

# Utjecaj mreže kanala na vlagu tla u šumskom ekosustavu hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.)

---

Knežičić, Matej

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry and Wood Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:439563>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE  
ŠUMARSKI ODSJEK

DIPLOMSKI STUDIJ  
UZGAJANJE I UREĐIVANJE ŠUMA S LOVNIM GOSPODARENJEM

MATEJ KNEZIČIĆ

UTJECAJ MREŽE KANALA NA VLAGU TLA U ŠUMSKOM  
EKOSUSTAVU HRASTA LUŽNJAKA (*Quercus robur* L.)

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, srpanj 2024.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET ŠUMARSTVA I DRVNE TEHNOLOGIJE**  
**ŠUMARSKI ODSJEK**

**UTJECAJ MREŽE KANALA NA VLAGU TLA U ŠUMSKOM  
EKOSUSTAVU HRASTA LUŽNJAKA (*Quercus robur* L.)**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnom gospodarenjem

Predmet: Opća i krajobrazna ekologija

Ispitno povjerenstvo: 1. prof. dr. sc. Damir Ugarković (mentor)

2. prof. dr. sc. Ivica Tikvić (član)

3. izv. prof. dr. sc. Ivan Perković (član)

Student: Matej Knežičić

JMBAG: 0068221644

Datum odobrenja teme: 5.5.2023.

Datum predaje rada: 5.7.2024.

Datum obrane rada: 12.7.2024.



# IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

OB FŠDT 05 07

Revizija: 2

Datum:  
29.04.2021.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

U Zagrebu, 5.7.2024. godine

---

*vlastoručni potpis*

Matej Knežičić

## Dokumentacijska kartica

<b>Naslov</b>	Utjecaj mreže kanala na vlagu tla u šumskom ekosustavu hrasta lužnjaka ( <i>Quercus robur</i> L.)
<b>Title</b>	The influence of the channel network on soil moisture in the pedunculate oak ( <i>Quercus robur</i> L.) forest ecosystem
<b>Autor</b>	Matej Knezičić
<b>Adresa autora</b>	Šušnjevec 49 A, 10000 Zagreb
<b>Mjesto izrade</b>	Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu
<b>Vrsta objave</b>	Diplomski rad
<b>Mentor</b>	prof. dr. sc. Damir Ugarković
<b>Godina objave</b>	2024.
<b>Obujam</b>	Broj stranica: 41 Broj slika: 22 Broj tablica: 22 Broj navoda literature: 30
<b>Ključne riječi</b>	Hidrologija, nizinska šuma, poplavna šuma, kanal, odvodnja, hrast lužnjak
<b>Key words</b>	Hydrology, lowland forest, floodplain forest, canal, drainage, pedunculate oak
<b>Sažetak</b>	<p>Voda je ključni ekološki čimbenik za nizinske šumske ekosustave. Antropogeni utjecaji na hidrologiju nizinskih šumskih ekosustava su čest predmet istraživanja i povezani su s negativnim pojavama u tim ekosustavima poput smanjenja bioraznolikosti, pada vitalnosti te izostanka uroda sjemena nizinskih šumskih vrsta drveća. Gradnja odvodnih kanala je jedan od načina na koji čovjek utječe na nizinske šumske ekosustave. Duboki odvodni kanali snižavaju razinu podzemnih voda te time povećavaju sušni stres u šumama. Plitki odvodni kanali u sastojinama se koriste za odvodnju viška poplavne vode iz sastojina. To može imati pozitivan učinak na mlade sastojine i sastojine u obnovi, pogotovo prilikom prisutnosti poplavne vode u vrijeme trajanja vegetacijskog razdoblja. Međutim, mogući negativni učinci takvih kanala na šumske ekosustave još uvijek nisu dovoljno istraženi. U ovom radu su analizirani trendovi vodotoka na području nizinskih šuma Draganičkih lugova. Postavljene su dvije pokusne plohe u dvije sastojine hrasta lužnjaka, pri čemu su u jednoj prisutni plitki odvodni kanali, a u drugoj ne. Izmjerene su dimenzije i vodostaji tih kanala. U obje sastojine je izmjerena mikroklima tla te sastojinska mikroklima. Provedena statistička analiza tih podataka je pokazala značajan trend smanjivanja vodostaja vodotoka tog područja. Utvrđene su razlike u dimenzijama različitih tipova kanala prisutnih u sastojini. Utvrđena je i statistički značajna razlika u volumetrijskoj vlazi tla u te dvije sastojine, pri čemu je razlika bila najveća na dubinama tla koje se podudaraju s dubinama kanala u sastojini. Analizom vodne bilance nije utvrđen manjak vode što može biti posljedica iznadprosječno vlažnog</p>

	<p>dijela godine u kojem je provedeno istraživanje. Rezultati istraživanja ukazuju na negativan učinak plitkih odvodnih kanala na vlagu tla u sastojini koji može doći do većeg izražaja u sušem dijelu vegetacijskog razdoblja. Međutim, uvažene su i koristi koje takvi kanali pružaju te su predloženi neki postupci kojima bi se pozitivni učinci kanala zadržali, a negativni umanjili.</p>
<p><b>Summary</b></p>	<p>Water is a key ecological factor for lowland forest ecosystems. Anthropogenic impacts on the hydrology of lowland forest ecosystems are a common subject of research and are associated with negative phenomena in these ecosystems, such as reduced biodiversity, decreased vitality, and the absence of seed production in lowland forest tree species. The construction of drainage canals is one way humans impact lowland forest ecosystems. Deep drainage canals lower the groundwater level, thereby increasing drought stress in forests. Shallow drainage canals in stands are used to drain excess floodwater from the stands. This can have a positive effect on young stands and stands in the process of regeneration, especially in case floodwater is present during the vegetation period. However, the potential negative effects of such canals on forest ecosystems are still not sufficiently researched. In this study, trends in watercourses in the lowland forests of the Draganički lugovi area were analysed. Two experimental plots were set up in two pedunculate oak stands, one with shallow drainage canals present and the other without. The dimensions and water levels of these canals were measured. The microclimate of the soil and the stand were measured in both stands. Statistical analysis showed a significant trend of decreasing water levels in the watercourses of that area. Differences in the dimensions of different types of canals present in the stand were determined. A statistically significant difference in volumetric water content of soil was also found between the two stands, with the difference being greatest at soil depths that correspond to the depths of the canals in the stand. The water balance analysis did not reveal a water deficit, which may be due to the above-average amount of rainfall and floodwater in the research period. The results of the research indicate the negative effect of shallow drainage canals on soil moisture in the stand, which can become increasingly apparent during the drier part of the vegetation period. However, the benefits these canals provide were also considered, and some measures were proposed to retain the positive effects of the canals while mitigating the negative ones.</p>

## Zahvala

Stigao sam pred sam kraj jednog velikog i vrlo značajnog životnog poglavlja. Pišući ovu zahvalu, teško mi je pronaći riječi kojima bih dobro mogao prenijeti svoje misli i osjećaje na papir. Zato ću se vratiti na sam početak svog studija.

Kad sam upisao Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, roditelji su mi rekli da studij završavaju samo uporni. Na samom početku nisam istinski pojmio značenje te tvrdnje. Ali sad, na samom kraju studija, mogu s razumijevanjem i potpunom sigurnošću reći da su bili u pravu. Studij je vrlo izazovan te zahtjeva mnogo truda i odricanja. Prepun je lijepih, ali i teških trenutaka u kojima se mladom čovjeku nije lako snaći. Zato se od srca zahvaljujem svojoj obitelji bez čije velike podrške sigurno ne bih mogao doći do završetka studija.

Također se zahvaljujem prijateljima i kolegama koji su bili dio mog života za vrijeme studija. Zajedno smo prebrodili brojne izazove i stvorili lijepa sjećanja. Život je nepredvidiv i svjestan sam da se putevi razilaze u vremenima velikih životnih promjena. Ali siguran sam da će neka prijateljstva ostati doživotna te sam na tome neizmjereno zahvalan i veselim se budućim susretima.

Zahvaljujem se svim profesorima koji su uložili mnogo truda kako bi mojim kolegama i meni prenijeli dragocjeno znanje koje će nam biti potrebno u budućem radu. Posebno se zahvaljujem svojem mentoru prof. dr. sc. Damiru Ugarkoviću na pomoći te velikoj strpljivosti i susretljivosti pri istraživanju i izradi diplomskog rada. Cjelokupni proces izrade diplomskog rada je bilo vrijedno i poučno životno iskustvo koje će mi zasigurno pomoći u budućnosti.

Naposljetku se želim zahvaliti rukovoditelju Odjela za uređivanje šuma UŠP Karlovac Tomislavu Katiću, upraviteljici Šumarije Draganić Mariji Beljan Steković i djelatnicima Šumarije Draganić na velikoj pomoći pri provođenju istraživanja. Bez vas izrada ovog diplomskog rada ne bi bila moguća.

## Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Ciljevi istraživanja .....	3
3. Materijali i metode rada.....	4
3.1. Područje istraživanja.....	4
3.2. Materijali i metode rada .....	7
4. Rezultati istraživanja.....	10
4.1. Vodostaji vodotoka, retencije i oteretnog kanala .....	10
4.2. Mreža kanala u šumskoj sastojini.....	19
4.3. Mikroklima šumskog tla.....	27
4.4. Mikroklima šumske sastojine.....	30
4.5. Potencijalna evapotranspiracija i vodna bilanca tla .....	31
5. Rasprava .....	33
6. Zaključak.....	36
7. Dodaci.....	37
7.1. Popis slika.....	37
7.2. Popis tablica .....	39
8. Literatura.....	40



## 1. Uvod

Voda je jedan od ključnih ekoloških čimbenika za funkcioniranje šumskih ekosustava. O njoj ovise biološki procesi svih organizama. Voda ima presudnu važnost u razvoju nizinskih šumskih ekosustava Hrvatske (Tikvić i Ugarković 2021). Izmjene forme mikroreljefa u obliku mikroudubina i mikrouzvisina te kompleksan vodni režim uvjetuju nastanak raznolikih biljnih zajednica u nizinskim šumama Hrvatske. Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) je tipična nizinska vrsta šumskog drveća. To je gospodarski najvrjednija vrsta šumskog drveća u Hrvatskoj, a spada i među najugroženije vrste drveća (Prpić i Anić 2000). U nizinskim šumama tvori dvije temeljne biljne zajednice, a to su šuma hrasta lužnjaka i običnog graba (*Carpinus betuli-Quercetum roboris* /Anić 1959/ Rauš 1969) te šuma hrasta lužnjaka i velike žutilovke (*Genisto elatae-Quercetum roboris* Horvat 1938). Šuma hrasta lužnjaka i običnog graba zauzima svježije i ocjedite terene nizinske Hrvatske koji nisu plavljeni, a postoji i na poljima u kršu dinarskog područja. Najveće komplekse tvori duž rijeke Save i u spačvanskom području. Šuma hrasta lužnjaka i velike žutilovke je poplavna šuma. Tvori velike komplekse na mikroreljefu tipa niza uz obale velikih rijeka. Prema Prpiću i Aniću (2000), šuma hrasta lužnjaka i običnog graba je otpornija na promjene staništa zbog prisutnosti podstojne etaže koju tvori obični grab (*Carpinus betulus* L.) i koja regulira mikroklimu sastojine. Podstojnu etažu šume hrasta lužnjaka i velike žutilovke je tvorio nizinski brijest (*Ulmus minor* Mill.) koji je na sličan način regulirao mikroklimu sastojine. Nakon pojave holandske bolesti brijesta (*Ophiostoma* spp.) 1929. godine, nizinski brijest je zbog njezinog djelovanja gotovo nestao iz hrvatskih šuma, a nijedna druga vrsta šumskog drveća nije uspjela u potpunosti zamijeniti njegovu ulogu u šumi hrasta lužnjaka i velike žutilovke. Posljedica toga je promjena mikroklimu u tim sastojinama što je negativno utjecalo na njihovu vitalnost i manju otpornost na promjene u usporedbi sa šumom hrasta lužnjaka i običnog graba.



Slika 1. Poplava u nizinskoj šumi u vrijeme trajanja vegetacije (autor: M. Knežić)

U nizinskim šumama koje predstavljaju naročito ekološko uporište u smislu usklađivanja vodnih odnosa u prostoru, ali i bioproizvodnje najvrjednijeg drva, velike se promjene događaju

poradi izgradnje hidroelektrana, regulacije rijeka, melioracijskih radova i onečišćavanja rijeka čije poplavne vode ulaze u nizinske šumske ekosustave (Prpić 1991). Hrast lužnjak i druge higrofilne vrste šumskog drveća za opstanak trebaju više vode od količine koja u ekosustav dopijeva oborinama. Razliku vode koja im nedostaje uzimaju od zalihe podzemne vode (Prpić 2005). To im omogućava preživljavanje sušnih razdoblja koja su u novije vrijeme sve učestalija. Nizinske šume su posljedično vrlo osjetljive na promjene vodnog režima izazvanog antropogenim utjecajem. Te promjene su jedan od najvećih čimbenika koji negativno utječu na nizinske šumske ekosustave u Hrvatskoj. Hrast lužnjak je posebno osjetljiv na promjene razine podzemne vode (Prpić 1991). Prema Prpiću (2005), prilikom hidrotehničkih zahvata se smanjuje bioraznolikost ekosustava rijeke i riječne doline, a šumski ekosustavi najosjetljivije reagiraju. Brojna provedena istraživanja jasno ukazuju na činjenicu da hidrotehnički zahvati mogu vrlo negativno utjecati na nizinske šume zbog promjene vodnog režima, bilo da je riječ o zadržavanju poplavne vode u vegetacijskom razdoblju, zamočvarivanju staništa ili padu razina podzemnih voda i isušivanju staništa. Posljedice su dugoročne, a očituju se brojnim negativnim pojavama kao što su pad vitalnosti stabala, izostanak uroda sjemena i izvanredno odumiranje. Ta istraživanja su najčešće bila usmjerena na velike hidrotehničke zahvate kao što su presijecanje meandara rijeka, izgradnja nasipa za zaštitu od poplava, izgradnja vodnih stuba pri gradnji hidroelektrana, izgradnja plovničkih kanala, izrada retencija radi zadržavanja poplava, hidromelioracije agroekosustava dubokim odvodnim kanalima, vađenje šljunka i pijeska te gradnja prometnica.

Istraživanjima je dokazano da duboki odvodni kanali dovode do snižavanja razine podzemnih voda zbog čega su nizinske šume pod sve većim i dugotrajnijim sušnim stresom, a posljedice tog stresa su sve češća pojava izvanrednog odumiranja šuma te izostanak uroda sjemena. Međutim, u svrhu odvodnje poplavne vode, u nekim nizinskim šumama Hrvatske se grade mreže plitkih odvodnih kanala u sastojinama čija je svrha dreniranje, odnosno odvodnja viška vode iz šumskih ekosustava u obližnje vodotoke. Takvi odvodni kanali se kratko vrijeme održavaju, a nakon prestanka održavanja postepeno zarastaju. U njima se nakupljaju čestice tla nošene vodom i mrtva organska tvar te se njihov utjecaj na vodni režim smanjuje. Drenaža olakšava izvođenje potrebnih šumskih radova, a može imati i pozitivan učinak na preživljavanje mladih sastojina i sastojina u fazi obnove koje su najosjetljivije na zadržavanje poplavne vode za vrijeme vegetacijskog razdoblja. Međutim, nasuprot koristima takvih kanalskih mreža postoji mogućnost njihovog negativnog utjecaja na šumske ekosustave. Većina korijena biljaka se razvija do 50 cm dubine, a većina tankog korijena na 20 do 30 cm dubine (Tikvić i Ugarković, 2021). Iz toga slijedi da je voda u gornjim slojevima tla od presudne važnosti za život tih vrsta te se može postaviti pitanje negativnog utjecaja plitkih odvodnih kanala na šumske vrste drveća. Ti kanali u šumskim sastojinama utječu na brže otjecanje vode u tlu, a posljedica toga može biti dodatni sušni stres kod biljaka, ponajprije u sušem dijelu vegetacijskog razdoblja. To u kombinaciji s drugim promjenama vodnog režima u konačnici može uvećati učestalost i intenzitet pojava izvanrednog odumiranja stabala i izostanka uroda sjemena.

Još uvijek je nedovoljno istraživanja koja bi sa sigurnošću mogla vrednovati praksu izrade plitkih odvodnih kanala u sastojinama i odrediti nadilaze li njihove koristi potencijalnu štetu koju mogu prouzročiti. Prilikom takvih istraživanja treba uzeti u obzir moguće negativne utjecaje takvih kanala, ali se pri tome ne smiju izostaviti koristi koje mreža takvih kanala u sastojini može pružiti, a područje istraživanja i trenutno stanje je potrebno sagledati i iz konteksta recentne povijesti gospodarstva i specifičnosti lokaliteta.

## 2. Ciljevi istraživanja

- Analizirati trendove vodotoka na području nizinskih šuma Draganićkih lugova
- Izmjeriti dimenzije kanala i njihove vodostaje u šumskim sastojinama
- Izmjeriti i usporediti sastojinsku mikroklimu i mikroklimu tla u šumskim sastojinama sa i bez kanalske mreže

### 3. Materijali i metode rada

#### 3.1. Područje istraživanja

Istraživanje je provedeno na području Šumarije Draganić, Uprava šuma Podružnica Karlovac u gospodarskoj jedinici (GJ) Draganički lugovi, u odsjecima 46 a i 55 a. Ta gospodarska jedinica se nalazi sjeveroistočno od Karlovca, dio je Pokupskog bazena i graniči s gospodarskim jedinicama Jastrebarski lugovi, Pisarovinski lugovi, Rečički lugovi, Kozjača i Jazbina Vučjak. Čitavo područje nizinskih šuma Pokupskog bazena zauzima preko 10 000 ha. To područje je okruženo Samoborskim i Žumberačkim gorjem sa zapada i sjeverozapada, Vukomeričkim goricama s istoka i sjeveroistoka te rijekom Kupom s južne i zapadne strane. Nizinski ekosustavi tog područja ovise o velikim količinama vode koja u njih dospijeva putem guste hidrografske mreže žumberačkih i plešivičkih vodotoka. Od iznimne važnosti su i indirektna poplave iz rijeke Kupe na koje su ekosustavi tog područja prilagođeni.

Klima tog područja prema Köppenovoj klasifikaciji spada u tip C koji predstavlja umjereno tople kišne klime. Podtip je Cfbwx, pri čemu f označava podjednak raspored oborina tijekom godine, w označava suho zimsko razdoblje, b označava toplo ljetno razdoblje s prosječnom temperaturom najtoplijeg mjeseca ispod 22 °C, a x označava specifičnost klime koja se očituje u pojavi maksimuma količine padalina dvaput godišnje, u rano ljetno i u kasnu jesen. Dvije najbliže meteorološke postaje su Karlovac i Jastrebarsko. U tablicama 1 i 2 su prikazani podaci o srednjim mjesečnim i godišnjim temperaturama u °C te srednjim mjesečnim i godišnjim količinama oborina izmjereni na tim meteorološkim postajama. Vidljivo je da većina oborina pada u razdoblju trajanja vegetacije što je povoljno za njen razvoj. Langov kišni faktor za meteorološku postaju Karlovac je 96, a za meteorološku postaju Jastrebarsko 95.

Tablica 1. Srednje mjesečne i godišnje temperature (°C) izmjerene na mjernim postajama Karlovac i Jastrebarsko (Izvor: Uređajni zapisnik za gospodarsku jedinicu „Draganički lugovi“)

Srednje mjesečne i godišnje temperature u °C													
Meteo. Postaja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Karlovac	0,3	2,4	6,9	11,1	16,2	19,4	21,4	20,6	16,3	10,9	5,2	1,3	11,0
Jastreb.	-1,1	1,2	5,6	9,9	14,7	18,0	19,8	18,8	15,3	10,0	4,6	0,5	9,8

Tablica 2. Srednje mjesečne i godišnje količine oborina (mm) izmjerene na mjernim postajama Karlovac i Jastrebarsko (Izvor: Uređajni zapisnik za gospodarsku jedinicu „Draganički lugovi“)

Srednje mjesečne i godišnje količine padalina u mm													
Meteo. postaja	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Karlovac	61,3	57,7	73,6	82,2	87,2	103,3	96,7	94,1	102,8	104,1	110,3	82,5	1055,9
Jastreb.	53	52	67	74	83	96	83	94	92	77	91	66	928

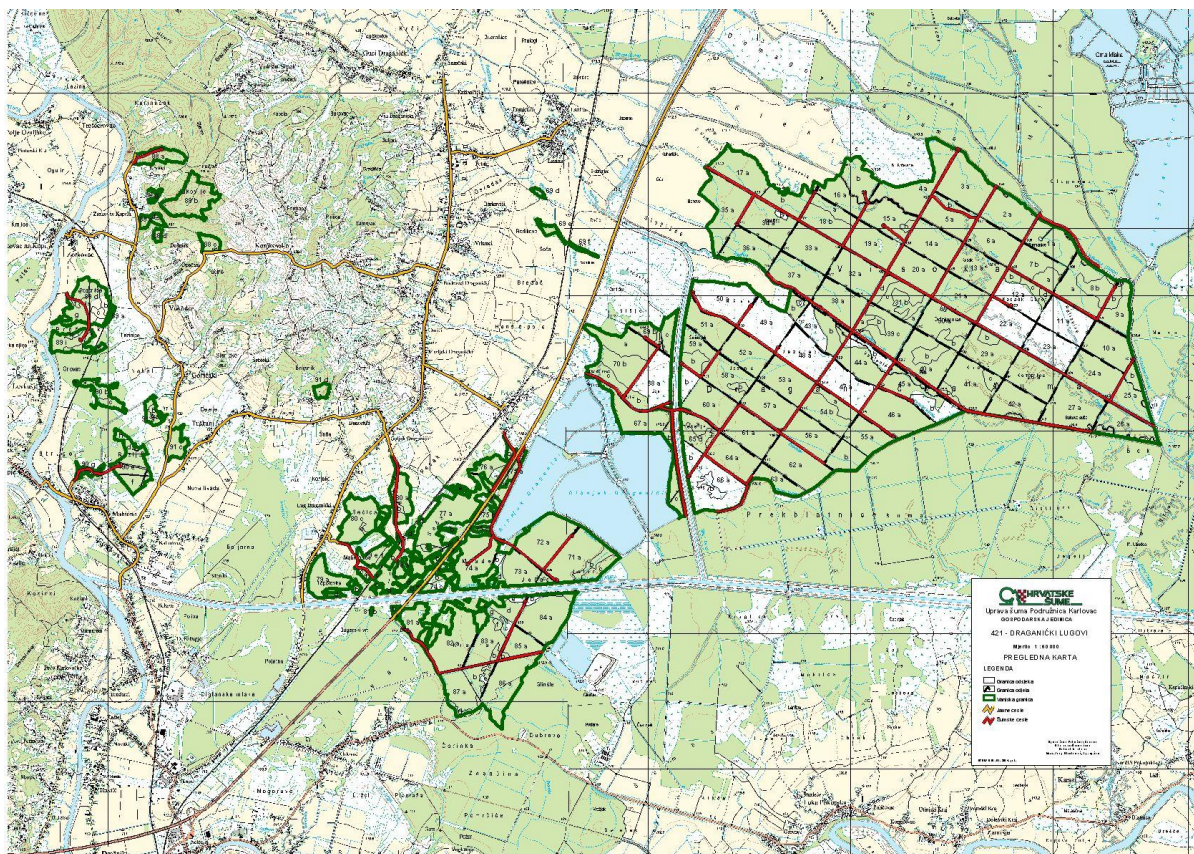
Gospodarska jedinica Draganički lugovi sastoji se od četiri glavna šumska predjela: Visoka, Sušje, Jelas – Karabno i Duga Lazina – Brezje. Šumski predjeli Visoka, Sušje i Jelas – Karabno pripadaju sklopu nizinskih šuma Pokupskog bazena, a predjel Duga Lazina – Brezje se nalazi u kolinskom pojasu. Glavninu GJ Draganički lugovi čine šumski predjeli Visoka i Sušje. Oni čine jedinstvenu cjelinu, a granica između tih predjela je potok Kupčina.

Odjeli 1 – 42 se nalaze u predjelu Visoka, a odjeli 43 – 70 se nalaze u predjelu Sušje. Sjeverna i dio istočne granice tih predjela prema GJ Jastrebarski lugovi su potoci Struga i Volovčica, a od GJ Rečički lugovi s južne strane ih dijele kanal Granac i rijeka Kupčina. Na istočnom dijelu ovi predjeli također graniče s GJ Pisarovinski lugovi. Zapadni dio ovih predjela graniči s Ribnjakom Draganić, autocestom A1 te privatnim pašnjacima, livadama i oranicama.

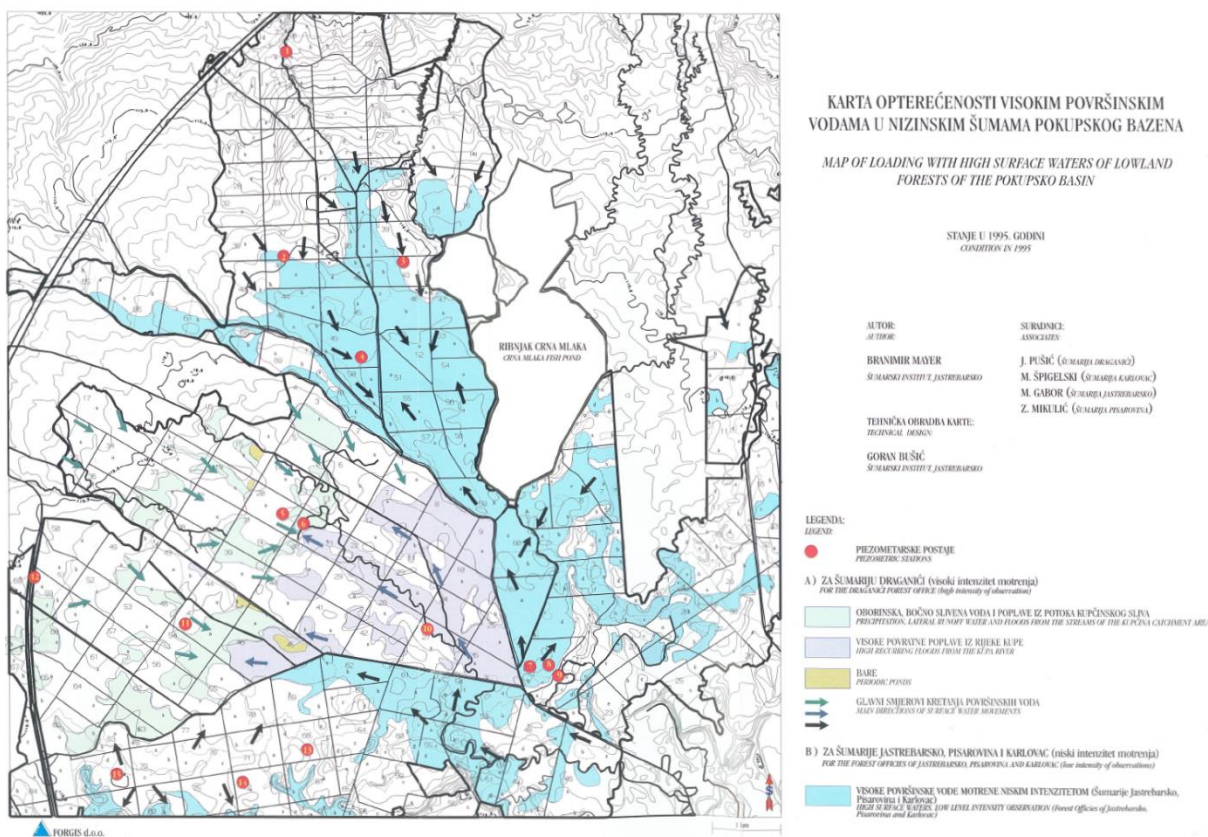
Šumski predjel Jelas – Karabno čine odjeli 71 – 87. Ispresijecan je kanalom Kupa – Kupa, autocestom A1 i željezničkom prugom Zagreb – Karlovac. Sa sjeverne strane graniči s privatnim pašnjacima, livadama i oranicama. Ribnjak Draganić sa sjeveroistočne strane ovaj šumski predjel dijeli od šumskog predjela Sušje. Na južnom dijelu graniči s GJ Rečički lugovi. Sa zapadne strane granicu čini stara cesta Karlovac – Zagreb, a na istoku dio granice prolazi uz GJ Rečički lugovi.

Šumski predjel Duga Lazina – Brezje čine odjeli 88 – 91. Sastoji se od više pojedinačnih, prostorno odvojenih šumskih predjela okruženih privatnim posjedima. Odjel 88 na sjeveru graniči s GJ Jazbina – Vučjak. Zapadna granica tih predjela je rijeka Kupa, a istočna granica je cesta Mahično – Krašić.

Draganički lugovi su područje koje je redovito plavljeno (slika 3). Istočni dio šumskog predjela Visoka i krajnji istočni dio šumskog predjela Sušje su prema Mayeru (1996) izloženi visokim indirektnim poplavama iz rijeke Kupe, a zapadni dijelovi tih predjela su plavljeni kombiniranim utjecajem oborinske, bočno slivene vode i poplava iz potoka Kupčina.



Slika 2. Pregledna karta GJ Draganički lugovi (izvor: Hrvatske šume, 2024)



Slika 3. Karta opterećenosti visokim površnimskim vodama u nizinskim šumama Pokupskog bazena (Mayer, 1996)

## 3.2. Materijali i metode rada

Za analizu vodostaja vodotoka, retencije i oteretnog kanala na području istraživanja, od Hrvatskih voda su prikupljeni podaci o dnevnim vodostajima (cm) za mjerne postaje Lazina brana – Kupčina (1950-2021 godina), retencija Kupčina (2014-2017 godina), Strmac – Kupčina (1942-2021 godina), Rečica – oteretni kanal Kupa – Kupa (2009-2018 godina), Donja Kupčina – oteretni kanal Kupa – Kupa (2014-2021 godina).

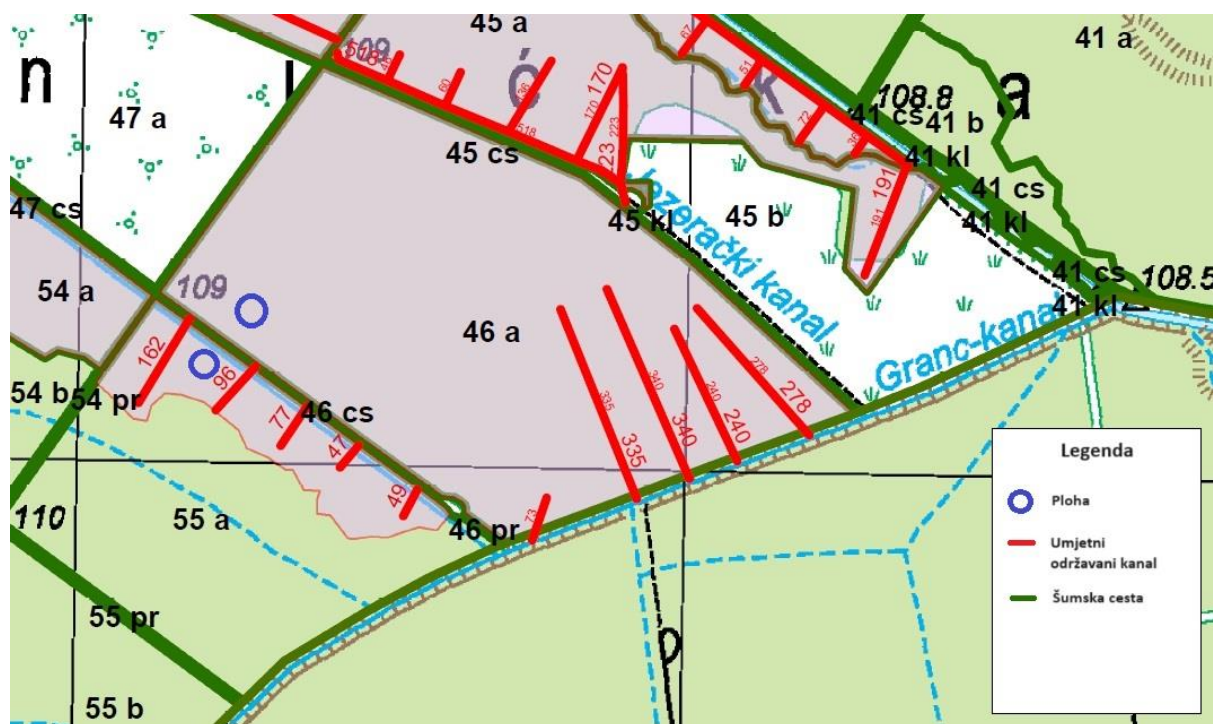
Istraživanje utjecaja kanalske mreže na mikroklimu tla i sastojine je obavljeno u odsjeku 55 a sa kanalskom mrežom i u odsjeku 46 a bez kanalske mreže. Mikroklima šumskog tla je izmjerena mjernim stanicama Spectrum 2000, model WatchDog. Mikroklima šumske sastojine i tla je izmjerena mjernom stanicom Pinova, model WiFi. Temperatura tla (°C) je mjerena na dubini od 20 cm, dok je vlaga tla (%) mjerena na dubinama 20, 40 i 60 cm. Na visini od 1,5 m iznad tla su izmjerene temperature zraka (°C), količina oborine (mm) i relativna vlaga zraka (%). Mjerenja su obavljena svakih sat vremena od 8. ožujka do 17. srpnja 2023. godine.



Slika 4. Mjerni instrumenti na plohi

Odsjek 46 a je površine 45,96 ha. Tip tla je euglej, a podtip amfiglej. Nagib terena je 1 – 2 °, a nadmorska visina 108 m. Tip fitocenoze je šuma hrasta lužnjaka i velike žutilovke s rastavljenim šašem (*Genisto elatae-Quercetum roboris caricetosum remotae* Horvat 1938) inicijalne faze razvoja. Toj fitocenozi je prethodila šuma poljskoga jasena s kasnim drijemovcem (*Leucojo-Fraxinetum angustifoliae* Glavač 1959) u terminalnoj fazi razvoja koja je zbog djelovanja gljive *Hymenoscyphus fraxineus* pretrpila značajna oštećenja i postojao je rizik od degradacije staništa. Stoga je provedena konverzija sastojine rekonstrukcijom, odnosno čistom sječom prethodne sastojine i sadnjom sadnica hrasta lužnjaka.

Odsjek 55 a je površine 26,28 ha. Tip tla je također euglej, a podtip amfiglej. Nagib terena je  $1 - 2^\circ$ ; a nadmorska visina 109 – 110 m. Istraživanje je provedeno na sjevernom dijelu odjela u kojem su prisutni plitki umjetni odvodni kanali. Tip fitocenozе je šuma hrasta lužnjaka i velike žutilovke s rastavljenim šašem (*Genisto elatae-Quercetum roboris caricetosum remotae* Horvat 1938). U ovom odsjeku je također provedena rekonstrukcija. Prethodna fitocenoza određena razini sastojine je bila ista kao sadašnja. Poljski jasen je činio više od 20 % drvne zalihe na razini sastojine, a prevladavao je u sjeverozapadnom dijelu sastojine. Hrast lužnjak i obični grab su prevladavali u južnom dijelu. Kao i u odsjeku 46 a, postojala je potreba za provođenjem rekonstrukcije sastojine.



Slika 5. Karta odsjeka 46 a i 55 a s označenim lokacijama ploha (izvor: Hrvatske šume, 2024)

Analiza trenda dnevnih vodostaja vodotoka, retencije i oteretnog kanala je napravljena uz pomoć Mann-Kendall trend testa (Mann, 1945; Kendall, 1975; Gilbert, 1987). Studentovim t testom zavisnih uzoraka je uspoređena mikroklima šumskog tla i sastojine između sastojina sa i bez kanalske mreže. Na području istraživanja su postajala tri tipa kanala u šumskoj sastojini: umjetni održavan, umjetni neodržavan i prirodni kanal. Dimenzije i vodostaji različitih tipova kanala su analizirani jednosmjernom analizom varijance (ANOVA). LSD test je korišten kao post hoc test u analizi varijance. Ukoliko je Levenov test homogenosti varijance bio statistički značajan, analiza je provedena neparametarskim Kruskal-Wallis testom. Distribucije dnevnih vodostaja vodotoka, retencije i oteretnog kanala Kupa – Kupa su testirane Kolmogorov – Smirnov testom (K-S) i Lilliefors testom. Ako je  $p < 0,05$  zaključujemo da se podaci značajno razlikuju od normalne distribucije. Ukoliko je  $p > 0,05$ , podaci su normalno distribuirani (Opčić, 2011). Korelacija vodostaja između različitih kanala, kao i korelacija vodostaja kanala sa dimenzijama kanala je napravljena uz pomoć neparametarske Spearman Rank korelacije. Svi mikroklimatski podaci su obrađeni u programu SpecWare 9. Statistička



obrada podataka (deskriptivna statistika, analiza varijance ANOVA, Kruskal Wallis test, korelacija, Studentov t test) je obrađena u programu Statistica 13 (TIBCO Software Inc. 2018). Analiza trenda dnevnih vodostaja je napravljena u programu Past 4.03 (Hammer i dr. 2001). Granica signifikantnosti podataka je iznosila  $p < 0,05$ . Potencijalna evapotranspiracija (mm) i bilanca vode u tlu su izračunati po metodi Thornthwaita (Tomić, 1988, Šimunić, 2013), do mjeseca kolovoza 2023. godine. Analize su napravljene u programu Klimasoft SE 1.1.1. (<https://github.com/mfrntic/klimasoft>).

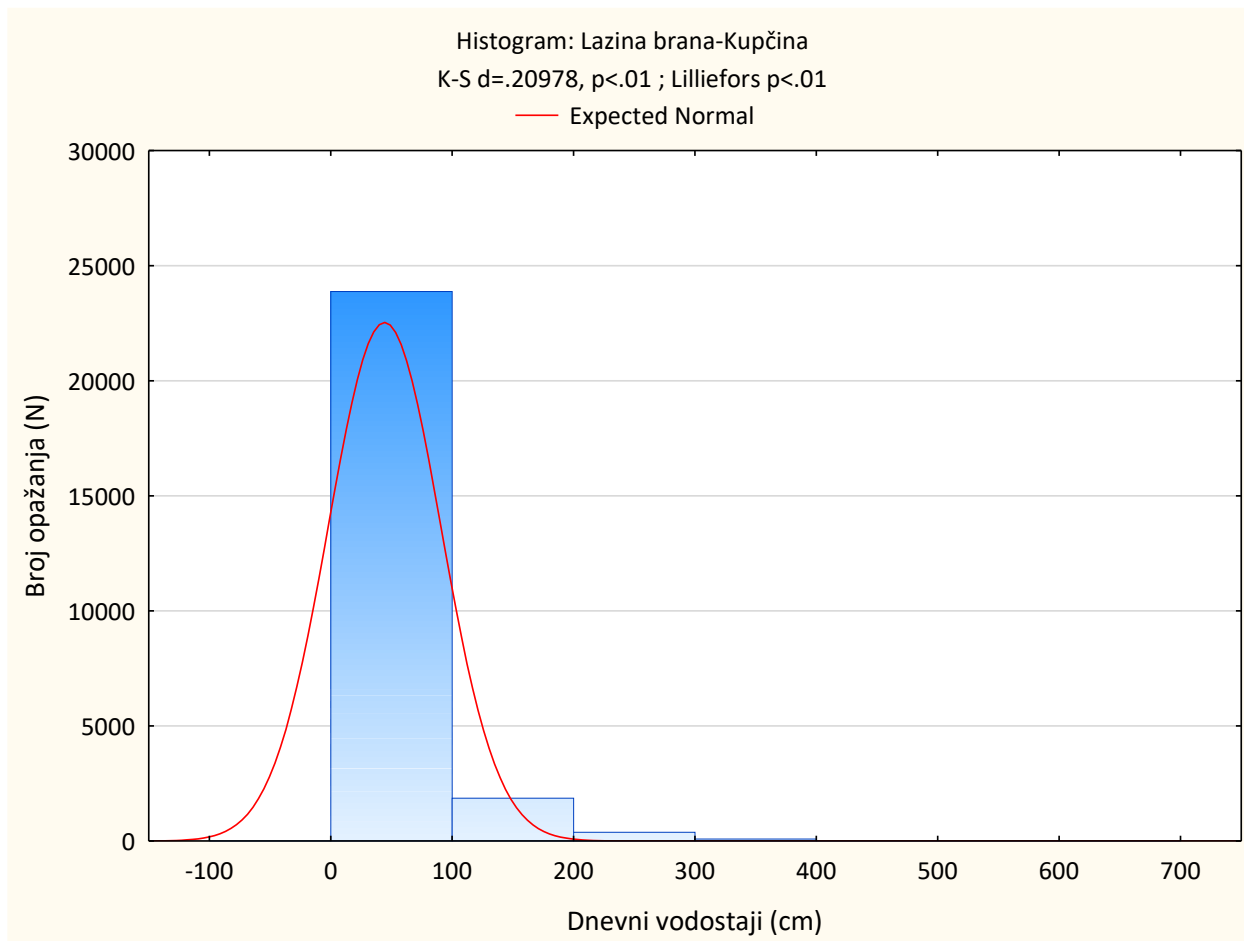
## 4. Rezultati istraživanja

### 4.1. Vodostaji vodotoka, retencije i oteretnog kanala

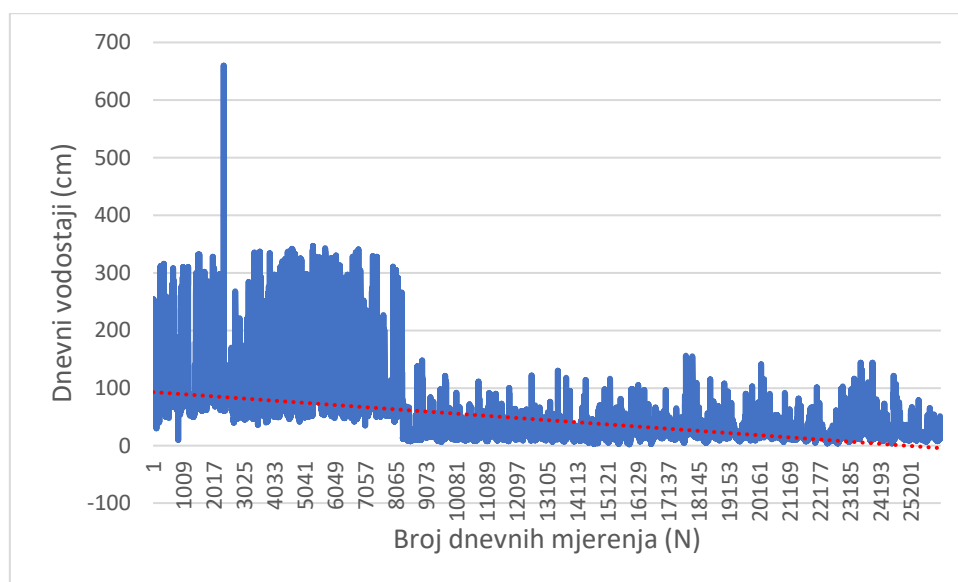
U tablici 3 je prikazana deskriptivna statistika dnevnih vodostaja vodotoka Kupčina, retencije Kupčina i oteretnog kanala Kupa-Kupa sa raznih mjernih postaja. Prosječno najveći vodostaj je bio u oteretnom kanalu Kupa-Kupa na mjernoj postaji Donja Kupčina u iznosu od 151,96 cm. Maksimalni vodostaj je također izmjeren na istoj mjernoj postaji u iznosu od 741,00 cm. Minimalni vodostaj je bio na vodotoku Kupčina, mjerna postaja Strmac u iznosu od -50,00 cm.

Tablica 3. Deskriptivna statistika dnevnih vodostaja (cm) vodotoka, retencije i oteretnog kanala

Varijable	N	Prosjek	Minimum	Maksimum	Std.Dev.
Lazina brana-Kupčina	26202	44,34	2,00	660,00	46,38
Retencija Kupčina	1448	98,31	19,00	406,00	87,66
Strmac-Kupčina	27124	10,92	-50,00	290,00	23,06
Rečica OK Kupa-Kupa	2281	68,23	-1,00	556,00	81,40
Donja Kupčina OK Kupa-Kupa	2532	151,96	54,00	741,00	120,52

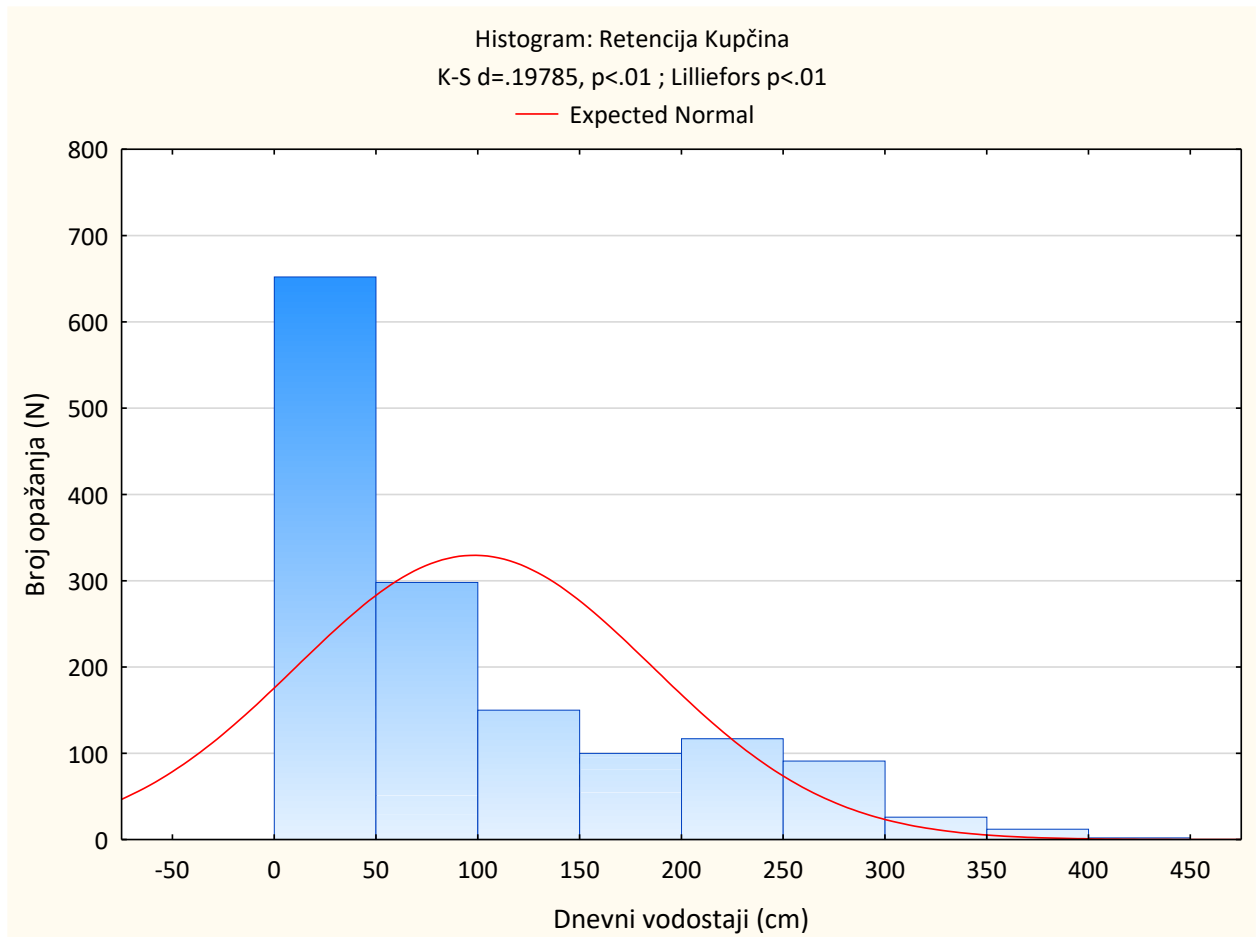


Slika 6. Broj opažanja dnevnog vodostaja za vodotok Kupčina (postaja Lazina brana)

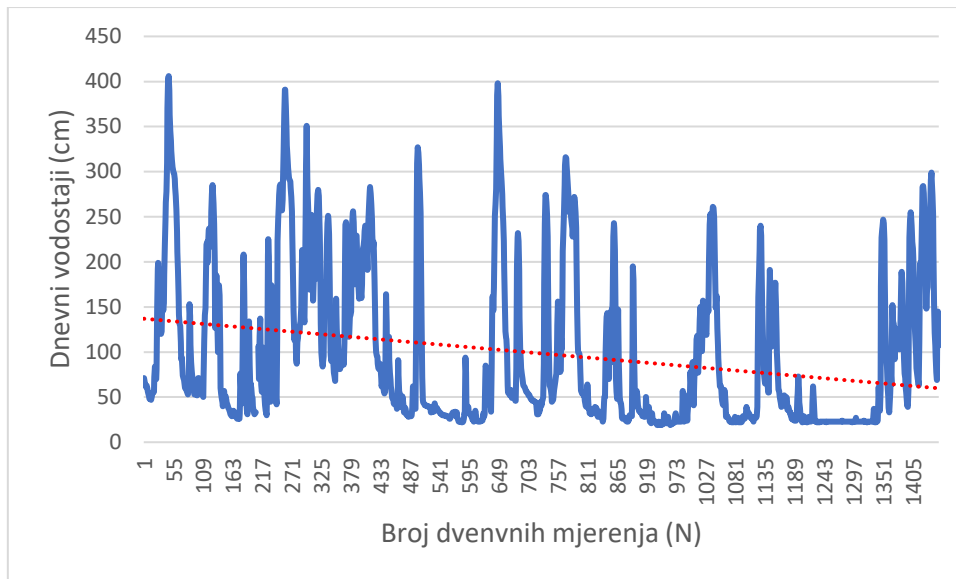


Slika 7. Trend dnevnih vodostaja vodotoka Kupčina (postaja Lazina brana)

Na slici 6 je prikazan broj opažanja dnevnog vodostaja za vodotok Kupčina, mjerna postaja Lazina brana, a na slici 7 trend dnevnih vodostaja na vodotoku Kupčina, mjerna postaja Lazina brana. Prema rezultatima Mann-Kendall trend testa postoji statistički značajan trend pada dnevnih vodostaja (cm),  $p < 0,01$ , a prema K-S i Lilliefors testu, distribucija podataka je značajno različita od normalne.

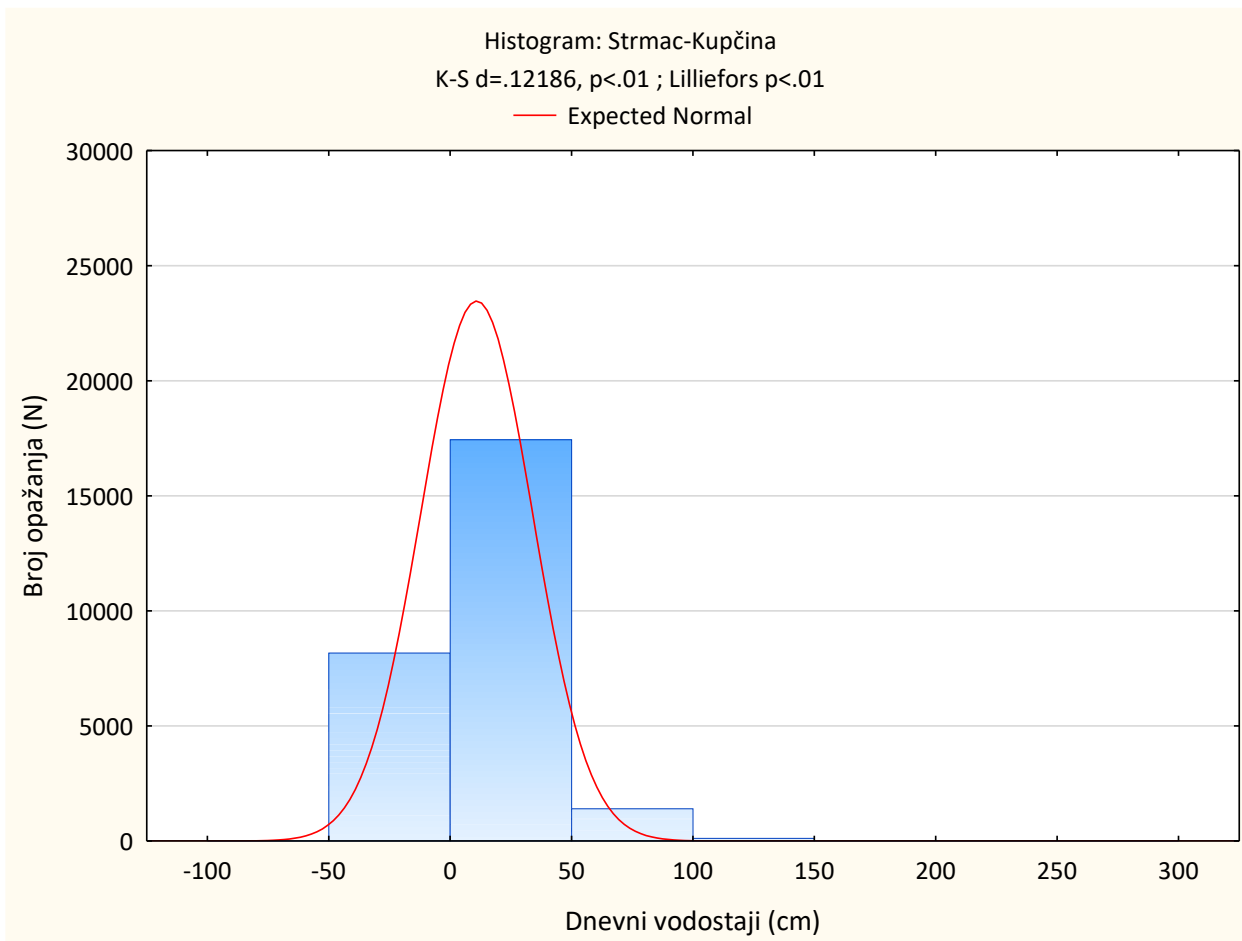


Slika 8. Broj opažanja dnevnog vodostaja za retenciju Kupčina

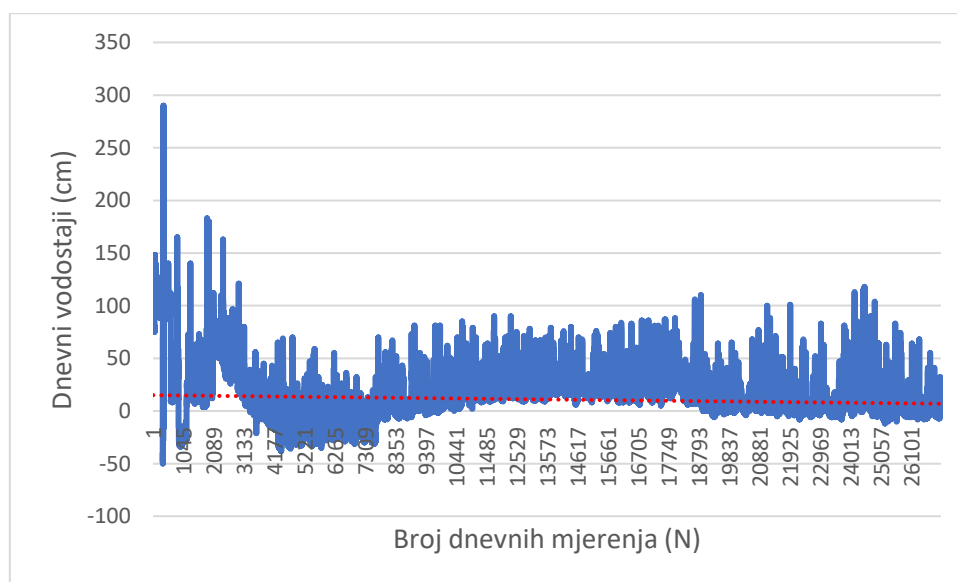


Slika 9. Trend dnevnih vodostaja retencije Kupčina

Slika 8 prikazuje broj opažanja dnevnog vodostaja za retenciju Kupčina, a slika 9 prikazuje trend dnevnih vodostaja (cm) za retenciju Kupčina. U retenciji Kupčina je prisutan statistički značajan trend smanjivanja dnevnog vodostaja,  $p < 0,01$ , a distribucija podataka o broju dnevnih opažanja je statistički značajno različita od normalne.

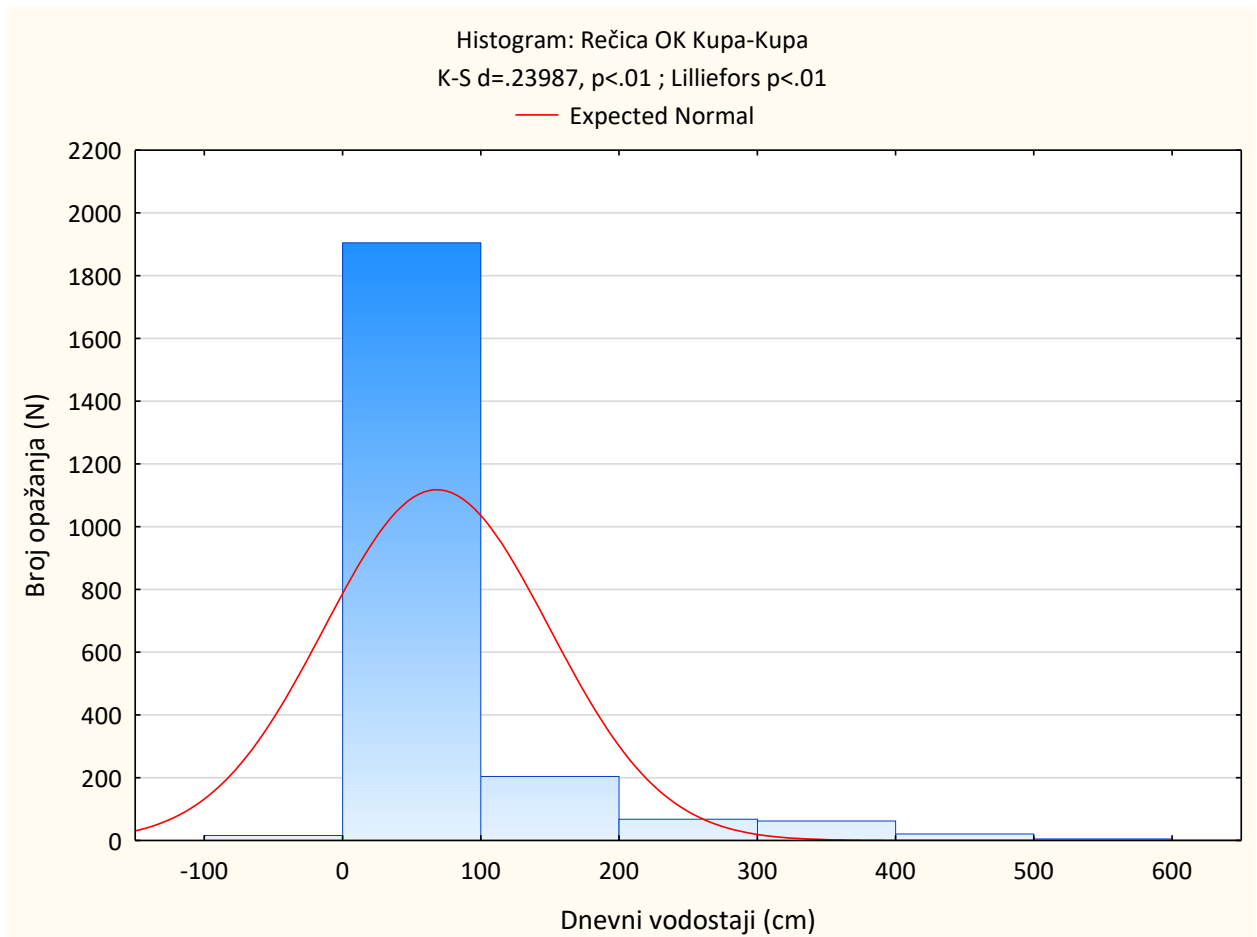


Slika 10. Broj opažanja dnevnog vodostaja za vodotok Kupčina (postaja Strmac)

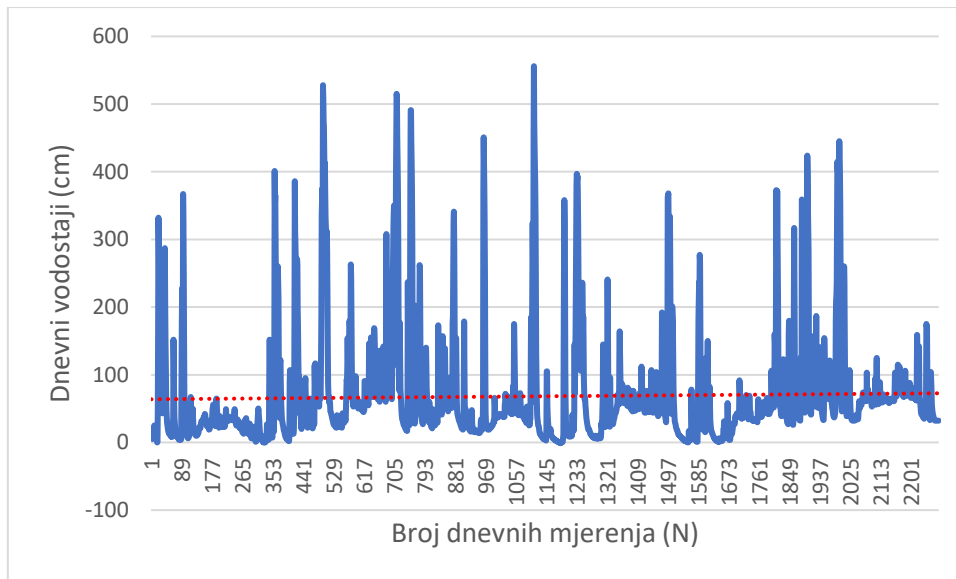


Slika 11. Trend dnevnih vodostaja za vodotok Kupčina (postaja Strmac)

Slika 10 prikazuje broj opažanja dnevnog vodostaja, a slika 11 prikazuje trend dnevnih vodostaja za vodotok Kupčina, mjernu postaju Strmac. Rezultati K-S i Lilliefors testova pokazuju statistički značajnu razliku od normalne distribucije, a rezultati Mann-Kendall trend testa pokazuju statistički značajno smanjenje dnevnih vodostaja,  $p < 0,01$ .



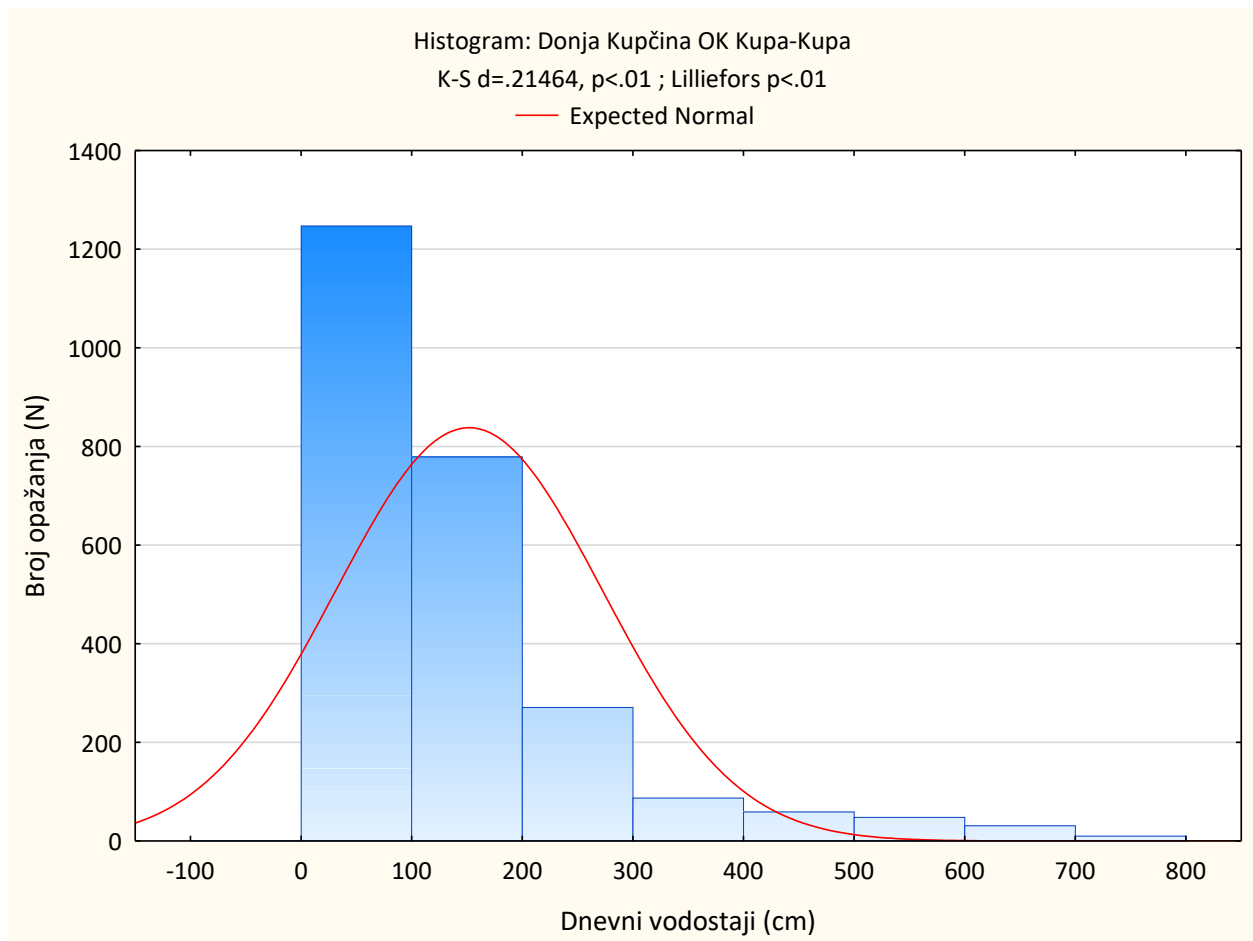
Slika 12. Broj opažanja dnevnog vodostaja oteretnog kanala Kupa – Kupa (postaja Rečica)



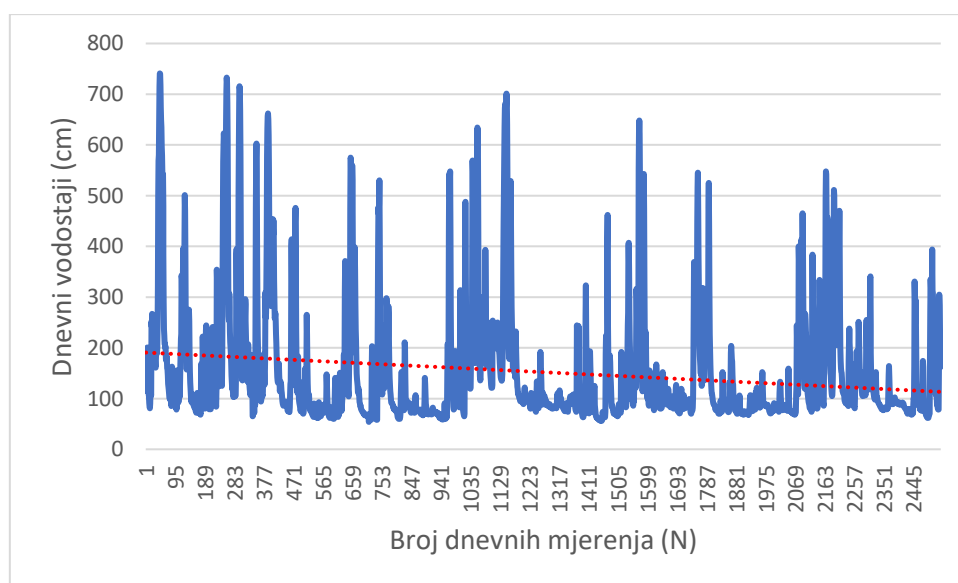
Slika 13. Trend dnevnih vodostaja oteretnog kanala Kupa – Kupa (postaja Rečica)

Broj opažanja dnevnog vodostaja u oteretnom kanalu Kupa-Kupa na postaji Rečica je prikazan na slici 12, a trend dnevnih vodostaja na slici 13. K-S i Lilliefors test pokazuju da je distribucija podataka statistički značajna od normalne. Suprotno dosadašnjim rezultatima trenda dnevnih vodostaja, na mjernoj postaji Rečica je prisutan statistički značajan trend povećanja dnevnih vodostaja,  $p < 0,01$ .





Slika 14. Broj opažanja dnevnog vodostaja oteretnog kanala Kupa – Kupa (postaja Donja Kupčina)



Slika 15. Trend dnevnih vodostaja oteretnog kanala Kupa – Kupa (postaja Donja Kupčina)

Na slici 14 je prikazan broj opažanja dnevnog vodostaja, a na slici 15 trend dnevnih vodostaja u oteretnom kanalu Kupa-Kupa, mjernoj postaji Donja Kupčina. Rezultati K-S i Lilliefors testa pokazuju da je distribucija podataka statistički značajno različita od normalne, a rezultati Mann-Kendall trend testa ukazuju na statistički značajno smanjenje visine dnevnih vodostaja,  $p < 0,01$ .

Tablica 4. Spearman Rank korelacije dnevnih vodostaja vodotoka, retencije i oteretnog kanala

Varijabla	Lazina brana-Kupčina	Retencija Kupčina	Strmac-Kupčina	Rečica OK Kupa-Kupa	Donja Kupčina OK Kupa-Kupa
Lazina brana-Kupčina	1,00	0,16	-0,21	0,06	0,05
Retencija Kupčina	0,16	1,00	0,19	0,02	0,40
Strmac-Kupčina	-0,21	0,19	1,00	-0,07	0,09
Rečica OK Kupa-Kupa	0,06	0,02	-0,07	1,00	-0,13
Donja Kupčina OK Kupa-Kupa	0,05	0,40	0,09	-0,13	1,00

Dnevni vodostaji vodotoka Kupčina, retencije Kupčina i oteretnog kanala Kupa-Kupa međusobno koreliraju, pokazujući da svi skupa čine jednu hidrološku cjelinu na području istraživanja (tablica 4). Izuzetak čine dnevni vodostaji retencije Kupčina i oteretnog kanala Kupa-Kupa na mjernoj postaji Rečica gdje nije utvrđena korelacija. Statistički značajne korelacije su uglavnom pozitivne s izuzetkom korelacije između mjernih postaja Lazina brana i Strmac na vodotoku Kupčina. Također postojala je negativna korelacija između vodostaja vodotoka Kupčina (mjerna postaja Strmac) i oteretnog kanala Kupa-Kupa (mjerna postaja Rečica), ali ova korelacija je po snazi vrlo slaba.

## 4.2. Mreža kanala u šumskoj sastojini

Tablica 5. Deskriptivna statistika dubine kanala (cm) u šumskoj sastojini

Tip kanala	N	Prosjek	Std.Dev	Std.Pogreška
Umjetni održavan	11	41,36	10,08	3,04
Umjetni neodržavan	10	29,30	7,63	2,41
Prirodni	5	13,80	2,68	1,20

U tablici 5 je prikazana deskriptivna statistika dubina različitih tipova kanala u šumskoj sastojini na području istraživanja. Prosječna dubina umjetnog održavanog kanala je iznosila 41,36 cm, umjetno neodržavanog kanala 29,30 cm, a prirodni kanal je bio najplići sa prosječnom dubinom od 13,80 cm.

Tablica 6. Rezultat ANOVA za dubinu kanala

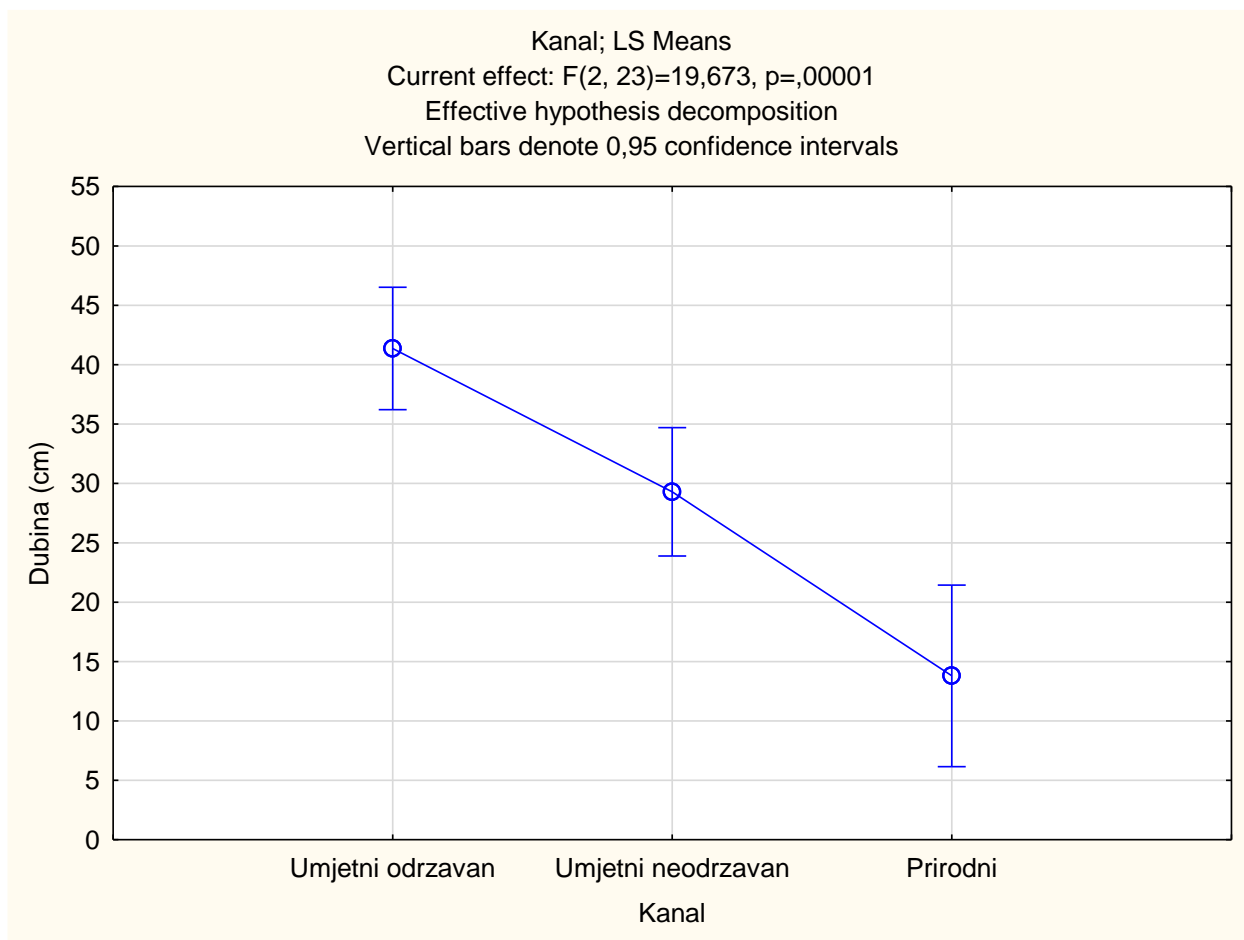
Univariate Tests of Significance for Dubina (cm) (Dimenzije kanala) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. Freedom	MS	F	p
Intercept	18250,04	1	18250,04	267,4517	0,000000
Kanal	2684,90	2	1342,45	19,6734	0,000010
Error	1569,45	23	68,24		

Prema rezultatima jednosmjerne analize varijance, postojala je statistički značajna razlika u dubinama različitih tipova kanala (tablica 6).

Tablica 7. Post hoc LSD test za dimenziju dubina kanala

LSD test; variable Dubina (cm) (Dimenzije kanala) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 68,237, df = 23,000				
Cell No.	Kanal	{1} 41,364	{2} 29,300	{3} 13,800
1	Umjetni održavan		0,003	0,000
2	Umjetni neodržavan	0,003		0,002
3	Prirodni	0,000	0,002	

Rezultatom post hoc LSD testa su ustanovljene razlike kod sva tri tipa kanala u šumskoj sastojini (tablica 7).



Slika 16. Prosječne dubine kanala u šumskoj sastojini

Dubine kanala su se smanjivale od umjetnog održavanog kanala, preko umjetno neodržavanog kanala do prirodnog kanala (slika 16). Statistički značajno najveću dubinu je imao umjetni održavan kanal, a najmanju je imao prirodni kanal.

Tablica 8 prikazuje deskriptivnu statistiku širine tri različita tipa kanala u šumskoj sastojini. Umjetno održavan kanal je imao prosječnu širinu od 114,72 cm. Umjetno neodržavan kanala je prosječno bio širok 121,90 cm. Najuži je bio prirodni kanal u iznosu od 107,00 cm.

Tablica 8. Deskriptivna statistika širine kanala (cm) u šumskoj sastojini

Tip kanala	N	Prosjek	Std.Dev.	Std.Pogreška
Umjetni održavan	11	114,73	20,00	6,03
Umjetni neodržavan	10	121,90	24,27	7,67
Prirodni	5	107,00	17,89	8,00

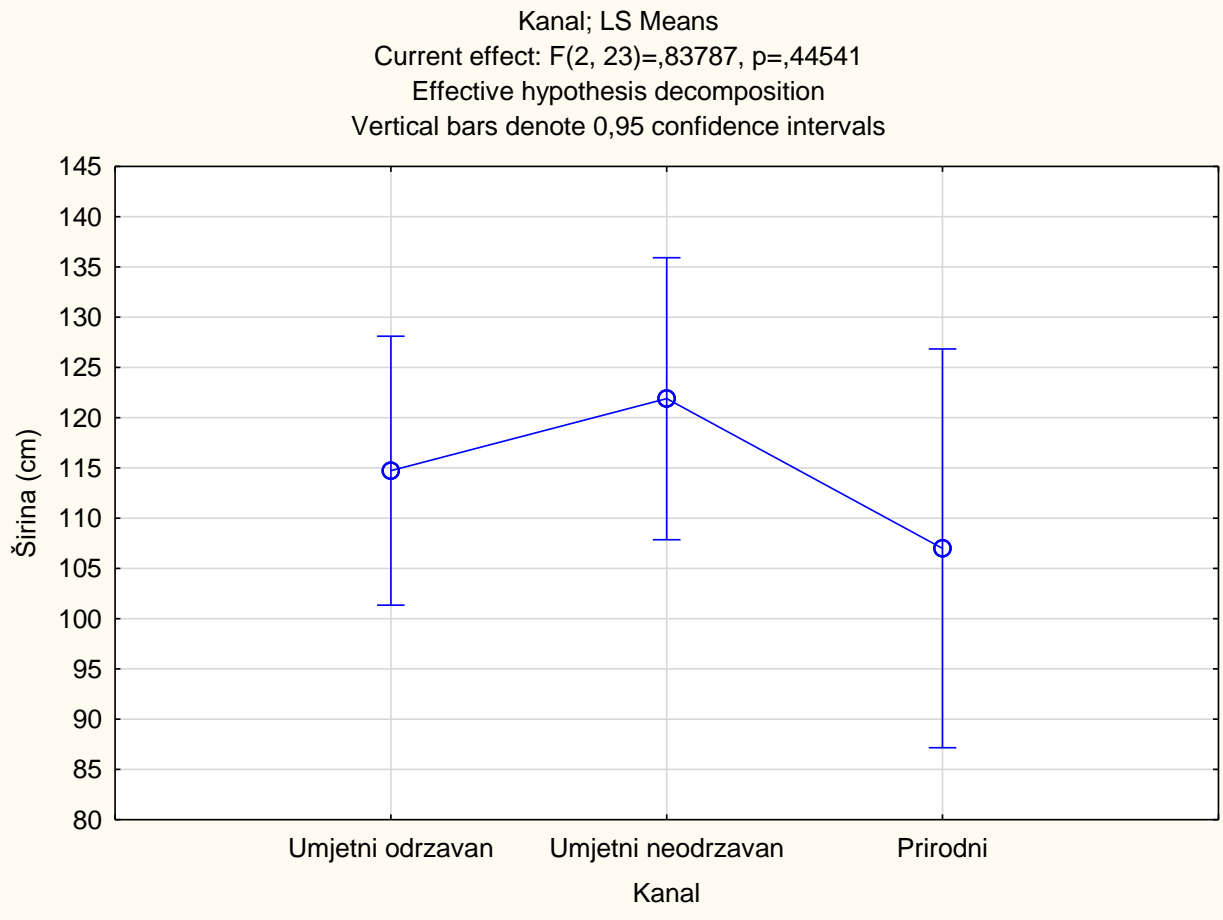
Tablica 9. Rezultat ANOVA za širinu kanala

Univariate Tests of Significance for Širina (cm) (Dimenzije kanala) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
Effect	SS	Degr. Freedom	MS	F	p
Intercept	302064,4	1	302064,4	656,59	0,00
Kanal	770,9	2	385,5	0,84	0,45
Error	10581,1	23	460,0		

Tablica 10. Post hoc LSD test za dimenziju širine kanala

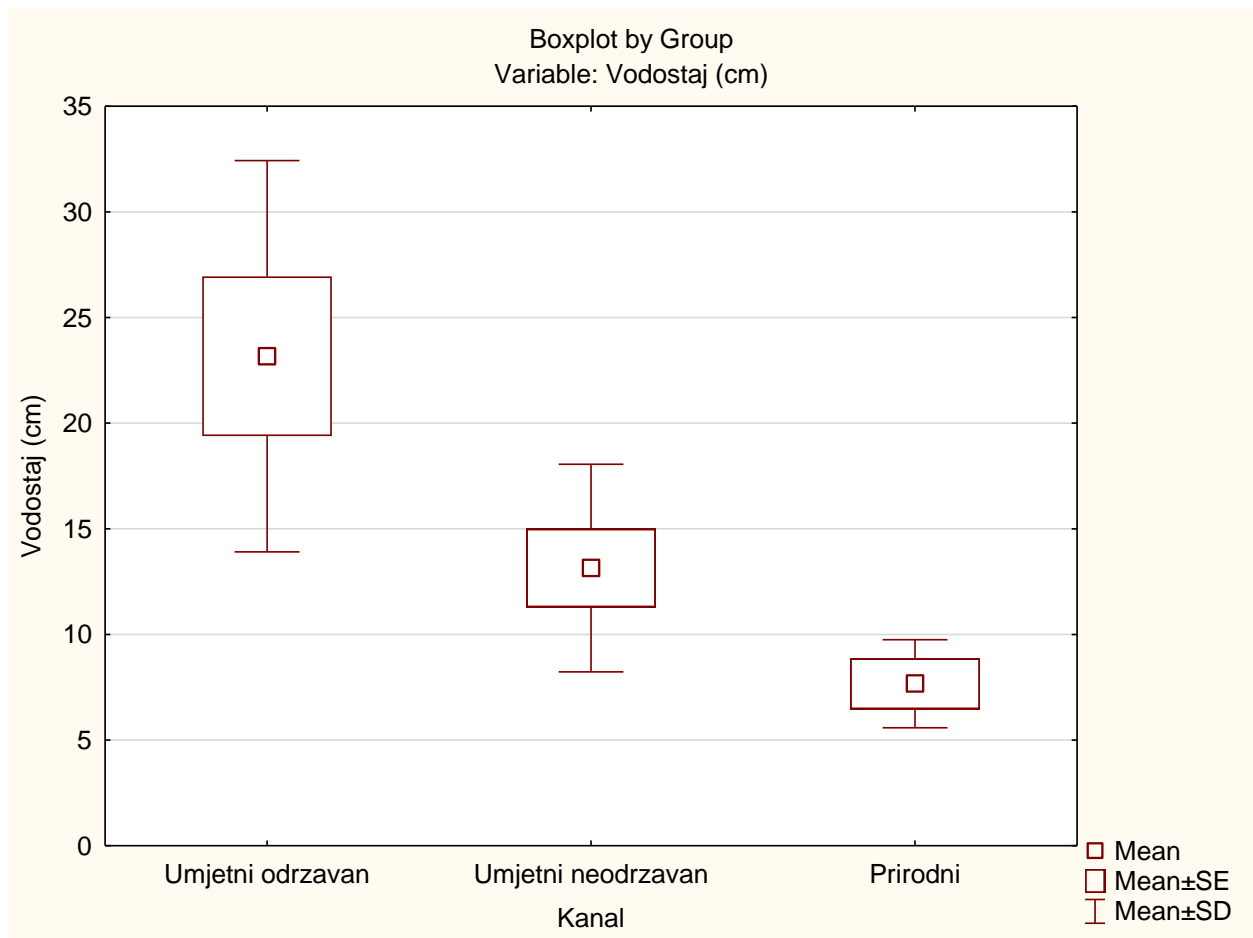
LSD test; variable Širina (cm) (Dimenzije kanala) Probabilities for Post Hoc Tests Error: Between MS = 460,05, df = 23,000				
Cell No.	Kanal	{1}	{2}	{3}
1	Umjetni održavan	114,73	121,90	107,00
2	Umjetni neodržavan	0,45	0,45	0,22
3	Prirodni	0,51	0,22	

Rezultatom jednosmjerne analize varijance nisu utvrđene statistički značajne razlike u širinama kanala (tablice 9 i 10).



Slika 17. Prosječne širine kanala u šumskoj sastojini

Širina umjetnih kanala je određena širinom radnog alata stroja koji radi na održavanju kanala, dok je širina prirodnog kanala, odnosno vodotoka određena geomorfologijom područja.



Slika 18. Deskriptivna statistika vodostaja kanala u šumskoj sastojini tijekom travnja 2023. godine

Na slici 18 je prikazana deskriptivna statistika dnevnih vodostaja na području istraživanja. Prosječni vodostaj umjetnog i održavanog kanala je iznosio 23,16 cm, a umjetno neodržavanog kanala je bio u iznosu od 13,14 cm. Prosječni vodostaj prirodnog kanala odnosno vodotoka je iznosio 7,66 cm.

Tablica 11. Rezultati Kruskal-Wallis testa za vodostaje kanala u mjesecu travnju

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Vodostaj (cm) (Vodostaj - kanali) Independent (grouping) variable: Kanal Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 16) =7,572693 p =,0227				
Depend.:	Code	Valid N	Sum of Ranks	Mean Rank
Vodostaj (cm)				
Umjetni održavan	101	6	73,000	12,167
Umjetni neodržavan	102	7	53,500	7,643
Prirodni	103	3	9,500	3,167

Rezultatom Kruskal-Wallis testa utvrđena je razlika u vodostajima između različitih tipova kanala i prirodnog vodotoka (tablica 11).

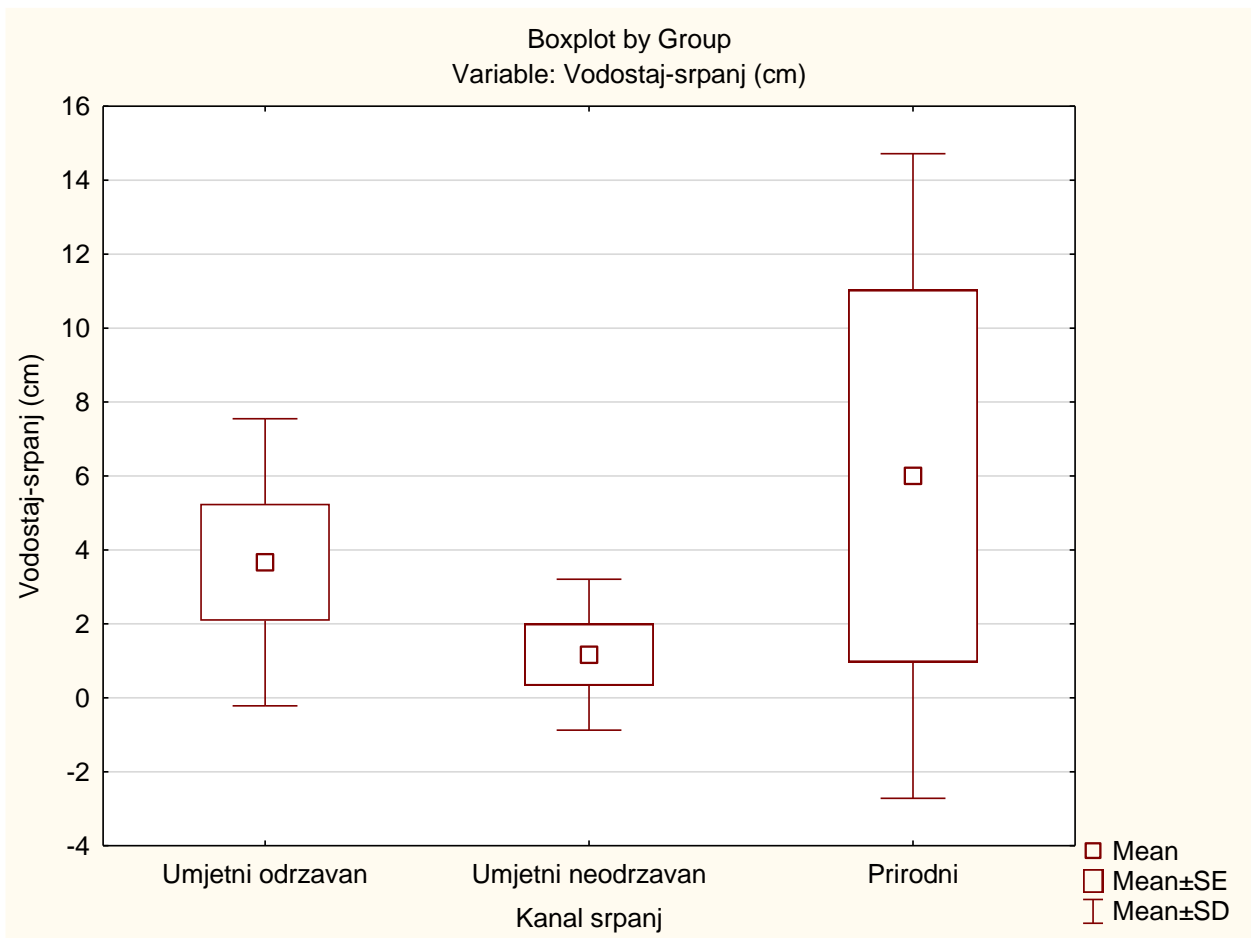
Utvrđena je statistički značajna razlika u vodostaju prirodnog kanala odnosno vodotoka u odnosu na umjetni održavan kanal,  $p=0,022$  (tablica 11).

Tablica 12. Usporedba p vrijednosti za vodostaje kanala (Kruskal-Wallis test)

Variable	Spearman Rank Order Correlations (Vodostaj kanala - korelacija) MD pairwise deleted Marked correlations are significant at $p <,05000$		
	Umjetni održavan	Umjetni neodržavan	Prirodni
Umjetni održavan	1.000	0.493	0.120
Umjetni neodržavan	0.493	1.000	0.243
Prirodni	0.120	0.243	1.000

Tablica 12 prikazuje korelacije vodostaja između različitih kanala i prirodnog vodotoka u šumskoj sastojini. Postojala je statistički značajna korelacija između vodostaja u umjetnom održavanom i umjetnom neodržavanom kanalu ( $r=0,49^*$ ). Nije bilo korelacije vodostaja u prirodnom vodotoku sa umjetnim kanalima.





Slika 19. Deskriptivna statistika vodostaja kanala u šumskoj sastojini tijekom srpnja 2023. godine

Na slici 19 je prikazana deskriptivna statistika vodostaja kanala i prirodnog vodotoka u šumskoj sastojini tijekom mjeseca srpnja. Prosječni vodostaj u umjetnom i održavanom kanalu je bio 3,66 cm. Vodostaj u umjetnom i neodržavanom kanalu je uznosio 1,16 cm. Prirodni vodotok je imao prosječan vodostaj u iznosu od 6,00 cm tijekom mjeseca srpnja.

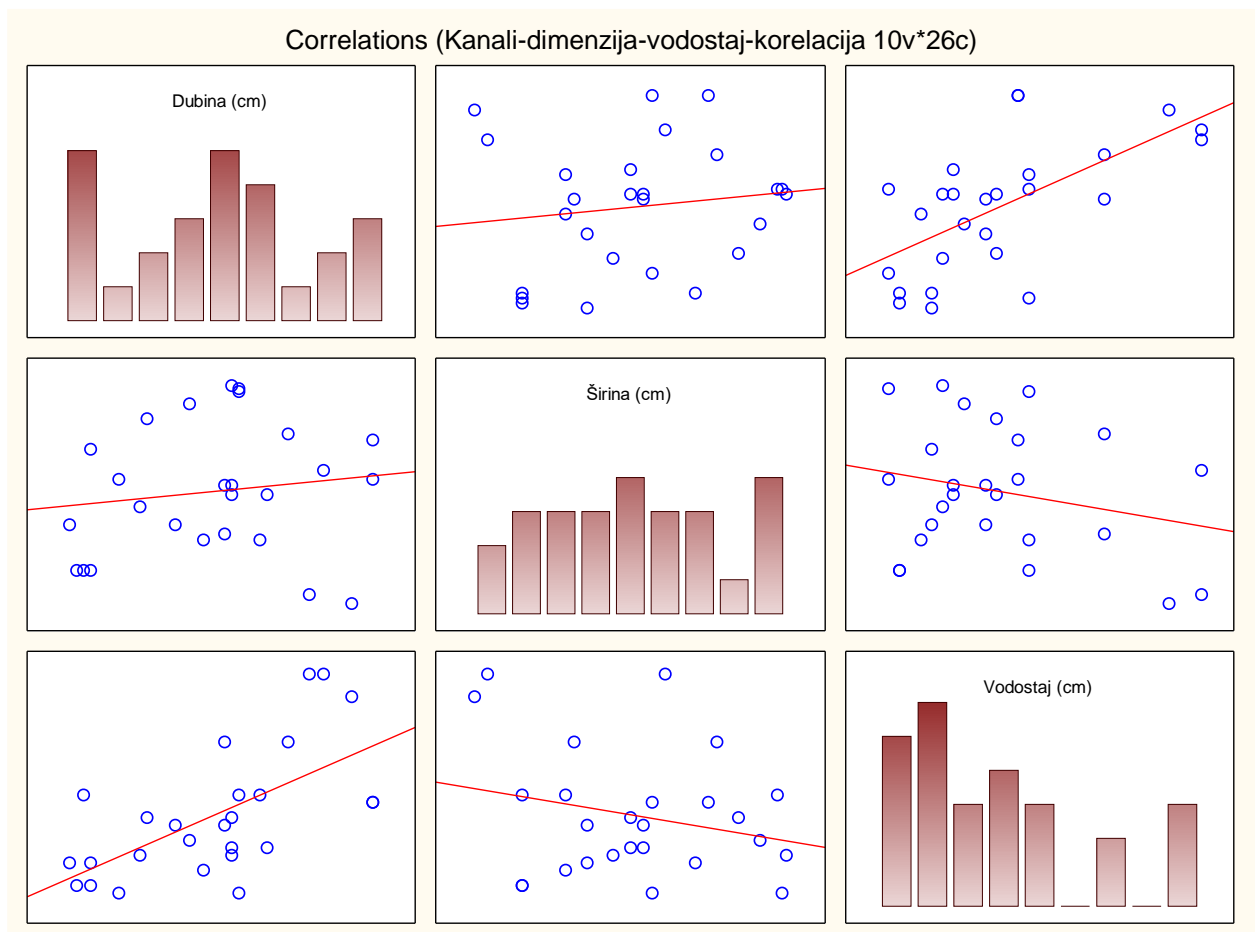
Tablica 13. Rezultati Kruskal-Wallis testa za vodostaje kanala u mjesecu srpnju

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; Vodostaj-srpanj (cm) (Vodostaj - kanali)				
Depend.:	Independent (grouping) variable: Kanal srpanj Kruskal-Wallis test: H ( 2, N= 15)			
Vodostaj-srpanj (cm)	=1,885333 p =,3896			
	Code	Valid N	Sum Ranks	of Mean Rank
Umjetni održavan	101	6	55,000	9,167
Umjetni neodržavan	102	6	37,000	6,167
Prirodni	103	3	28,000	9,333

Prema rezultatima Kruskal-Wallis testa (tablica 13) nisu postojale statistički značajne razlike u vodostaju kanala i prirodnog vodotoka tijekom mjeseca srpnja 2023. godine ( $p=0,3896$ ).

Tablica 14. Korelacije vodostaja kanala sa dimenzijama kanala

Variable	Spearman Rank Order Correlations (Kanali-dimenzija-vodostaj-korelacija) MD pairwise deleted Marked correlations are significant at $p < ,05000$		
	Dubina (cm)	Širina (cm)	Vodostaj (cm)
Dubina (cm)	1,000	0,202	<b>0,612</b>
Širina (cm)	0,202	1,000	-0,125
Vodostaj (cm)	<b>0,612</b>	-0,125	1,000



Slika 20. Spearman Rank korelacije vodostaja kanala sa dimenzijama kanala

Vodostaj kanala je statistički značajno korelirao s dubinom kanala,  $r=0,61^*$  (tablica 14, slika 20). To je očekivano s obzirom da je vodostaj svih vodnih tijela određen njihovom dubinom.

### 4.3. Mikroklima šumskog tla

Mikroklimatska mjerenja šumskog tla su obavljena od ožujka do srpnja 2023. godine. U tom periodu minimalne temperature tla su bile 6,40 °C u sastojini sa kanalskom mrežom te 6,50 °C u sastojini bez kanalske mreže. Maksimalne temperature tla na 20 cm dubine su bile 23,30 °C u sastojini sa kanalima i 25,70 °C u sastojini bez kanala (tablica 15).

Tablica 15. Deskriptivna statistika temperature tla (°C)

Varijabla	N	Prosjek	Minimum	Maksimum	Std.Dev.
Kanal temp tla 20 cm (°C)	2945	14,93	6,40	23,30	4,62
Bez kanala temp tla 20 cm (°C)	2945	14,91	6,50	25,70	5,27

Tablica 16. Rezultat Studentovog t testa za temperature tla (°C)

Varijabla	Prosjek	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p
Kanal temp tla 20 cm (°C)	14,93	4,62						
Bez kanala temp tla 20 cm (°C)	14,91	5,27	2945	0,02	1,18	0,92	2944	0,357

Nisu postojale statistički značajne razlike u srednjim temperaturama tla (°C) na 20 cm dubine između sastojine sa kanalima i sastojine bez kanala (tablica 16).

Tablica 17. Deskriptivna statistika volumetrijske vlage tla (%) na 20 cm dubine

	N	Prosjek	Minimum	Maksimum	Std.Dev.
Kanal VWC 20 cm (%)	2945	28,44	16,80	34,90	2,05
Bez kanala VWC 20 cm (%)	2945	38,08	34,20	39,70	1,27

Volumetrijska vlaga tla na dubini od 20 cm u sastojini sa kanalima je bila u rasponu od minimalnih 16,80 % do maksimalnih 34,90 %. U sastojini bez kanala, raspon volumetrijske vlage tla je bio od 34,20 % do 39,70 % (tablica 17).

Tablica 18. Rezultat Studentovog t testa volumetrijske vlage (%) tla na dubini 20 cm

Varijabla	Prosjek	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p
Kanal VWC 20 cm (%)	28,44	2,05						
Bez kanala VWC 20 cm (%)	38,08	1,27	2945	-9,64	2,12	-246,88	2944	0,000

Prosječna volumetrijska vlaga tla u sastoji sa kanalima na 20 cm dubine je iznosila 28,44 % i bila je statistički značajno manja u odnosu na volumetrijsku vlagu tla u sastojini bez kanala u iznosu od 38,08 % (tablica 18).

Tablica 19. Deskriptivna statistika volumetrijske vlage tla (%) na dubini od 40 cm

Varijabla	N	Prosjek	Minimum	Maksimum	Std.Dev.
Kanal VWC 40 cm (%)	2945	33,44	24,50	36,30	1,73
Bez kanala VWC 40 cm (%)	2945	46,68	34,90	100,00	20,14

Raspon volumetrijske vlage tla na dubini od 40 cm u sastoji sa kanalskom mrežom je bio od 24,50 % do 36,30 %. Raspon odnosno amplituda volumetrijske vlage tla u sastojini bez kanala je bila mnogo veća i kretala se u rasponu od minimalnih 34,90 % do maksimalnih 100 % (tablica 19).

Tablica 20. Rezultat Studentovog t testa za volumetrijsku vlagu tla (%) na dubini od 40 cm

Varijabla	Prosjek	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p
Kanal VWC 40 cm (%)	33,44	1,73						
Bez kanala VWC 40 cm (%)	46,68	20,14	2945	-13,24	20,16	-35,64	2944	0,000

U sastojini sa kanalima, prosječna volumetrijska vlaga tla na dubini od 40 cm je iznosila 33,43 %. U sastojini bez kanala prosječna volumetrijska vlaga tla je bila 46,68 %. Prema rezultatu Studentovog t testa ova razlika u prosječnoj vlazi tla na dubini od 40 cm je bila i statistički značajna (tablica 20).

Tablica 21. Deskriptivna statistika volumetrijske vlage tla (%) na dubini od 60 cm

Varijabla	N	Prosjeak	Minimum	Maksimum	Std.Dev.
Kanal VWC 60 cm (%)	2945	33,70	1,90	36,10	2,53
Bez kanala VWC 60 cm (%)	2945	30,47	18,80	33,30	2,28

Minimalna vlaga tla u sastojini s kanalima na dubini od 60 cm je iznosila 1,90 %, a maksimalna 36,10 %. Minimalna vlaga tla u sastojini bez kanala je iznosila 18,80 %, a maksimalna 33,30 % (tablica 21).

Tablica 22. Rezultat Studentovog t testa volumetrijske vlage tla (%) na dubini od 60 cm

Varijabla	Prosjeak	Std.Dv.	N	Diff.	Std.Dv. Diff.	t	df	p
Kanal VWC 60 cm (%)	33,70	2,53						
Bez kanala VWC 60 cm (%)	30,47	2,28	2945	3,23	1,45	121,15	2944	0,000

Na dubini od 60 cm, volumetrijska vlaga tla u sastojini bez kanala je bila 30,46 % i bila je statistički značajno manja u odnosu na vlagu tla u sastojini bez kanala u iznosu od 33,70 % (tablica 22). Najmanje razlike u prosječnim veličinama vlage tla između sastojina sa kanalima i bez kanala su bile na dubini od 60 cm. Melioracijski kanali u sastojini sa kanalima su manje dubine od 60 cm, pa vjerojatno su i zbog toga razlike u prosječnoj vlazi tla na dubini od 60 cm najmanje.

#### 4.4. Mikroklima šumske sastojine

Podaci o mikroklimi šumske sastojine su prikupljeni Pinova WiFi mjernim stanicama. Te mjerne stanice dolaze u više izvedbi s različitim paketima opreme. Vrše očitavanja temperature (°C) i relativne vlage zraka (%), odnosno temperature (°C) i vlage tla (cb) svakih 9 minuta, a također nude pristup informacijama o dnevnim prosjecima, apsolutnim minimumima i maksimumima te dnevnoj količini oborina. Za potrebe istraživanja su korišteni dnevni prosjeci temperature i vlage zraka te dnevni podaci o oborinama. Rezultati su prikazani po mjesecima.

Prosječna mjesečna temperatura zraka u ožujku je bila 9,30 °C. Minimalna prosječna dnevna temperatura zraka je bila 3,40°C, a maksimalna 13,90 °C. Prosječna relativna vlaga zraka je bila 72,82 %, a ukupna mjesečna količina oborina je bila 57,2 mm. Treba uzeti u obzir da su mjerenja počela 8. ožujka i da zato ne predstavljaju stvarne mjesečne prosjeke.

Prosječna mjesečna temperatura zraka u travnju je bila 10,11 °C. Vrijednost minimalne prosječne dnevne temperature zraka je iznosila 3,40 °C, a zabilježena je 5. travnja. Apsolutna minimalna temperatura je taj dan bila ispod 0 °C. Maksimalna prosječna dnevna temperatura je bila 15,30 °C, prosječna relativna vlaga zraka je bila 76,99 %. U travnju je ukupno palo 123,1 mm oborina.

Prosječna mjesečna temperatura zraka u svibnju je bila 15,49 °C. Minimalna prosječna dnevna temperatura zraka je bila značajno veća od prethodnih mjeseci, a iznosila je 11,80 °C. Izmjerena maksimalna prosječna dnevna temperatura je iznosila 20,40 °C. Prosječna relativna vlaga zraka je bila najveća od svih mjeseci, a iznosila je 84,64 %. Svibanj je također bio najkišovitiji mjesec, a izmjerena ukupna mjesečna količina oborina je bila 154,9 mm.

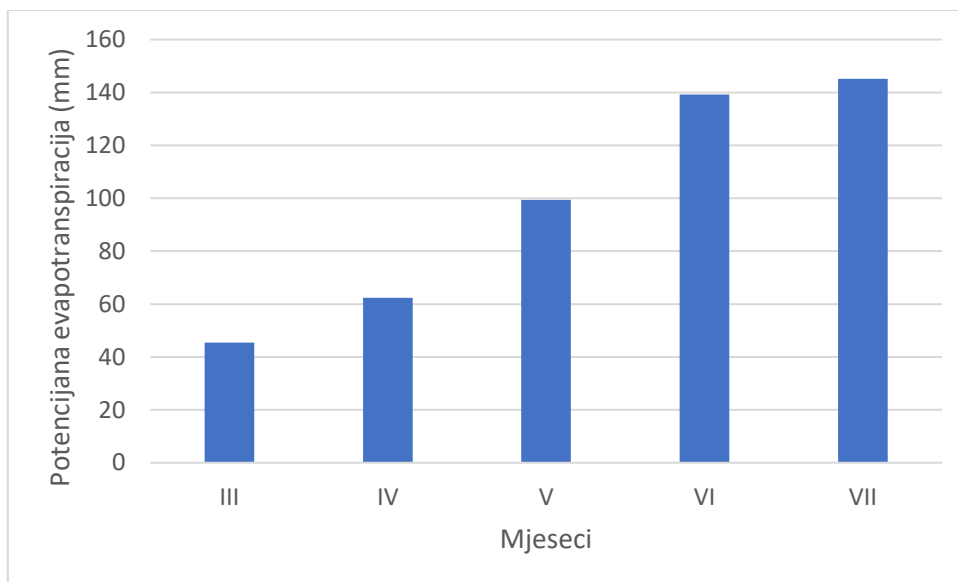
Lipanj je prosječna mjesečna temperatura zraka je bila 20,12 °C. Minimalna prosječna dnevna temperatura zraka je iznosila 17,10 °C. Maksimalna prosječna dnevna temperatura je iznosila 26,80 °C. Prosječna relativna vlaga zraka je bila 78,32 %. Ukupna mjesečna količina oborina je bila 67,6 mm.

Prikupljanje podataka je trajalo do 17. srpnja. U tom razdoblju se srpanj pokazano najtoplijim mjesecom s prosječnom dnevnom temperaturom zraka od 22,79 °C, minimalnom dnevnom prosječnom temperaturom zraka u iznosu 19,80 °C, a maksimalnom u iznosu od 27,00 °C. Prosječna vlažnost zraka je bila 81,02 %, a do završetka mjerenja je palo 41,8 mm oborina.

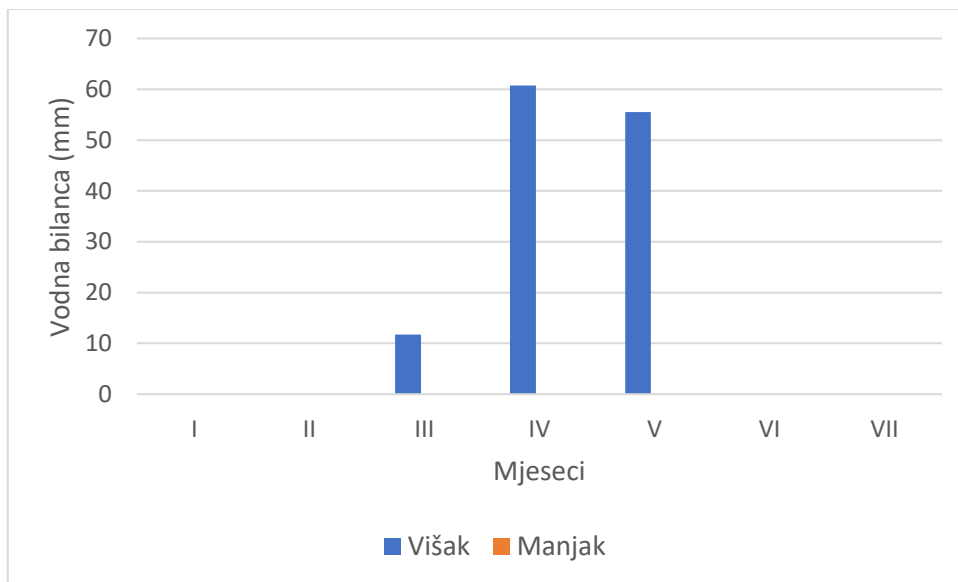
Ukupna količina oborina tijekom mjerenja je iznosila 444,6 mm.

## 4.5. Potencijalna evapotranspiracija i vodna bilanca tla

Na slici 21. su prikazani mjesečni iznosi potencijalne evapotranspiracije (mm) na području istraživanja. S povećanjem temperature zraka povećavao se i iznos potencijalne evapotranspiracije. Od ožujka do srpnja 2023. godine ukupni iznos potencijalne evapotranspiracije je iznosio 491,48 mm. Najmanji iznos je bio u mjesecu ožujku, 45,44mm, a najveći u mjesecu srpnju u iznosu od 145,18 mm.



Slika 21. Potencijalna evapotranspiracija na području istraživanja



Slika 22. Vodna bilanca tla na području istraživanja

Na slici 2. je prikazana vodna bilanca tla na području gospodarske jedinice "Draganički lugovi". Analiza se odnosi na vremensko razdoblje od 18. ožujka do 17. srpnja 2023. Tijekom

analiziranog razdoblja nije bilo manjka vode u tlu. Višak vode u ožujku je iznosio 11,76 mm, u travnju 60,78 mm, a u svibnju 55,55 mm vode.



## 5. Rasprava

Analizom podataka o vodostajima vodotoka u okolici područja istraživanja je utvrđen statistički značajan trend smanjivanja dnevnih vodostaja. Taj trend ukazuje na vjerojatnost sve manje učestalosti direktnih poplava iz potoka Kupčina i indirektnih poplava iz rijeke Kupe koje utječu na šumski ekosustav Draganićkih lugova. To se u budućnosti može negativno odraziti na vitalnost šumskog drveća, ponajviše u sušnim mjesecima za vrijeme trajanja vegetacije.

Utvrđena je pozitivna korelacija dnevnih vodostaja vodotoka Kupčina, retencije Kupčina i oteretnog kanala Kupa-Kupa. Ta činjenica sugerira da ti vodotoci čine jednu hidrološku cjelinu na području istraživanja. Izuzetak čine dnevni vodostaji retencije Kupčina i oteretnog kanala Kupa-Kupa na mjernoj postaji Rečica gdje nije utvrđena korelacija. Utvrđena je i negativna korelacija između mjernih postaja Lazina brana i Strmac na vodotoku Kupčina. Mjerna postaja Lazina brana se nalazi sjeverozapadno od Draganićkih lugova na 114 mnv. Postaja Strmac je na visini od 155 mnv u podnožju Žumberačkog gorja, a udaljena je približno 12 km zračne udaljenosti od postaje Lazina brana u smjeru sjeverozapada. Negativna korelacija između vodostaja je vjerojatno rezultat prirodnog toka površinskih voda koje se slijevaju s područja Žumberačkog gorja. Površinska voda prvo prolazi kroz mjernu postaju Strmac, a potom dolazi do mjerne postaje Lazina brana. U slučaju pada većih količina oborina, postaja Strmac prva bilježi povišeni vodostaj. Voda prirodno otječe u smjeru postaje Lazina brana, vodostaj na njoj raste, a istovremeno opada na postaji Strmac, a kao rezultat postoji negativna korelacija između vodostaja tih postaja. Također postoji negativna korelacija između vodostaja vodotoka Kupčina (mjerna postaja Strmac) i oteretnog kanala Kupa-Kupa (mjerna postaja Rečica), ali je po snazi vrlo slaba. Mjerna postaja Rečica se nalazi južno od Draganićkih lugova, a moguće objašnjenje te negativne korelacije je jednako kao i kod prethodne. Te negativne korelacije ukazuju na povezanost hidrološke mreže Žumberačkog gorja i Pokupskog bazena.

Analiza dimenzija kanala u sastojini nije pokazala statistički značajnu razliku u širinama kanala. Širinu prirodnog kanala određuje geomorfologija, a širinu umjetnih kanala određuje radni alat stroja kojima su izrađeni. Stoga je očekivano da između širina umjetnih kanala ne postoji statistički značajna razlika. Međutim, utvrđena je statistički značajna razlika u dubinama kanala. Najdublji kanal je bio umjetni održavan s prosječnom dubinom od 41,36 cm, zatim umjetni neodržavan s prosječnom dubinom od 29,30 cm, a najplići je bio prirodni kanal s prosječnom dubinom od 13,18 cm. Razlike u dubinama između umjetnih i prirodnog kanala sugeriraju da umjetni kanali mogu značajno više utjecati na otjecanje vode iz tla spram prirodnog kanala. Taj utjecaj se s vremenom smanjuje ako se kanal prestane održavati. Tome u prilog ide utvrđena razlika u dubinama umjetnog održavanog i umjetnog neodržavanog kanala. S razvojem sastojine dolazi do taloženja čestica tla i mrtve organske tvari u umjetnim kanalima što posljedično dovodi do smanjenja njihove dubine i utjecaja na vodni režim. Također su utvrđene korelacije između vodostaja umjetnih kanala te između vodostaja i dubine kanala. Te korelacije su logične s obzirom da su kanali dio iste hidrološke mreže, a veća dubina kanala kao posljedicu ima i veći vodostaj.

Analiza mikroklimе šumskog tla je utvrdila da nema statistički značajne razlike u temperaturi tla u sastojinama s i bez mreže kanala. Međutim, utvrđene su statistički značajne razlike u vlazi tla, pri čemu je u sastojini s mrežom kanala vlaga tla bila statistički značajno manja na svim mjerenim dubinama. Najveće razlike u vlazi tla su ustanovljene na dubinama od 20 i 40 cm, a mala razlika je ustanovljena na dubini od 60 cm. Ako se uzme u obzir da je dubina

umjetnih održavanih kanala približno 40 cm, evidentno je da oni imaju značajan utjecaj na smanjenje vlage tla. Iako je statistički značajna razlika u vlazi tla prisutna i na 60 cm dubine, ona je puno manja. S obzirom da su plohe postavljene u dva različita odsjeka, od kojih je odsjek s kanalima na malo većoj nadmorskoj visini, moguće je da je mala, ali značajna razlika u vlazi tla posljedica te razlike. Prema Mayeru (1996), podaci o visini i trajanju poplava u Draganićkim lugovima iz razdoblja 1970. – 1974. pokazuju kako su veliki vodotehnički zahvati izazvali veliku redukciju poplavnih površina i skraćeno trajanje poplava. Takve velike promjene vodnog režima nose čitav niz negativnih posljedica. U kontekstu hrasta lužnjaka, glavna posljedica velikih vodotehničkih zahvata je isušivanje tla bazena pokupskih šuma uz širenje pojave sušenja hrasta lužnjaka i širenje suših šumskih zajednica na račun vlažnijih (Mayer 1996). Promjene vodnog režima se smatraju jednim od glavnih razloga izostanka uroda žira te izvanrednog odumiranja hrasta lužnjaka. Rezultati istraživanja koji pokazuju statistički značajnu razliku u vlazi tla na dubini koja se podudara s dubinom odvodnih kanala u sastojini idu u prilog tome da gradnja odvodnih kanala u sastojinama može doprinijeti tom problemu. Međutim, Mayer (1996) je na području Draganićkih lugova ustanovio da je pravokutna mreža šumskih prometnica značajno poremetila prirodno protjecanje površinskih voda i izazvala lokalna zamočvarenja (efekt kazetiranja) koja otežavaju obnovu šuma. Prema tome površinska odvodnja vode iz sastojina ne mora imati isključivo negativan učinak tijekom čitave godine.

Izmjereni podaci o srednjim mjesečnim temperaturama i količinama oborina na području istraživanja se mogu usporediti s podacima dobivenima na meteorološkim postajama Karlovac i Jastrebarsko (tablice 1 i 2). Treba uzeti u obzir da su mjerenja na području istraživanja započela 8. ožujka, a završila 17. srpnja zbog čega ti podaci ne predstavljaju stvarne mjesečne prosjeke za 2023. godinu. Prema izmjerenim podacima, ožujak i srpanj su bili iznadprosječno topli. U travnju i svibnju je pala veća količina oborina od prosječne. U travnju je na području istraživanja palo 40,9 mm oborina više od prosjeka izmjerenog na meteorološkoj postaji Karlovac, a 49,1 mm više od prosjeka izmjerenog na meteorološkoj postaji Jastrebarsko. U svibnju je razlika bila veća te je palo 67,7 mm oborina više od prosjeka izmjerenog na postaji Karlovac, a 71,9 mm više od prosjeka izmjerenog na postaji Jastrebarsko. U lipnju je pala manja količina oborina od prosječne. U usporedbi s mjesečnim prosjecima za lipanj na postajama Karlovac i Jastrebarsko, palo je 35,7 mm, odnosno 28,4 mm manje oborina. Do 17. srpnja je palo 41,8 mm oborina što je 43 % prosjeka u odnosu na meteorološku postaju Karlovac, odnosno 50,36 % u odnosu na postaju Jastrebarsko. Iz navedenog je vidljivo da je proljeće bilo vlažno, a izračun vodne bilance potkrepljuje tu tvrdnju. U razdoblju istraživanja nije utvrđen manjak vode. Višak vode je utvrđen ožujku (11,76 mm), travnju (60,78 mm) i svibnju (55,55 mm). Ako se uzme u obzir utvrđena statistički značajna razlika u vlazi tla između sastojine bez mreže odvodnih kanala i sastojine s mrežom odvodnih kanala te prisutnost poplavne vode u tim sastojinama, do još većeg izražaja dolazi djelovanje odvodnih kanala na otjecanje vode iz sastojine.

Kad se u obzir uzmu dosadašnja istraživanja i iskustvo struke te potencijalne koristi i nedostaci koje mreža plitkih odvodnih kanala može pružiti, u potpunosti je opravdan negativan stav prema gradnji takvih kanala, ali se ne mogu osporiti njihove koristi, pogotovo u vlažnim godinama. U svrhu smanjenja njihovog negativnog utjecaja na vlagu u tlu, a zadržavanja koristi postoji više mogućih rješenja. Prvo i najjednostavnije rješenje je izrada plićih kanala, primjerice do 20 cm dubine. Time se i dalje postiže učinak odvodnje poplavne vode, a umanjuje se negativan utjecaj tih kanala na vlagu tla za vrijeme sušeg dijela vegetacijskog razdoblja. Drugo, složenije rješenje je gradnja sustava pregrada kojima se

može regulirati otjecanje vode. Takav sustav treba biti izgrađen na način da se njime može na jednostavan način zasebno regulirati otjecanje vode iz različitih dijelova šume. Pri tome je potrebno imati u vidu da je poplavna voda nužna za normalno funkcioniranje poplavnih šumskih ekosustava te da se dolazak poplave ne bi trebao zaustavljati. Mreža kanala omogućava brže otjecanje poplavnih voda nakon što visoki vodni val rijeke koja plavi šumski ekosustav prođe, a pomoću sustava pregrada se otjecanje vode može zaustaviti u trenutku kad je više nema u suvišnim količinama. Na taj način se u šumskom ekosustavu može zadržati dovoljna količina vode i spriječiti dodatan sušni stres. Također postoji mogućnost kombinacije predloženih rješenja. Gradnja plićih kanala bi usporila otjecanje vode, a sam proces gradnje bi mogao biti jeftiniji s obzirom na manje količine iskopa. Također bi došlo do manjeg oštećenja tla. U kombinaciji s pregradama, takav sustav bi omogućio sporije i postepenije promjene razina vode u ekosustavu, a njegovo djelovanje bi bilo najslabije prirodnim hidrološkim procesima.

## 6. Zaključak

Na osnovu provedenog istraživanja može se zaključiti da se dnevni vodostaji vodotoka Kupčina, retencije Kupčina i operetnog kanala Kupa-Kupa, odnosno čitave hidrološke cjeline tog područja statistički značajno smanjuju. Analizom izmjerenih podataka o dimenzijama kanala u sastojini je utvrđeno da su umjetni održavani kanali značajno dublji od neodržavanih umjetnih kanala i prirodnog kanala. Utvrđeno je da je prirodni kanal najplići. Dubine kanala su značajno utjecale na visine vodostaja, što je i logično. Najviši vodostaji su izmjereni u najdubljem kanalu.

Analizom mikroklimе šumskog tla nije utvrđena statistički značajna razlika u temperaturi tla na dubini od 20 cm u sastojini s kanalima i sastojini bez kanala. Međutim, utvrđena je statistički značajna razlika u volumetrijskoj vlazi tla, pri čemu je sastojina bez kanala bila značajno vlažnija. Najveće razlike su utvrđene na dubinama od 20 i 40 cm, koje se podudaraju s dubinama umjetnih kanala. Mala razlika je utvrđena na 60 cm dubine, a ona se može objasniti malom razlikom u nadmorskim visinama sastojina. Tijekom istraživanja koje je obuhvatilo proljeće i dio ljeta nije utvrđen manjak vode u tlu. Moguće je da je to posljedica iznadprosječnih količina oborina koje su pale u razdoblju istraživanja.

Buduća istraživanja mogu biti usmjerena u proširivanje znanja o utjecaju plitkih odvodnih kanala u sastojinama korištenjem iste ili po potrebi prilagođene metode rada na drugim lokalitetima. Veći broj takvih istraživanja bi omogućio donošenje pouzdanijih zaključaka o utjecaju takvih kanala na vlagu tla u šumskim ekosustavima. Također je moguće istražiti utjecaj takvih kanala na sastojine praćenjem vitalnosti šumskog drveća, odnosno primitka sadnica u slučaju da je riječ o umjetno pomlađenoj površini.

## 7. Dodaci

### 7.1. Popis slika

Slika 1. Poplava u nizinskoj šumi u vrijeme trajanja vegetacije .....	1
Slika 2. Pregledna karta GJ Draganički lugovi .....	6
Slika 3. Karta opterećenosti visokim površinskim vodama u nizinskim šumama Pokupskog bazena .....	6
Slika 4. Mjerni instrumenti na plohi .....	7
Slika 5. Karta odsjeka 46 a i 55 a s označenim lokacijama ploha .....	8
Slika 6. Broj opažanja dnevnog vodostaja za vodotok Kupčina (postaja Lazina brana) .....	11
Slika 7. Trend dnevnih vodostaja vodotoka Kupčina (postaja Lazina brana) .....	11
Slika 8. Broj opažanja dnevnog vodostaja za retenciju Kupčina .....	12
Slika 9. Trend dnevnih vodostaja retencije Kupčina .....	13
Slika 10. Broj opažanja dnevnog vodostaja za vodotok Kupčina (postaja Strmac) .....	14
Slika 11. Trend dnevnih vodostaja za vodotok Kupčina (postaja Strmac) .....	14
Slika 12. Broj opažanja dnevnog vodostaja oteretnog kanala Kupa – Kupa (postaja Rečica) .....	15
Slika 13. Trend dnevnih vodostaja oteretnog kanala Kupa – Kupa (postaja Rečica) .....	16
Slika 14. Broj opažanja dnevnog vodostaja oteretnog kanala Kupa – Kupa (postaja Donja Kupčina) .....	17
Slika 15. Trend dnevnih vodostaja oteretnog kanala Kupa – Kupa (postaja Donja Kupčina) .....	17
Slika 16. Prosječne dubine kanala u šumskoj sastojini .....	20
Slika 17. Prosječne širine kanala u šumskoj sastojini .....	22
Slika 18. Deskriptivna statistika vodostaja kanala u šumskoj sastojini tijekom travnja 2023. godine .....	23
Slika 19. Deskriptivna statistika vodostaja kanala u šumskoj sastojini tijekom srpnja 2023. godine .....	25
Slika 20. Spearman Rank korelacije vodostaja kanala sa dimenzijama kanala .....	26
Slika 21. Potencijalna evapotranspiracija na području istraživanja .....	31

Slika 22. Vodna bilanca tla na području istraživanja ..... 31

## 7.2. Popis tablica

Tablica 1. Srednje mjesečne i godišnje temperature (°C) izmjerene na mjernim postajama Karlovac i Jastrebarsko .....	4
Tablica 2. Srednje mjesečne i godišnje količine oborina (mm) izmjerene na mjernim postajama Karlovac i Jastrebarsko .....	5
Tablica 3. Deskriptivna statistika dnevnih vodostaja (cm) vodotoka, retencije i oteretnog kanala .....	10
Tablica 4. Spearman Rank korelacije dnevnih vodostaja vodotoka, retencije i oteretnog kanala .....	18
Tablica 5. Deskriptivna statistika dubine kanala (cm) u šumskoj sastojini .....	19
Tablica 6. Rezultat ANOVA za dubinu kanala .....	19
Tablica 7. Post hoc LSD test za dimenziju dubina kanala .....	19
Tablica 8. Deskriptivna statistika širine kanala (cm) u šumskoj sastojini .....	20
Tablica 9. Rezultat ANOVA za širinu kanala .....	21
Tablica 10. Post hoc LSD test za dimenziju širine kanala .....	21
Tablica 11. Rezultati Kruskal-Wallis testa za vodostaje kanala u mjesecu travnju .....	23
Tablica 12. Usporedba p vrijednosti za vodostaje kanala (Kruskal-Wallis test) .....	24
Tablica 13. Rezultati Kruskal-Wallis testa za vodostaje kanala u mjesecu srpnju .....	25
Tablica 14. Korelacije vodostaja kanala sa dimenzijama kanala .....	26
Tablica 15. Deskriptivna statistika temperature tla (°C) .....	27
Tablica 16. Rezultat Studentovog t testa za temperature tla (°C) .....	27
Tablica 17. Deskriptivna statistika volumetrijske vlage tla (%) na 20 cm dubine .....	27
Tablica 18. Rezultat Studentovog t testa volumetrijske vlage (%) tla na dubini 20 cm .....	28
Tablica 19. Deskriptivna statistika volumetrijske vlage tla (%) na dubini od 40 cm .....	28
Tablica 20. Rezultat Studentovog t testa za volumetrijsku vlagu tla (%) na dubini od 40 cm .....	28
Tablica 21. Deskriptivna statistika volumetrijske vlage tla (%) na dubini od 60 cm .....	29
Tablica 22. Rezultat Studentovog t testa volumetrijske vlage tla (%) na dubini od 60 cm .....	29

## 8. Literatura

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 plohama. Šumarski list 13/2011, s. 75-89, Zagreb.

Gilbert, R.O., 1987. Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring, Wiley, NY.

Gjetvaj, G., Lončar, G., Malus, D., Ocvirk, E., 2011. Primjeri međuutjecaja površinskih i podzemnih voda Primjeri međuutjecaja površinskih i podzemnih voda. Građevinar, Vol. 63 No. 11., Zagreb.

Hammer, Ø., D. Harper, P. Ryan, 2001: PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica, 4(1):1-9.

Harapin, M., Androić, M., 1996. Sušenje i zaštita šuma hrasta lužnjaka. Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti – Centar za znanstveni rad Vinkovci, 227-256, Vinkovci – Zagreb.

Kendall, M.G., 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.

Mann, H.B., 1945. Non-parametric tests against trend, Econometrica 13:163-171.

Mayer, B., 1989. Ekološki značaj režima podzemnih i površinskih voda za nizinske šume Pokupskog bazena. Doktorska disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 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 lugu. Rad. Šumar. Inst. 29 (1): 83–102, Jastrebarsko.

Mayer, B. 1996. Hidropedološki odnosi na području nizinskih šuma Pokupskog bazena. Rad. Šumar. Inst. 31 (1/2):37–89, Jastrebarsko.

Mayer, B., 1996. Hidrološka problematika osobito s gledišta površinskog dijela krovine. Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti – Centar za znanstveni rad Vinkovci, 55-71, Vinkovci – Zagreb.



Opić, S., 2011: Testiranje normalnosti distribucije u istraživanjima odgoja i obrazovanja. Školski vjesnik 60 (2): 181-197

Pilaš I., Planinšek Š., 2011: Obnova vodnog režima nizinskih šuma kao potpora potrajnom gospodarenju. Šumarski list 13, s. 138-148, Zagreb.

Prpić, B. 1976. Reagiranje biljaka hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) iz dva različita staništa na različite uvjete vlažnosti. Šumarski list 3-4/1976, 117-123, Zagreb.

Prpić, B. 1991. O propadanju šuma. Šumarski list 3-5/1991, 105, Zagreb.

Prpić, B., Seletković, Z., Ivkov, M., 1991. Propadanje šuma u Hrvatskoj i odnos pojave prema biotskim i abiotskim činiteljima danas i u prošlosti. Šumarski list 3-5/1991, 107-129, Zagreb.

Prpić, B., 1996. Propadanje šuma hrasta lužnjaka. Hrast lužnjak (*Quercus robur* L.) u Hrvatskoj. Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti – Centar za znanstveni rad Vinkovci, 273-298, Vinkovci – Zagreb.

Prpić, B., Anić, I., 2000. The influence of climate and hydro-technical developments in the stability of the peduncled oak (*Quercus robur* L.) stands in Croatia. Glasnik za šumske pokuse: Annales Experimentis Silvarum Culturae Provehendis, 37., 229-239. Preuzeto s <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:675186>.

Prpić, B. 2005. Antropogeni utjecaj na vodne prilike riječne nizine i odraz promjena na poplavne šume. Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, Zagreb.

Prpić B., Seletković Z., Ivkov M., 1991: Propadanje šuma u Hrvatskoj i odnos pojave prema biotskim i abiotskim činiteljima danas i u prošlosti. Šumarski list 3-5, s. 107-129, Zagreb.

Starčević, M., 2000. Utjecaj hidromelioracija na šumsku vegetaciju varoškog luga. Šumarski list 1-2, 15-26, Zagreb.

Šafarek, G., Šoljić, T., 2011. Rijeke Hrvatske. Izdavačka kuća Veda d.o.o., Križevci.

TIBCO Software Inc. 2018: Statistica (data analysis software system), version 13. <http://tibco.com>.

Tikvić, I. et al., 2018. Branimir Prpić – ekologija šuma i šumarstvo. Hrvatsko šumarsko društvo, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

Tikvić, I., Ugarković, D., 2021. General and landscape ecology of temperate forest ecosystems. Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Uređajni zapisnik za gospodarsku jedinicu „Draganički lugovi“. Hrvatske šume d.o.o.

Wessely, J., Essl, F., Fiedler, K. et al., 2024. A climate-induced tree species bottleneck for forest management in Europe. *Nat Ecol Evol.* <https://doi.org/10.1038/s41559-024-02406-8>

Klimasoft SE 1.1.1. <https://github.com/mfrntic/klimasoft>

Šimunić, I., 2013: Uređenje voda. Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, str. 260.

Tomić, F., 1988: Navodnjavanje, Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske, Fakultet poljoprivrednih znanosti Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, str. 154.