Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 799 p.
- Pilaš, I., B. Vrbek (2001): Istraživanje utjecaja hidroloških promjena i hidrotehničkih zahvata na tjednu dinamiku radijalnog prirasta hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Varoškom lugu. *Znanost u potrajnom gospodarenju, znanstvena knjiga*, 388-394, Zagreb.
- Pletikapić, Ž., I. Gjetvaj, M. Jurković, H. Urbina, Lj. Hrnčić (1964): Geologija i naftoplinonosnost Dravske potoline. *Geol. vjesnik* 17: 49-78, Zagreb.
- Prpić, B. (1988): Sušenje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj u svjetlu ekološke konstitucije vrste. *Glas. šum. pokuse* 25: 1-24, Zagreb.
- Resulović, H., M. Vlahinić, Đ. Bisić-Hajro (1971): Karakteristike režima vlažnosti, vodno-mehaničkih svojstava pseudogleja u slivu rijeke Save. Savjetovanje o Posavini. 195-202, Zagreb.
- Smith, W. H. (1990): Air pollution and forest. Springer Verlag, Second edition, New York.
- Sparks, D. L. (1995): Environmental soil chemistry, Academic Press Limited, London.
- Sposito, G. (1989): The chemistry of soils. Oxford University Press, New York.
- Škorić, A., (1977): Tla Slavonije i Baranje. Monografija tla Slavonije i Baranje: 7- 58, Zagreb.
- Škorić, A., Z. Racz, M. Bogunović (1987): Pedosfera i vodni režim Posavlja. Zbornik radova, Savjetovanje rijeka Sava zaštita i korištenje voda, 69-99, Zagreb.
- Vranković, A., Bašić, F., (1989): Neki rezultati pedoloških istraživanja u poremećenim ekosistemima hrasta lužnjaka u Hrvatskoj. *Glas. šum. pokuse*, Vol. 25:25-52, Zagreb.
- Urumović, K., B. Hlevnjak, Z. Tadić, M. Petrović (1994): Zalihe podzemnih voda dravskog kvartarnog vodonosnika i mogućnost korištenja. Poljoprivreda i gospodarenje vodama, 425-433, Bizovačke toplice.
- Vrbek, B. (1992): Metoda pedoloških istraživanja u projektu ekonomsko-ekološke valencije tipova šuma (EEVTŠ). *Rad. Šumar. inst. Jastrebarsko*, 27(1):65-75, Zagreb.
- Vrbek, B., I. Pilaš (1998): The application of CROFHIS Data Base in Groundwater Data Analysis of the Pokupsko basin, north-west Croatia. Villach, 30. Septembar - 2. Oktobar, Austria. Water Related Conflicts of Interests in the Alpine Environment-Research Deficits, Demands and Solutions, International Workshop Series on Sustainable Regional Development.
- Vrbek, B. (2000): Soil characteristics in Common Oak and Common Hornbeam (*Carpino betuli-Quercetum Roboris* Ht 1938) Forests in the republic of Croatia. XXI IUFR0 World Congress, Forest and Society: The Role of Research, 7-12. August 2000. Kuala Lumpur, Poster Abstracts Vol.3., pp:437, Malaysia.
- Vrbek, B.; Pilaš, I.; Pernar, N. (2011): Observed Climate Change in Croatia and its impact on hydrology of lowlands // Forest Management and the Water Cycle / Bredemeier, Michél ; Cohen, Shabtai ; Godbold, Douglas ; Lode, Elve ; Pichler, Viliam ; Schleppi, Patrick (ur.). Heidelberg, London, New York : Springer, 2011. Str. 141-162.
- Vrbek B. (2009): Climate Change Impacts on European Forests WG 1 "Impacts" Overview of the country contributions COST ECHOES pp18-23
- Way, D. A. and Oren, R., (2010): Differential responses to changes in growth temperature between trees from different functional groups and biomes: a review and synthesis of data. *Tree Physiology*, 30:669-688.

8 Prilozi

Prilog 1. Osnovni podaci o potencijalnim lokacijama hidrouzgojnih mjera na području Šumarije Donji Miholjac

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
	ha	ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
dm-01	2,608	1,386	1,214	0,007	1,2	46,8	1,23	0,47	12.236,76
dm-02	1,068	1,068			0,0	0,0	1,18	0,53	5.637,02
dm-03	0,414	0,348		0,066	0,1	16,0	1,11	0,62	2.554,33
dm-04	0,564	0,547	0,017		0,0	3,0	1,05	0,43	2.439,73
dm-05	0,240	0,234	0,005		0,0	2,2	1,07	0,48	1.150,43
dm-06	0,930	0,869	0,001	0,060	0,1	6,6	1,29	0,54	5.002,37
dm-07	0,364	0,364			0,0	0,0	0,63	0,34	1.240,24
dm-08	0,277	0,270	0,007		0,0	2,6	1,14	0,54	1.480,77
dm-09	0,109	0,103	0,006		0,0	5,3	0,68	0,32	349,94
dm-10	0,126	0,126			0,0	0,0	0,60	0,32	409,85
dm-11	0,232	0,232			0,0	0,0	1,36	0,53	1.239,31
dm-12	11,630	6,731	4,899		4,9	42,1	1,35	0,42	48.993,82
dm-13	0,651	0,629	0,022		0,0	3,4	1,49	0,65	4.215,53
dm-14	0,181	0,181			0,0	0,0	2,02	0,98	1.774,84
dm-15	0,142	0,142			0,0	0,0	1,52	0,79	1.124,42
dm-16	0,237	0,215	0,023		0,0	9,6	1,88	1,00	2.374,34
dm-17	0,356	0,356			0,0	0,0	1,89	0,96	3.430,94
dm-18	0,360	0,339	0,021		0,0	5,8	1,77	0,84	3.020,44
dm-19	0,458	0,450	0,008		0,0	1,7	1,86	1,03	4.717,53
dm-20	0,134	0,134			0,0	0,0	1,92	1,03	1.379,10
dm-21	1,053	0,986	0,021	0,045	0,1	6,3	0,84	0,34	3.539,08
dm-22	3,972	3,791	0,180		0,2	4,5	0,91	0,36	14.365,24
dm-23	1,037	0,261	0,776		0,8	74,8	0,96	0,41	4.297,74
dm-24	2,734	2,555	0,179		0,2	6,5	1,19	0,53	14.584,01
dm-25	4,659	1,622	3,037		3,0	65,2	1,34	0,53	24.881,49

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
		ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
dm-26	0,574	0,566	0,008		0,0	1,4	1,10	0,53	3.029,49
dm-27	1,399	0,819	0,580		0,6	41,5	1,29	0,67	9.312,07
dm-28	7,030	6,827	0,204		0,2	2,9	1,35	0,56	39.609,91
dm-29	3,483	3,120	0,214	0,149	0,4	10,4	1,43	0,43	14.918,93
dm-30	0,511	0,488	0,023		0,0	4,5	0,78	0,30	1.557,01
dm-31	0,131	0,131			0,0	0,0	0,66	0,26	338,52
dm-32	2,482	2,381	0,101		0,1	4,1	1,45	0,55	13.688,32
dm-33	3,370	1,401	1,969		2,0	58,4	1,50	0,64	21.632,70
dm-34	0,856	0,786	0,070		0,1	8,2	1,29	0,62	5.267,42
dm-35	2,219	2,210	0,009		0,0	0,4	1,07	0,45	10.031,50
dm-36	0,997	0,927	0,071		0,1	7,1	1,12	0,44	4.413,22
dm-37	1,439		1,439	0,000	1,4	100,0	1,05	0,35	4.989,91
dm-38	3,143	3,042	0,072	0,029	0,1	3,2	1,69	0,67	20.994,46
dm-39	0,351	0,323	0,018	0,010	0,0	8,0	1,76	0,57	2.017,50
dm-40	0,251	0,246	0,005		0,0	1,9	1,48	0,53	1.341,20
dm-41	0,993	0,955	0,038	0,000	0,0	3,9	1,88	0,58	5.711,92
dm-42	4,709	4,497	0,207	0,005	0,2	4,5	2,48	0,67	31.753,13
dm-43	0,117	0,113		0,004	0,0	3,1	1,46	0,54	628,56
dm-44	0,314	0,314			0,0	0,0	2,52	0,98	3.077,54
dm-45	1,319	1,279	0,039	0,001	0,0	3,0	1,47	0,51	6.716,02
dm-50	0,184	0,170	0,014		0,0	7,7	1,37	0,89	1.634,62
dm-51	2,973	2,848	0,125	0,000	0,1	4,2	2,16	0,72	21.363,01
dm-52	0,109	0,109			0,0	0,0	1,77	0,73	792,43
dm-53	0,559	0,547	0,012		0,0	2,2	1,28	0,57	3.193,32
dm-54	0,929	0,897	0,032		0,0	3,4	0,91	0,36	3.339,98
dm-55	2,089	2,016	0,051	0,023	0,1	3,5	1,02	0,31	6.488,03
dm-56	0,159	0,135	0,024		0,0	15,2	1,06	0,60	963,40

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
		ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
dm-57	0,088	0,088			0,0	0,0	0,88	0,58	513,09
dm-58	0,218	0,215	0,004		0,0	1,7	1,13	0,52	1.143,23
dm-59	0,834	0,799	0,036		0,0	4,3	1,49	0,55	4.586,99
dm-60	5,598	2,268	3,200	0,131	3,3	59,5	1,85	0,68	37.832,51
dm-61	3,852	1,946	1,906	0,000	1,9	49,5	1,02	0,48	18.553,39
dm-62	0,821	0,119	0,702		0,7	85,5	0,93	0,33	2.675,56
dm-63	2,568	2,530	0,036	0,002	0,0	1,5	1,13	0,40	10.361,85
dm-64	0,419	0,386	0,009	0,023	0,0	7,8	0,91	0,44	1.846,30
dm-65	0,142	0,142			0,0	0,0	0,83	0,40	563,90
dm-66	2,046	0,781	1,265		1,3	61,8	1,59	0,54	11.115,88
dm-67	0,403	0,403			0,0	0,0	1,79	0,88	3.547,05
dm-68	1,937	1,867	0,070		0,1	3,6	1,75	0,42	8.103,72

Prilog 2. Osnovni podaci o potencijalnim lokacijama hidrouzgojnih mjera na području Šumarije Koška

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
	ha	ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-001	0,865	0,840	0,017	0,008	0,0	2,9	0,57	0,33	2.818,62
k-002	0,149	0,092		0,057	0,1	38,1	1,46	0,90	1.337,38
k-003	0,788	0,688	0,020	0,080	0,1	12,7	1,57	0,59	4.679,85
k-004	4,222	1,232	0,217	2,772	3,0	70,8	0,88	0,29	12.317,78
k-005	0,256	0,256			0,0	0,0	0,91	0,40	1.013,19
k-006	2,498	0,338	2,161		2,2	86,5	0,73	0,18	4.460,28
k-007	4,399	1,178	3,221		3,2	73,2	1,44	0,72	31.646,58
k-008	2,726	1,573	1,154		1,2	42,3	0,93	0,25	6.806,69
k-009	0,222	0,222			0,0	0,0	0,86	0,34	746,44
k-010	0,676	0,657	0,019		0,0	2,8	1,12	0,30	2.047,63
k-011	0,464	0,464			0,0	0,0	0,50	0,24	1.134,19
k-012	0,599	0,575	0,024		0,0	4,0	0,74	0,27	1.622,04
k-013	0,990	0,209	0,781		0,8	78,9	1,07	0,16	1.630,76
k-014	0,501	0,501			0,0	0,0	0,55	0,09	458,27
k-015	0,086	0,086			0,0	0,0	0,77	0,44	377,69
k-016	3,634	2,665	0,969		1,0	26,7	0,99	0,27	9.944,10
k-017	0,255	0,234	0,021		0,0	8,3	0,87	0,41	1.038,33
k-018	0,171	0,171			0,0	0,0	1,07	0,55	940,20
k-019	2,260	0,738	1,522		1,5	67,4	1,39	0,56	12.612,27
k-020	0,056	0,056			0,0	0,0	0,65	0,34	193,31
k-021	0,391			0,391	0,4	100,0	0,83	0,48	1.895,62
k-022	1,699			1,699	1,7	100,0	1,43	0,59	10.110,57
k-023	0,040		0,040		0,0	100,0	1,46	0,69	274,45
k-024	0,250	0,246		0,004	0,0	1,5	0,71	0,15	386,38
k-025	0,098	0,097	0,000		0,0	0,5	1,10	0,44	430,11

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
	ha	ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-026	0,183	0,157	0,026		0,0	14,2	1,03	0,36	659,88
k-027	0,229	0,229			0,0	0,0	0,86	0,37	852,84
k-028	0,580	0,580			0,0	0,0	0,85	0,34	1.947,05
k-029	0,202	0,192	0,009		0,0	4,6	0,69	0,32	642,46
k-030	0,115	0,115			0,0	0,0	0,72	0,28	326,74
k-031	0,169	0,169			0,0	0,0	0,94	0,51	867,79
k-032	0,089	0,089			0,0	0,0	0,55	0,31	276,01
k-033	0,130	0,130			0,0	0,0	0,79	0,32	422,70
k-034	0,108	0,107		0,001	0,0	0,7	0,66	0,14	156,12
k-035	0,099	0,099			0,0	0,0	0,85	0,35	344,52
k-036	0,289	0,289			0,0	0,0	1,00	0,36	1.031,02
k-037	0,692	0,692			0,0	0,0	0,94	0,35	2.407,55
k-038	0,582	0,554	0,014	0,014	0,0	4,7	0,63	0,17	972,12
k-039	0,047	0,047			0,0	0,0	0,80	0,33	155,19
k-040	0,393	0,380	0,013		0,0	3,3	0,93	0,37	1.444,72
k-041	0,975	0,958	0,018		0,0	1,8	0,90	0,30	2.893,81
k-042	0,086	0,066	0,019		0,0	22,4	0,85	0,45	382,22
k-043	2,884	2,810	0,074		0,1	2,6	1,10	0,31	9.005,33
k-044	0,616	0,616	0,000		0,0	0,0	0,85	0,32	1.992,11
k-045	0,187	0,042	0,144		0,1	77,3	0,61	0,19	346,10
k-046	0,033	0,033			0,0	0,0	0,53	0,35	115,94
k-047	0,052	0,052			0,0	0,0	1,41	0,49	256,57
k-048	0,053	0,053			0,0	0,0	0,62	0,33	173,06
k-049	2,664	2,029	0,636		0,6	23,9	0,95	0,32	8.412,58
k-050	0,098	0,098			0,0	0,0	1,04	0,41	408,48
k-051	0,108	0,108			0,0	0,0	0,86	0,35	379,39
k-052	0,090	0,090			0,0	0,0	0,93	0,47	418,43

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
		ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-053	0,169	0,169			0,0	0,0	1,00	0,42	712,58
k-054	0,163	0,163			0,0	0,0	0,60	0,33	546,08
k-055	0,061	0,040	0,021		0,0	33,9	2,17	0,63	382,88
k-056	0,437	0,100	0,337		0,3	77,2	1,08	0,22	968,60
k-057	0,213	0,059	0,154	0,000	0,2	72,5	0,64	0,23	487,96
k-058	0,054		0,054		0,1	100,0	1,72	0,71	384,81
k-059	0,038	0,038			0,0	0,0	0,64	0,39	146,65
k-060	0,097	0,097			0,0	0,0	0,78	0,36	353,36
k-061	9,678	4,196	5,439	0,043	5,5	56,6	3,08	0,84	81.149,58
k-062	3,252	3,235	0,018	0,000	0,0	0,5	0,91	0,23	7.639,39
k-063	0,662	0,581		0,080	0,1	12,1	2,23	1,17	7.709,41
k-064	1,550	1,496	0,054	0,000	0,1	3,5	0,92	0,20	3.117,21
k-065	0,029	0,029			0,0	0,0	0,73	0,44	126,13
k-066	0,793	0,788	0,005		0,0	0,6	1,05	0,14	1.121,53
k-067	0,146	0,146			0,0	0,0	1,05	0,47	689,99
k-068	0,046	0,046			0,0	0,0	0,78	0,34	158,27
k-069	0,048	0,036		0,012	0,0	24,5	0,98	0,30	142,35
k-070	0,103			0,103	0,1	100,0	1,34	0,80	824,64
k-071	0,377	0,364	0,013		0,0	3,3	0,82	0,34	1.277,60
k-072	32,036	11,085	12,896	8,056	21,0	65,4	2,08	0,75	240.918,99
k-073	0,197	0,195	0,002		0,0	0,9	0,88	0,60	1.180,06
k-074	0,400	0,373	0,027		0,0	6,8	0,70	0,38	1.529,49
k-075	7,065	3,452	3,613		3,6	51,1	1,00	0,36	25.562,07
k-076	0,352	0,311	0,041		0,0	11,8	1,15	0,33	1.158,57
k-077	0,796	0,783	0,013		0,0	1,6	0,98	0,35	2.794,08
k-078	0,720	0,712	0,008		0,0	1,1	0,60	0,36	2.593,73
k-079	0,327	0,327			0,0	0,0	0,98	0,51	1.672,26

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
		ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-080	0,080	0,080			0,0	0,0	0,76	0,40	321,54
k-081	0,133	0,133			0,0	0,0	1,45	0,55	730,34
k-082	0,157	0,157			0,0	0,0	0,78	0,40	621,89
k-083	0,215	0,193	0,022		0,0	10,4	0,63	0,36	767,56
k-084	0,046	0,046			0,0	0,0	0,76	0,44	204,82
k-085	0,513	0,498	0,015		0,0	2,9	0,73	0,29	1.494,84
k-086	0,060	0,060			0,0	0,0	0,78	0,41	241,66
k-087	0,116	0,102	0,014		0,0	12,2	0,77	0,41	472,70
k-088	8,420	8,189	0,231		0,2	2,7	1,54	0,51	42.565,20
k-089	0,774	0,663	0,112		0,1	14,4	1,51	0,49	3.785,30
k-090	0,108	0,015	0,092		0,1	85,9	0,87	0,53	570,42
k-091	0,195	0,034	0,161		0,2	82,5	1,49	0,70	1.360,94
k-092	0,295	0,054	0,241		0,2	81,7	0,74	0,39	1.160,36
k-093	0,135	0,135			0,0	0,0	1,21	0,66	893,55
k-094	0,158	0,158			0,0	0,0	1,12	0,61	960,58
k-095	0,149	0,149			0,0	0,0	0,76	0,48	714,38
k-096	0,591	0,201	0,389		0,4	66,0	0,97	0,44	2.623,75
k-097	1,061	0,054	1,007		1,0	94,9	0,62	0,22	2.321,05
k-098	1,938	1,882	0,056		0,1	2,9	1,35	0,54	10.507,66
k-099	1,411	0,744	0,667		0,7	47,3	1,39	0,44	6.239,43
k-100	0,254	0,254			0,0	0,0	0,89	0,34	855,77
k-101	0,107	0,107			0,0	0,0	0,94	0,49	520,35
k-102	0,103	0,103			0,0	0,0	1,09	0,48	489,96
k-103	0,376	0,376			0,0	0,0	0,84	0,37	1.396,12
k-104	0,109	0,099	0,009		0,0	8,7	0,83	0,38	414,69
k-105	0,068	0,068			0,0	0,0	0,75	0,46	311,13
k-106	0,044	0,044			0,0	0,0	0,71	0,42	182,18

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
		ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-107	0,078	0,078			0,0	0,0	0,49	0,30	236,00
k-108	0,056	0,056			0,0	0,0	1,11	0,55	305,14
k-109	0,089	0,089			0,0	0,0	0,54	0,28	250,43
k-110	0,051	0,051			0,0	0,0	0,69	0,38	195,50
k-111	0,090	0,090			0,0	0,0	1,03	0,55	492,44
k-112	0,064	0,064			0,0	0,0	0,74	0,39	250,12
k-113	0,063	0,056	0,007		0,0	11,6	0,63	0,24	151,76
k-114	0,868	0,817	0,051		0,1	5,9	1,89	0,54	4.641,07
k-115	0,052	0,052			0,0	0,0	0,54	0,32	168,03
k-116	2,762	2,680	0,082		0,1	3,0	1,83	0,41	11.385,12
k-117	0,115	0,105	0,010		0,0	8,7	0,83	0,38	439,12
k-118	0,666	0,666			0,0	0,0	1,05	0,24	1.612,90
k-119	0,073	0,073			0,0	0,0	0,61	0,37	265,58
k-120	0,156	0,156			0,0	0,0	1,08	0,53	832,76
k-121	0,141	0,141			0,0	0,0	0,67	0,40	562,06
k-122	0,156	0,146	0,010		0,0	6,1	0,85	0,28	434,06
k-123	0,414	0,414			0,0	0,0	0,87	0,26	1.089,66
k-124	1,870	1,849	0,021		0,0	1,1	1,58	0,68	12.806,19
k-125	4,711	3,578	1,133		1,1	24,0	1,74	0,66	31.026,96
k-126	0,393	0,275	0,118		0,1	30,0	1,78	0,78	3.077,31
k-127	11,744	2,622	9,122		9,1	77,7	1,63	0,54	63.422,00
k-128	8,209	2,253	5,956	0,000	6,0	72,6	0,88	0,18	14.930,99
k-129	6,125	2,577	3,548		3,5	57,9	1,23	0,35	21.381,41
k-130	0,151	0,151			0,0	0,0	0,77	0,44	666,04
k-131	0,066	0,066			0,0	0,0	1,04	0,50	328,00
k-132	0,050	0,050			0,0	0,0	0,48	0,35	174,48
k-133	0,030	0,030			0,0	0,0	0,67	0,46	140,15

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
		ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-134	0,054	0,054			0,0	0,0	0,89	0,54	294,41
k-135	0,188	0,042	0,146		0,1	77,7	1,02	0,28	526,66
k-136	0,163	0,163			0,0	0,0	0,70	0,30	485,42
k-137	2,585	2,557	0,028		0,0	1,1	0,94	0,30	7.683,05
k-138	3,532	2,560	0,971		1,0	27,5	1,24	0,37	13.037,53
k-139	1,581	1,508	0,074		0,1	4,7	0,80	0,22	3.535,25
k-140	3,951	1,638	2,313		2,3	58,5	1,64	0,47	18.503,24
k-141	0,574	0,574			0,0	0,0	1,03	0,52	2.968,94
k-142	0,991	0,348	0,643		0,6	64,9	1,25	0,55	5.485,02
k-143	2,814	2,792	0,022		0,0	0,8	1,65	0,60	16.873,05
k-144	0,493	0,474	0,019		0,0	3,8	1,24	0,53	2.628,99
k-145	0,135	0,135			0,0	0,0	1,27	0,38	511,41
k-146	3,609	3,482	0,126	0,001	0,1	3,5	1,15	0,51	18.230,99
k-147	14,206	12,975	1,232		1,2	8,7	1,75	0,56	79.947,42
k-148	1,625	0,801	0,825		0,8	50,7	0,87	0,30	4.947,43
k-149	0,903	0,903		0,000	0,0	0,0	1,36	0,58	5.241,92
k-150	1,251	0,478	0,773		0,8	61,8	0,81	0,45	5.609,67
k-151	0,414	0,414			0,0	0,0	0,72	0,36	1.492,76
k-152	1,254	0,504	0,750		0,8	59,8	0,21	0,01	91,94
k-153	11,789	5,400	3,539	2,850	6,4	54,2	1,04	0,28	32.443,44
k-154	0,884	0,228	0,655		0,7	74,2	0,82	0,39	3.398,24
k-155	6,122	5,053	0,963	0,106	1,1	17,5	1,99	0,76	46.612,48
k-156	19,495	11,357	8,136	0,002	8,1	41,7	1,17	0,30	59.251,33
k-157	3,042	2,944	0,097	0,001	0,1	3,2	1,17	0,27	8.315,35
k-158	3,818	3,337	0,482		0,5	12,6	0,87	0,42	16.074,03
k-159	1,046			1,046	1,0	100,0	0,87	0,48	5.055,50
k-160	2,757	2,456	0,020	0,280	0,3	10,9	2,22	0,78	21.515,59

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
	ha	ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-161	0,105	0,105			0,0	0,0	1,09	0,71	744,71
k-162	0,154	0,154			0,0	0,0	1,76	0,57	879,91
k-163	0,607	0,563		0,044	0,0	7,2	1,65	0,95	5.782,35
k-164	0,496	0,472		0,024	0,0	4,8	1,48	0,79	3.916,74
k-165	9,543	9,345	0,022	0,176	0,2	2,1	1,90	0,47	44.733,93
k-166	1,236	1,026	0,012	0,197	0,2	16,9	1,06	0,33	4.132,20
k-167	0,327	0,302	0,025		0,0	7,7	0,94	0,26	853,02
k-168	0,406	0,386		0,019	0,0	4,8	0,47	0,24	990,40
k-169	0,677	0,560		0,117	0,1	17,3	0,54	0,21	1.401,48
k-170	0,982	0,885	0,026	0,071	0,1	9,9	0,95	0,49	4.852,02
k-171	0,652	0,644	0,009		0,0	1,3	0,49	0,25	1.659,92
k-172	0,325	0,325			0,0	0,0	0,54	0,27	877,47
k-173	0,545	0,524	0,021		0,0	3,8	0,47	0,26	1.392,04
k-174	0,277	0,270	0,007		0,0	2,6	0,81	0,36	1.003,27
k-175	3,331	1,269	1,911	0,151	2,1	61,9	0,64	0,23	7.817,57
k-176	0,383	0,355		0,028	0,0	7,4	0,93	0,49	1.896,45
k-177	0,511	0,449		0,062	0,1	12,1	2,16	0,80	4.069,54
k-178	1,436	1,415		0,022	0,0	1,5	0,85	0,54	7.763,07
k-179	1,625	1,570	0,040	0,015	0,1	3,4	0,61	0,14	2.298,77
k-180	0,250			0,250	0,3	100,0	0,79	0,39	968,03
k-181	0,149	0,149			0,0	0,0	0,64	0,28	424,83
k-182	0,411	0,389	0,016	0,006	0,0	5,5	0,57	0,26	1.054,72
k-183	1,102			1,102	1,1	100,0	0,58	0,30	3.293,80
k-184	0,323			0,323	0,3	100,0	0,61	0,27	875,16
k-185	1,203	1,153	0,050		0,1	4,2	0,96	0,25	2.972,01
k-186	3,628	3,524	0,022	0,082	0,1	2,9	1,84	0,65	23.556,94
k-187	0,217	0,212	0,004		0,0	1,9	0,91	0,41	888,44

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
		ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-188	0,213	0,188	0,016	0,009	0,0	11,6	0,72	0,36	765,27
k-189	0,054	0,054			0,0	0,0	0,94	0,49	263,46
k-190	1,965	1,840	0,051	0,075	0,1	6,4	0,82	0,33	6.426,28
k-191	3,721	3,718	0,002		0,0	0,1	1,31	0,50	18.451,84
k-192	0,705			0,705	0,7	100,0	0,69	0,39	2.729,73
k-193	1,108			1,108	1,1	100,0	0,69	0,40	4.467,77
k-194	1,661			1,661	1,7	100,0	1,20	0,71	11.858,81
k-195	0,905			0,905	0,9	100,0	0,77	0,35	3.175,46
k-196	6,095	3,497	2,598		2,6	42,6	0,68	0,34	20.476,71
k-197	16,904	16,340	0,564		0,6	3,3	0,92	0,51	86.412,06
k-198	7,342	6,944	0,222	0,176	0,4	5,4	1,24	0,36	26.137,49
k-199	2,518	2,518			0,0	0,0	0,63	0,19	4.833,03
k-200	1,623	1,623			0,0	0,0	0,64	0,36	5.852,34
k-201	1,572	1,534	0,038		0,0	2,4	1,03	0,46	7.182,37
k-202	3,176	3,062	0,114		0,1	3,6	0,95	0,45	14.364,99
k-203	1,131	1,115	0,016		0,0	1,4	0,87	0,41	4.655,79
k-204	1,393	1,323	0,070		0,1	5,0	0,82	0,51	7.046,60
k-205	0,415	0,415			0,0	0,0	0,77	0,40	1.647,37
k-206	0,436	0,436			0,0	0,0	0,58	0,33	1.419,89
k-207	4,070	3,958	0,112	0,000	0,1	2,8	1,04	0,61	25.007,75
k-208	2,960			2,960	3,0	100,0	1,09	0,43	12.765,62
k-209	2,509	2,249	0,260		0,3	10,3	1,07	0,52	12.968,95
k-210	1,532			1,532	1,5	100,0	2,04	0,51	7.746,11
k-211	0,660			0,660	0,7	100,0	1,73	0,54	3.590,02
k-212	11,339			11,339	11,3	100,0	1,21	0,54	61.013,32
k-213	2,262	2,217	0,045		0,0	2,0	3,27	0,45	10.174,05
k-214	0,550	0,550			0,0	0,0	1,49	0,79	4.351,24

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
		ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-215	0,187	0,187			0,0	0,0	1,05	0,37	687,52
k-216	2,696	2,625	0,071		0,1	2,6	1,60	0,39	10.477,28
k-217	0,193	0,193			0,0	0,0	1,12	0,39	747,87
k-218	0,376	0,355	0,021		0,0	5,5	1,50	0,41	1.541,91
k-219	1,881	1,859		0,022	0,0	1,2	1,07	0,35	6.615,67
k-220	2,497	0,622	1,876		1,9	75,1	1,66	0,45	11.221,66
k-221	0,569	0,569			0,0	0,0	1,19	0,36	2.070,08
k-222	0,781			0,781	0,8	100,0	0,84	0,46	3.591,94
k-223	5,343			5,343	5,3	100,0	1,88	0,41	22.108,26
k-224	0,525	0,525			0,0	0,0	0,52	0,35	1.814,92
k-225	1,773			1,773	1,8	100,0	1,53	0,37	6.562,12
k-226	0,324	0,324			0,0	0,0	0,81	0,31	1.013,40
k-227	0,094			0,094	0,1	100,0	0,86	0,48	456,36
k-228	0,191			0,191	0,2	100,0	1,01	0,40	757,71
k-229	1,426	0,726	0,018	0,682	0,7	49,1	0,64	0,35	5.059,33
k-230	0,192			0,192	0,2	100,0	1,43	0,56	1.078,24
k-231	0,109			0,109	0,1	100,0	1,13	0,56	609,37
k-232	0,145	0,076		0,070	0,1	48,0	1,04	0,39	568,73
k-234	2,122	2,020	0,102		0,1	4,8	0,61	0,39	8.309,24
k-235	1,166	1,144	0,022		0,0	1,9	1,12	0,47	5.432,05
k-236	0,110	0,110			0,0	0,0	0,95	0,51	560,84
k-237	0,457	0,434	0,022		0,0	4,9	1,14	0,55	2.511,29
k-238	0,058	0,058			0,0	0,0	1,16	0,61	353,98
k-239	26,836	7,948	18,888		18,9	70,4	1,11	0,52	139.327,26
k-240	0,127	0,127			0,0	0,0	1,30	0,56	710,46
k-241	0,100	0,100			0,0	0,0	0,75	0,42	417,97
k-242	2,203	0,610	1,593		1,6	72,3	1,14	0,50	11.099,18

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
	ha	ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-243	0,568	0,568			0,0	0,0	0,90	0,39	2.244,62
k-244	0,217	0,217			0,0	0,0	1,17	0,56	1.226,09
k-245	0,079	0,079			0,0	0,0	0,91	0,53	422,49
k-246	0,457	0,457			0,0	0,0	0,70	0,35	1.581,27
k-247	0,415			0,415	0,4	100,0	0,45	0,26	1.084,04
k-248	0,315			0,315	0,3	100,0	1,32	0,57	1.797,42
k-249	0,143			0,143	0,1	100,0	1,34	0,40	569,39
k-250	0,123			0,123	0,1	100,0	0,57	0,35	430,66
k-251	0,480			0,480	0,5	100,0	1,37	0,51	2.432,91
k-252	1,010	0,969	0,041		0,0	4,1	1,13	0,19	1.939,75
k-253	0,415	0,415			0,0	0,0	0,72	0,36	1.478,52
k-254	0,147	0,136		0,010	0,0	7,1	0,82	0,43	624,55
k-255	0,960	0,960			0,0	0,0	1,05	0,46	4.446,37
k-256	0,087	0,087			0,0	0,0	0,50	0,34	293,53
k-257	0,694	0,694			0,0	0,0	0,81	0,41	2.850,70
k-258	1,042	1,023		0,019	0,0	1,8	1,24	0,56	5.855,99
k-259	0,205	0,205			0,0	0,0	1,56	0,55	1.115,95
k-260	0,106	0,058	0,049		0,0	45,9	1,04	0,41	432,32
k-261	0,065	0,065			0,0	0,0	0,50	0,34	216,51
k-262	0,929	0,812	0,117		0,1	12,6	1,54	0,61	5.639,57
k-263	0,126	0,094	0,032		0,0	25,5	0,68	0,40	497,59
k-264	1,253	0,609	0,644		0,6	51,4	1,69	0,29	3.638,42
k-265	0,367			0,367	0,4	100,0	0,71	0,35	1.293,69
k-266	0,354	0,309	0,045		0,0	12,7	1,73	0,22	791,88
k-267	0,252	0,252			0,0	0,0	1,09	0,34	845,03
k-268	0,305	0,276	0,016	0,014	0,0	9,6	0,75	0,43	1.306,30
k-269	0,121	0,107	0,011	0,003	0,0	11,8	1,37	0,46	553,86

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
	ha	ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-270	0,369	0,369			0,0	0,0	1,21	0,53	1.946,01
k-271	0,127	0,105	0,022		0,0	17,0	0,71	0,30	385,88
k-272	0,777	0,777			0,0	0,0	0,78	0,38	2.937,08
k-273	2,642	2,628		0,014	0,0	0,5	1,39	0,73	19.239,42
k-274	0,804	0,745	0,059		0,1	7,3	1,39	0,58	4.636,29
k-275	0,159	0,159			0,0	0,0	0,49	0,30	482,59
k-276	0,097	0,097			0,0	0,0	0,90	0,39	380,86
k-277	1,164	1,161	0,000	0,003	0,0	0,2	1,30	0,51	5.917,12
k-278	4,254	4,137	0,116		0,1	2,7	1,55	0,41	17.457,66
k-279	0,406	0,373	0,033		0,0	8,1	0,81	0,44	1.796,41
k-280	7,320	6,739	0,234	0,347	0,6	7,9	1,86	0,77	56.218,04
k-281	2,089	2,050	0,019	0,020	0,0	1,9	1,57	1,00	20.940,05
k-282	0,995	0,982		0,012	0,0	1,3	0,80	0,42	4.133,53
k-283	0,399	0,399			0,0	0,0	0,93	0,54	2.139,04
k-284	1,665	1,661	0,004		0,0	0,2	1,22	0,53	8.856,12
k-285	0,380	0,355		0,024	0,0	6,4	1,60	0,78	2.967,81
k-286	1,736	1,719	0,016		0,0	0,9	1,05	0,42	7.210,86
k-287	0,544	0,500	0,045		0,0	8,2	0,73	0,46	2.486,48
k-288	1,257	1,257	0,000		0,0	0,0	0,67	0,28	3.541,38
k-289	3,596	3,490	0,096	0,011	0,1	3,0	1,34	0,47	16.801,84
k-290	1,605	1,555	0,051		0,1	3,2	0,64	0,31	4.984,09
k-291	0,798	0,798			0,0	0,0	0,66	0,33	2.620,39
k-292	0,384			0,384	0,4	100,0	0,61	0,32	1.213,71
k-293	0,353		0,353		0,4	100,0	0,73	0,36	1.266,93
k-294	0,096			0,096	0,1	100,0	0,46	0,33	311,94
k-295	0,092			0,092	0,1	100,0	0,44	0,33	302,01
k-296	0,569	0,003		0,566	0,6	99,4	1,31	0,30	1.730,62

oznaka lokacije	ukupna površina	struktura površine prema uređajnim razredima					hidrološke značajke potencijalne retencije		
		obraslo	neobraslo i neproizvodno	nedefinirano	neobraslo, neproizvodno i nedefinirano skupa		najveća dubina vode	prosječna dubina vode	volumen vode u retenciji
	ha	ha	ha	ha	ha	%	m	m	m³
k-297	0,415			0,415	0,4	100,0	1,35	0,47	1.951,26
k-298	0,132			0,132	0,1	100,0	1,32	0,51	671,47
k-299	0,064	0,064			0,0	0,0	1,41	0,46	296,94
k-300	0,063	0,061	0,003		0,0	4,2	0,52	0,33	211,36
k-301	0,027	0,027			0,0	0,0	0,79	0,44	118,86
k-302	0,033			0,033	0,0	100,0	0,81	0,39	129,01
k-303	0,348	0,348			0,0	0,0	0,96	0,31	1.092,47
k-304	0,346	0,323	0,023		0,0	6,7	0,90	0,28	981,76
k-305	0,262	0,262			0,0	0,0	1,09	0,35	903,86
k-306	0,990	0,990			0,0	0,0	2,88	0,56	5.543,29
k-307	0,575	0,497	0,078		0,1	13,6	1,43	0,34	1.927,31
k-308	2,496	2,451	0,044		0,0	1,8	1,76	0,35	8.854,98
k-309	1,232	1,079	0,153		0,2	12,5	0,97	0,44	5.425,52
k-310	0,873	0,861	0,012		0,0	1,3	1,06	0,35	3.020,78
k-311	0,106	0,106			0,0	0,0	1,30	0,56	597,03
k-312	0,083	0,083			0,0	0,0	0,75	0,53	437,22
k-313	0,655	0,609	0,046		0,0	7,0	0,54	0,31	2.043,25
k-314	0,583	0,575		0,007	0,0	1,2	0,49	0,28	1.655,85
k-315	0,302	0,302			0,0	0,0	1,54	0,39	1.179,29
k-316	0,112	0,094	0,018		0,0	16,1	0,71	0,37	419,88
k-317	0,603	0,602	0,000		0,0	0,1	2,80	0,43	2.565,74
k-318	0,075	0,075			0,0	0,0	1,09	0,57	431,00
k-319	0,494	0,486	0,008		0,0	1,6	1,13	0,45	2.220,29
k-320	0,480	0,480			0,0	0,0	1,55	0,58	2.801,54
k-321	6,878	6,528	0,351		0,4	5,1	0,94	0,34	23.533,17

Prilog 3. Kartografski prikazi 20 odabranih lokacija hidrouzgojnih mjera na području Šumarije Donji Miholjac (dm) i Šumarije Koška (k)

