

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**SANIRANJE POSLEDIC SEDIMENTACIJE MULJA V
PTUJSKEM JEZERU**

ANAMARI ŠTEHARNIK

VELENJE, 2026

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

MAGISTRSKO DELO

**SANIRANJE POSLEDIC SEDIMENTACIJE MULJA V
PTUJSKEM JEZERU**

ANAMARI ŠTEHARNIK

Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: doc. dr. Franc Žerdin

Somentor: Jurček Horvat, dipl. inž. geod.

VELENJE, 2026

Številka: 727-2/2026-2

Datum: 6. 2. 2026

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O MAGISTRSKEM DELU

Študentka Fakultete za varstvo okolja **Anamari Štehnar** lahko izdela magistrsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Saniranje posledic sedimentacije mulja v Ptujskem jezeru

Naslov magistrskega dela v angleškem jeziku:

Remediation of the consequences of sludge sedimentation in Lake Ptuj

Mentor: **doc. dr. Franc Žerdin**

Somentor: **Jurček Horvat. dipl. inž. geod.**

Magistrsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat FVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Prof. dr. Boštjan Pokorny

dekan

Fakulteta za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | e: info@fvo.si

www.fvo.si





IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana **Anamari Šteharnik**, vpisna številka 34240067,

študentka podiplomskega študijskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtorica magistrskega dela z naslovom **Saniranje posledic sedimentacije mulja v Ptujskem jezeru**, ki sem ga izdelala pod mentorstvom doc. dr. Franca Žerdina in somentorstvom Jurčka Horvata, dipl. inž. geod.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili FVO;
- so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili FVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na FVO;
- je magistrsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala Sanja Berend, mag. prof. slov.;
- dovoljujem objavo magistrskega dela v elektronski obliki na spletni strani FVO;
- sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

Datum: ____ . ____ . ____

Podpis avtorice: _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, doc. dr. Francu Žerdinu ter somentorju Jurčku Horvatu, dipl. inž. geod., za vodenje in pomoč pri izdelavi magistrskega dela.

Zahvaljujem se podjetju DEM, d. o. o., za koristne informacije.

Hvala lektorici Sanji Berend, mag. prof. slov., za opravljen jezikovni pregled dela.

Posebno zahvalo pa namenjam svoji družini in fantu, ki so me med študijem podpirali, mi stali ob strani ter verjeli, da zmorem.

IZVLEČEK

Magistrsko delo obravnava problematiko kopičenja sedimentov (sedimentacijo) v Ptujskem jezeru in saniranje njihovih okoljskih ter funkcionalnih posledic. Akumulacijska jezera imajo pomembno vlogo pri uravnavanju vodnega režima in proizvodnji električne energije, vendar zaježitve rek povzročajo prekinitev naravnega transporta sedimentov, kar vodi v njihovo kopičenje. Sedimentacija zmanjšuje koristno prostornino akumulacije vode, vpliva na hidromorfološke razmere in lahko poslabša ekološko stanje obvodnih teles.

Ptujsko jezero se – kot največje umetno jezero v Sloveniji – sooča z izrazitim procesom sedimentacije, ki vpliva tako na delovanje hidroelektrarne Formin kot tudi na habitatne razmere, rekreacijsko rabo in splošno okoljsko stanje območja. Kopičenje sedimentov vpliva na zmanjšanje prostornine jezera, spremembe hidromorfoloških značilnosti, razpoložljivost kisika v vodi in habitatne pogoje za vodne organizme. Posledično lahko pride tudi do zmanjšanja energetske učinkovitosti hidroelektrarne Formin.

Procesi sedimentacije so tesno povezani z naravnimi procesi erozije, transporta in odlaganja sedimentov v rečnih sistemih. Kalnost rek je odvisna od dotoka erodiranih zemljin s povirnih območij, stranskih hudourniških pritokov in rečnega erozijskega delovanja. Za naravno kalnost vode, ki je del erozijsko-sedimentacijskega kroga, je značilna velika prostorska in časovna spremenljivost, ki je pogojena z lokalnimi hidravličnimi razmerami v vodotoku. Razumevanje procesov premeščanja rečnih sedimentov zato zahteva dobro poznavanje hidravličnih parametrov vodnega toka in lastnosti sedimentnih delcev, zlasti lebdečih plavin, ki se prenašajo z vodnim tokom in pomembno vplivajo na procese odlaganja sedimentov v akumulacijah.

Magistrsko delo se osredotoča na analizo vzrokov sedimentacije v Ptujskem jezeru, presojo njenega vpliva na ekosistem in vrednotenje obstoječih ter potencialnih sanacijskih ukrepov. V raziskavi so obravnavani zakonodajni okvir upravljanja s sedimenti, tehnične metode mehanskega odstranjevanja sedimentov, možnosti preventivnega upravljanja sedimentov in priložnosti za njihovo nadaljnjo uporabo. Na podlagi analize znanstvene literature, strokovnih poročil in zbranih podatkov so preverjene hipoteze o vplivu sedimentacije na ekosistem ter o povezanosti procesa sedimentacije z delovanjem hidroelektrarn na reki Dravi ter na reki Muri v Avstriji.

Magistrsko delo na podlagi ugotovitev podaja strokovna priporočila za trajnostno saniranje posledic sedimentacije snovi v Ptujskem jezeru. Predlagani ukrepi vključujejo kombinacijo tehničnih, upravljaljskih in preventivnih pristopov, katerih cilj je ohranjanje oz. izboljšanje habitatnih razmer ter zagotavljanje dolgoročne funkcionalnosti jezera kot energetskega in prostorskega sistema.

KLJUČNE BESEDE: Ptujsko jezero, sedimentacija, vodni ekosistem, upravljanje sedimentov, hidroelektrarne na Dravi in sanacijski ukrepi

ABSTRACT

This master's thesis addresses the issue of sediment accumulation (sedimentation) in Lake Ptuj and the remediation of its environmental and functional impacts. Reservoirs play an important role in regulating river flow and generating hydroelectric power; however, river impoundments interrupt the natural transport of sediments, leading to their accumulation. Sedimentation reduces the useful storage capacity of reservoirs, alters hydromorphological conditions, and may deteriorate the ecological status of aquatic ecosystems.

Lake Ptuj, the largest artificial lake in Slovenia, is significantly affected by sedimentation, which impacts both the operation of the Formin Hydroelectric Power Plant and the habitat conditions, recreational use, and overall environmental quality of the area. Sediment accumulation reduces the lake's storage capacity, changes its hydromorphological characteristics, affects dissolved oxygen availability, and degrades habitat conditions for aquatic organisms. Consequently, the energy efficiency of the Formin Hydroelectric Power Plant may also decline.

Sedimentation processes are closely linked to the natural processes of erosion, sediment transport, and deposition within river systems. River turbidity depends on the inflow of eroded material from headwater catchments, torrential tributaries, and in-channel erosion. Natural water turbidity, as an integral part of the erosion–sedimentation cycle, exhibits considerable spatial and temporal variability, determined by local hydraulic conditions within the watercourse. Understanding sediment transport processes therefore requires comprehensive knowledge of hydraulic flow parameters and the characteristics of sediment particles, particularly suspended sediments, which are transported by flowing water and play a key role in sediment deposition within reservoirs.

The thesis focuses on analysing the causes of sedimentation in Lake Ptuj, assessing its impacts on the aquatic ecosystem, and evaluating existing as well as potential remediation measures. The research examines the legislative framework governing sediment management, technical methods for mechanical sediment removal, preventive sediment management strategies, and opportunities for the beneficial reuse of dredged sediments. Based on an analysis of scientific literature, technical reports, and collected data, the study tests hypotheses concerning the impact of sedimentation on the ecosystem and the relationship between sedimentation processes and the operation of hydroelectric power plants on the Drava River and the Mura River in Austria.

Based on the findings, the thesis provides professional recommendations for the sustainable remediation of sedimentation impacts in Lake Ptuj. The proposed measures combine technical, management, and preventive approaches aimed at improving habitat conditions while ensuring the long-term functionality of the lake as both an energy resource and a multifunctional environmental system.

Keywords: Lake Ptuj, sedimentation, aquatic ecosystem, sediment management, hydroelectric power plants on the Drava River, remediation measures.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Opredelitev problema	1
1.2	Namen in cilji	2
1.3	Metode dela	2
1.4	Hipoteze	2
2	ZAKONODAJA NA PODROČJU VARSTVA VODA	3
2.1	Zakon o varstvu okolja (ZVO-2)	3
2.2	Zakon o vodah (ZV-1)	3
2.3	Zakon o ohranjanju narave (ZON)	4
2.4	Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode	4
2.5	Zakon o zaščiti živali (ZZZiv)	5
2.6	Uredba o zavarovanih prostoživečih rastlinskih vrstah	6
2.7	Uredba o odpadkih in vrednotenje sedimentov	7
3	OPIS GOSPODARSKE DRUŽBE DEM, d. o. o.	8
4	ZNAČILNOSTI SEDIMENTACIJE SNOVI V PTUJSKEM JEZERU	10
4.1	Splošen opis Ptujkega jezera	10
4.2	Stanje sedimentacije v akumulacijskih bazenih na reki Dravi	11
4.3	Čiščenje organskih in drugih snovi iz akumulacijskih bazenov HE na reki Dravi	12
4.3.1	Analiza stanja	12
4.3.2	Predlogi rešitev	12
4.3.3	Natura 2000	13
4.3.4	Povzetek površin s povečano stopnjo usedlin in obsega zaraslosti s trstiko	13
4.4	Vplivi sedimentacije v akumulacijskih jezerih	19
4.4.1	Zmanjšanje prostornine rezervoarja	20
4.4.2	Vpliv na delovanje hidroelektrarn	20
4.4.3	Vpliv akumulacije sedimentov na kakovost vode	21
4.4.4	Nevarnost poplav	22
4.4.5	Potreba po odstranjevanju sedimentov	22
4.4.6	Vpliv hidrodinamičnih razmer na transport in usedanje sedimentov v Ptujskem jezeru	22
4.5	Posledice pridobivanja električne energije na reki Muri	23
4.5.1	V zadnjih 100 letih se je intenzivnost poseganja v območje reke Mure povečala ...	23
4.5.2	Primer vpliva sedimentiranih snovi na delovanja HE na reki Muri v Avstriji	24

4.5.3	Vpliv sedimentacije v Avstriji na slovenski del reke Drave	25
4.6	Iskanje alternativnih rešitev upravljanja s sedimenti v reki Dravi	26
4.7	Pilotni projekt izkopa usedlin pri HE Vuhred.....	28
4.7.1	Izvedba meritev suspendiranih delcev	30
4.8	Odstranjevanje sedimentov s prečrpavanjem na rob struge	32
4.9	Geotekstilne cevi.....	34
		35
4.9.1	Primeri uspešne uporabe geotekstilnih cevi po svetu	37
4.9.2	Geotekstilne cevi na Ptujskem jezeru	41
		43
5	REZULTATI IN INTERPRETACIJA ANKETE	45
5.1	Vsebina ankete	45
5.2	Izvedba ankete	45
5.3	Udeleženci ankete.....	45
5.4	Sklepi v zvezi z anketo.....	55
6	ZAKLJUČEK.....	56
7	SUMMARY	58
8	VIRI IN LITERATURA	60
9	PRILOGA	1

KAZALO SLIK

Slika 1: Poslovna stavba DEM, d. o. o.....	8
Slika 2: Lokacija Ptujkega jezera na zemljevidu Slovenije.....	10
Slika 3: Ptuj s Ptujkim jezerom v ozadju – pogled s Ptujkega gradu.....	11
Slika 4: Poraslost s trstiko v akumulacijskem bazenu HE Dravograd.....	16
Slika 5: Poraslost s trstiko v akumulacijskem bazenu HE Vuzenica.....	16
Slika 6: Usedline v koristnem metru akumulacijskega bazena in poraslost s trstiko v bazenu HE Vuhred	17
Slika 7: Usedline v koristnem metru akumulacijskega bazena in poraslost s trstiko v bazenu HE Ožbalt	17
Slika 8: Poraslost s trstiko v akumulacijskem bazenu HE Fala	18
Slika 9: Usedline v koristnem metru akumulacijskega bazena in poraslost s trstiko HE Mariborski otok	18
Slika 10: Plavajoča ploščad za odstranjevanje sedimenta	19
Slika 11: Jez Markovci z zapornicami	20
Slika 12: Pojav sedimentnih otokov ob znižanem vodostaju Ptujkega jezera.....	21
Slika 13: Občasno splakovanje sedimentiranega dna v dolvodni del reke, HE Langmannsperre.....	24
Slika 14: Situacija v dolvodnem delu reke po izpustu sedimentiranih snovi na zgornjem delu HE, HE Langmannsperre.....	24
Slika 15: Izток mešanice vode in usedline neposredno v spodnjo vodo HE Vuhred	27
Slika 16: Izpostavljene površine sedimentov na Ptujkem jezeru ob znižanem vodostaju....	27
Slika 17: Izvajanje izkopa sedimentirane snovi ob bregovih akumulacije HE Vuhred s plavajočim bagrom.....	29
Slika 18: Pilotni projekt izkopa sedimenta pri HE Vuhred	29
Slika 19: Vsebnost suspendiranih delcev v vodi na merskem mestu MM_1	30
Slika 20: Vsebnost suspendiranih delcev v vodi na merskem mestu MM_3	31
Slika 21: Prečrpavanje sedimenta na rob bazena in končna ureditev brežine	32
Slika 22: Izgradnja otoka sredi Ptujkega jezera	33
Slika 23: Izsušen sediment na brežini Ptujkega jezera	33
Slika 24: Piramidno zlaganje napolnjenih geotekstilnih cevi.....	35
Slika 25: Shema tipične zasnove zlaganja in dimenzioniranja geotekstilnih cevi	36
Slika 26: Prikaz večplastnega zlaganja in deformacij geotekstilnih cevi.....	37
Slika 27: Jezero Komsomolskoje, Rusija, iz leta 2011.....	37
Slika 28: Werdenbergersee, Švica	38
Slika 29: Jezero Onondaga, ZDA	39
Slika 30: Vzorčno mesto sedimenta na območju leve strani brežine Ptujkega jezera	41
Slika 31: Vzorčno mesto sedimenta na območju leve strani brežine Ptujkega jezera	42
Slika 32: Vzorčno mesto sedimenta na območju desne strani brežine Ptujkega jezera	42
Slika 33: Sistem zlaganja geotekstilnih cevi na Ptujkem jezeru.....	43
Slika 34: Pet izbranih območij za izvajanje ukrepov za zmanjšanje odlaganja sedimentov v Ptujkem jezeru	44
Slika 35: Število izpolnjenih anket.	45
Slika 36: Starost anketirancev.	46
Slika 37: Kraj prebivališča anketirancev.	46
Slika 38: Izobrazba anketirancev.	47
Slika 39: Delež rednih obiskovalcev Ptujkega jezera.....	47

Slika 40: Stopnja seznanjenosti anketirancev s problematiko sedimentacije sedimenta v Ptujskem jezeru.	48
Slika 41: Mnenja anketirancev o posledicah sedimentacije na kakovost vode in okolje.	49
Slika 42: Mnenje javnosti o nujnosti sanacije Ptujskega jezera.	50
Slika 43: Mnenje anketirancev o pogostosti izvajanja ukrepov sanacije.	51
Slika 44: Ocena ustreznih ukrepov za sanacijo Ptujskega jezera po mnenju anketirancev. .	51
Slika 45: Poznavanje metode geotekstilnih cevi in ocena njene učinkovitosti med anketiranci.	52
Slika 46: Mnenje anketirancev o prednostih uporabe metode geotekstilnih cevi.	52
Slika 47: Vpliv sedimenta na lokalno okolje.	53
Slika 48: Vsebinski pregled dodatnih predlogov anketirancev za sanacijo Ptujskega jezera.	54

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Obseg proizvodnje in moč na pragu obstoječih HE	9
Preglednica 2: Tabela površin nanosov organskih in drugih snovi po akumulacijskih bazenih jezer	14
Preglednica 3: Vpliv sedimentacije na koristni volumen akumulacijskega bazena	15

KAZALO PRILOG

Priloga 1: Anketni vprašalnik.....	1
------------------------------------	---

UPORABLJENE KRATICE IN POJMI

AC – akumulacijska jezera

b. d. – brez datuma

tj. – to je

DEM – Dravske elektrarne Maribor

d. o. o. – družba z omejeno odgovornostjo

FVO – Fakulteta za varstvo okolja

HE – hidroelektrarna

Koristni meter = zgornji del vode (približno 1 m višine), ki se vsakodnevno uporablja za proizvodnjo električne energije.

PIS RS – Pravno-informacijski sistem Republike Slovenije

RS – Republika Slovenija

ZVO-2 – Zakon o varstvu okolja

ZV-1 – Zakon o vodah

ZON – Zakon o ohranjanju narave

ZZZiv – Zakon o zaščiti živali

1 UVOD

Reke imajo pomembno vlogo v življenju človeštva, saj omogočajo oskrbo s pitno vodo, pridobivanje energije, ribolov, namakanje kmetijskih površin, nudijo prostor za sprostitev in rekreacijo, predvsem pa so bogat ekosistem.

Magistrsko delo obravnava vzroke za nastanek sedimentacije snovi pred hidroelektrarno Formin v Ptujskem jezeru ter njihovo sanacijo.

Zaradi zajezev rek za potrebe hidroelektrarn prihaja do sprememb vodnega režima, kar vpliva na naravne procese v akumulacijskih bazenih, med katerimi je tudi Ptujsko jezero. Posledično se kopičijo večje količine sedimentov, kar povzroča ekološke in druge probleme. Sedimenti zmanjšujejo prosojnost vode in povečujejo koncentracijo hranil, kar lahko sproži povečanje količin biomase in slabše pogoje za vodne organizme. Jez spremeni značilnosti vodnega toka in bilanco sedimenta, kar lahko vodi v čezmerno zapolnjevanje akumulacijskih bazenov.

Sedimentacija v Ptujskem jezeru vpliva na ekosistem in človekove dejavnosti – od ribištva in turizma do oskrbe s pitno vodo – ter na delovanje hidroenergetskih objektov. V praksi je potrebno redno odstranjevanje sedimentov, kar predstavlja finančno in ekološko breme.

Razumevanje transporta sedimentov po reki Dravi je ključno za trajnostno upravljanje Ptujkega jezera.

1.1 Opredelitev problema

Sedimentacija sedimentov v Ptujskem jezeru predstavlja pomemben okoljski in funkcionalni izziv. Ptujsko jezero se kot največje umetno jezero v Sloveniji sooča z nalaganjem sedimentov, kar zmanjšuje njegovo koristno prostornino, vpliva na hidromorfološke značilnosti in poslabšuje habitatne razmere. Posledice se lahko kažejo tudi v zmanjšani energetski učinkovitosti hidroelektrarne Formin, omejitvah pri rekreacijski rabi ter na splošno poslabšanem ekološkem stanju jezera.

Proces sedimentacije različnih snovi je predvsem posledica spremenjenega vodnega režima zaradi zajezev reke Drave, ki prekinjajo naravni transport sedimentov. Kopičenje sedimenta vpliva na prosojnost vode, ob resuspenziji finih delcev povzroča kopičenje oz. povečanje koncentracij hranil, oksidativni stres v vodnem okolju ter poslabšanje življenjskih pogojev za vodne organizme. Sedimentacija zmanjšuje biotsko raznovrstnost, moti ekološko ravnovesje in predstavlja izziv za trajnostno upravljanje jezera kot energetskega in okoljsko pomembnega sistema.

Sanacija sedimentiranih snovi je poleg ekoloških tudi tehnični in finančni izziv, saj redno mehansko odstranjevanje sedimenta povzroča visoke stroške in strokovno načrtovane ukrepe. Obstoječi ukrepi pogosto ne zagotavljajo dolgoročne trajnosti, zato je nujno preučiti kombinacijo tehničnih, upravljavskih in preventivnih strategij.

Magistrsko delo se osredotoča na analizo vzrokov sedimentacije, presojo njenega vpliva na ekosistem ter vrednotenje obstoječih in potencialnih novih sanacijskih ukrepov.

1.2 Namen in cilji

Namen magistrskega dela je preučiti vzroke in načine odstranjevanja sedimenta iz Ptujskega jezera.

Cilji magistrskega dela so:

- identificirati in analizirati glavne vire onesnaženja Ptujskega jezera ter vpliv sedimentov na kakovost vode in ekosistem;
- preučiti zakonodajo s področja ravnanja s sedimenti in analizirati učinkovitost obstoječih ukrepov;
- seznaniti se z načini zajemanja in odlaganja sedimenta;
- oceniti možnosti za ponovno uporabo sedimenta (npr. v gradbene namene);
- predlagati trajnostne rešitve in ukrepe za zmanjševanje okoljskih tveganj pri upravljanju Ptujskega jezera.

1.3 Metode dela

Podatke za magistrsko delo sem poiskala iz različnih virov (internet, članki, glasila, strokovna poročila ...) in iz literature, pridobljene na Dravskih elektrarnah Maribor (DEM). V magistrskem delu sem uporabila metode za zbiranje, analizo in obdelavo informacij, potrebnih za preučitev obsega sedimentacije v Ptujskem jezeru ter vplivov vrste sanacije na ekosistem. Podatke sem pridobila tudi iz spletnih virov, znanstvenih revij in strokovnih poročil s področja okoljske znanosti ter hidroloških raziskav.

Za boljše razumevanje učinkovitosti ukrepov sem preučila primere iz drugih jezer in vodnih teles. Izvedla sem tudi anketno raziskavo med lokalnim prebivalstvom in strokovnjaki s področja okolja ter upravljanja z vodnimi viri z namenom pridobiti njihova mnenja o sedimentaciji v Ptujskem jezeru, obstoječih ukrepih za zmanjšanje njegovih vplivov na okolje ter predlogih za koristno uporabo jezerskih usedlin. Na podlagi analize podatkov in primerjav sem oblikovala seznam ugotovitev in priporočil za trajnostno rešitev obstoječih metod ravnanja z usedlinami ter za zmanjšanje okoljskih tveganj.

1.4 Hipoteze

V sklopu magistrskega dela sem si zastavila naslednji hipotezi:

- **H1:** Povečana stopnja sedimentacije različnih snovi Ptujskega jezera ima vpliv na ekosistem, to je na živalske in rastlinske vrste.
- **H2:** Pojav sedimentacije v Ptujskem jezeru je predvsem posledica spremenjenega vodnega režima zaradi hidroelektrarn na reki Dravi.

2 ZAKONODAJA NA PODROČJU VARSTVA VODA

2.1 Zakon o varstvu okolja (ZVO-2)

Zakon ureja varstvo okolja pred obremenjevanjem kot pogoj za trajnostni razvoj, temeljna načela, ukrepe, spremljanje stanja okolja, informacije, ekonomske in finančne instrumente varstva okolja, javne službe ter ostala, z okoljem povezana vprašanja. Namen je spodbujanje in usmerjanje družbenega razvoja, ki bo omogočal dolgoročne pogoje za zdravje ljudi, počutje, kakovost življenja in ohranjanje biotske raznovrstnosti. Cilji tega zakona so preprečevanje in zmanjšanje obremenjevanja okolja, ohranjanje ter izboljševanje kakovosti okolja, trajnostna raba naravnih virov, večja raba obnovljivih virov energije, povečevanje snovne učinkovitosti proizvodnje in potrošnje ter opuščanje in nadomeščanje uporabe nevarnih snovi. Za doseganje ciljev spodbuja proizvodnjo in razvoj tehnologij, ki preprečujejo, zmanjšujejo ter odpravljajo obremenjevanje okolja, vrednotijo onesnaževanje in rabo naravnih virov po načelu »onesnaževalec plača« (Uradni list RS, št. 44/22, 18/23 – ZDU-10, 78/23 – ZUNPEOVE, 23/24, 21/25 – ZOPVOOV, 56/25 – PoZ in 11/26 – odl. US).

2.2 Zakon o vodah (ZV-1)

Zakon zagotavlja sistematično upravljanje voda z osredotočenostjo na trajnostno rabo, varstvo okolja in ustrezno obvladovanje vplivov podnebnih sprememb. Upravljanje z vodami je opredeljeno v 1. členu tega zakona, ki določa pristojnosti za upravljanje voda, vodnih in priobalnih zemljišč ter odločanje o njihovi rabi in varstvu. Prav tako zajema urejanje voda in odgovornosti za javne službe in vodne objekte. Cilji upravljanja so določeni v 2. členu, kjer si zakon prizadeva doseči dobro stanje voda in ekosistemov, zaščititi pred škodljivim delovanjem voda ter zagotoviti trajnostno rabo ob upoštevanju podnebnih sprememb. Pristojnosti države in lokalnih skupnosti so opredeljene v 4. členu, kjer je država odgovorna za upravljanje voda, razen nalog, ki so dodeljene lokalnim skupnostim. Izvajanje nalog in posegi v vode so opisani v 5. členu, kjer so opredeljene naloge v zvezi z varstvom vodnih ekosistemov, ki se izvajajo prek pristojnega ministrstva. Pomembno je zagotavljanje ustrezne kakovosti in količine voda pri načrtovanju posegov. Okoljske dajatve so opredeljene v 6. členu, kjer so predpisana plačila za vodno pravico, povračila in dajatve za onesnaževanje voda, kar je usklajeno s predpisi o varstvu okolja (Uradni list RS, št. 67/02, 2/04 – ZZdl-A, 41/04 – ZVO 1, 57/08, 57/12, 100/13, 40/14, 56/15, 65/20, 35/23 – odl. US, 78/23 – ZUNPEOVE in 52/24 – odl. US).

2.3 Zakon o ohranjanju narave (ZON)

Zakon o ohranjanju narave ureja področje zaščite naravnih vrednot, biotske raznovrstnosti in ohranjanje naravnih virov in ekosistemov v Sloveniji. Glavni cilji zakona so ohranitev narave, zaščita ogroženih vrst in njihovih habitatov ter trajnostno upravljanje z naravnimi viri. Zakon določa zaščito naravnih spomenikov, pokrajinskih enot, naravnih rezervatov in drugih naravnih vrednot. Predpisuje postopke za njihovo ohranjanje in omejevanje vplivov človeških dejavnosti na te vrednote. Osredotoča se na zaščito in obnovo ogroženih vrst ter njihovih habitatov, da bi ohranili biotsko raznovrstnost v Sloveniji. Določa ukrepe za zaščito ekosistemov, pomembnih za ohranjanje naravnega ravnotežja. Zakon opredeljuje zaščito območij, ki so del evropskega omrežja zaščitenih območij Natura 2000. Ta območja so ključna za ohranjanje evropske biotske raznovrstnosti. Nalaga odgovornosti tako državi kot lokalnim skupnostim pri izvajanju ukrepov za zaščito narave. Zagotavlja finančno in strokovno podporo za izvajanje zaščitnih ukrepov. Uvaja nadzor nad izvajanjem določb zakona in predpisuje sankcije za kršitve, ki ogrožajo naravne vrednote ali biotsko raznovrstnost. Zakon je bil večkrat sprejet in dopolnjen, s čimer je bil usklajen z novimi evropskimi direktivami in spremembami v okoljevarstveni zakonodaji, kar omogoča boljše usklajevanje z mednarodnimi standardi. Predstavlja temelj za ohranjanje naravnih virov in biotske raznovrstnosti v Sloveniji ter omogoča učinkovito zaščito pomembnih ekosistemov in vrst v skladu z evropskimi in mednarodnimi predpisi (Uradni list RS, št. 96/04 – uradno prečiščeno besedilo, 61/06 – ZDru-1, 8/10 – ZSKZ-B, 46/14, 21/18 – ZNOrg, 31/18, 82/20, 3/22 – ZDeb, 105/22 – ZZNŠPP, 18/23 – ZDU-10 in 97/25).

2.4 Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode

Uredba ureja pogoje za odvajanje, čiščenje in obdelavo komunalnih odpadnih voda v Sloveniji. Njeni glavni cilji so zagotavljanje ustreznega ravnanja z odpadnimi vodami, varstvo okolja in zdravja ljudi ter preprečevanje onesnaževanja vodnih virov. Uredba določa tehnične in organizacijske pogoje za odvajanje komunalnih odpadnih voda, vključno s sistemom za zbiranje, odvajanje in prečiščevanje teh voda. Predpisuje standarde kakovosti za prečiščevanje odpadnih voda, ki morajo biti izpolnjeni, da voda, ki se izliva v okolje, ne bi škodovala ekosistemom in zdravju ljudi. Uredba predvideva različne stopnje čiščenja odpadnih voda, odvisno od velikosti naselja in količine proizvedenih odpadnih voda. Določa obveznosti glede gradnje in obratovanja čistilnih naprav za komunalne odpadne vode, vključno z načrti za gradnjo in vzdrževanje teh naprav. Predpisuje odgovornosti lokalnih skupnosti in izvajalcev storitev, ki morajo zagotoviti pravilno odvajanje in čiščenje odpadnih voda ter vzdrževanje čistilnih naprav v skladu s predpisi. Usklajena je z evropskimi predpisi, zlasti z Direktivo 91/271/EGS o čiščenju komunalnih odpadnih voda, ki določa minimalne standarde za čiščenje teh voda v državah članicah EU. Določa ukrepe nadzora nad izvajanjem določb in predvideva kazni za kršitve, ki vključujejo neustrezno ravnanje z odpadnimi vodami ali pomanjkljivo delovanje čistilnih naprav. Ta uredba je ključna za ohranjanje kakovosti voda v Sloveniji, saj zagotavlja, da se komunalne odpadne vode obravnavajo na okolju prijazen način in da se preprečuje njihovo onesnaževanje okolja in vodnih virov (Uradni list RS, št. 98/15, 76/17, 81/19, 194/21 in 44/22 – ZVO-2, 21/25 – ZOPVOOV in 113/25).

2.5 Zakon o zaščiti živali (ZZZiv)

Zakon o zaščiti živali ureja področje zaščite živali v Sloveniji in predpisuje ukrepe za njihovo zaščito, dobrobit ter ustrezno ravnanje z njimi. Je ključnega pomena za zagotavljanje humanega ravnanja z živalmi, zaščito njihovih pravic ter preprečevanje njihovega trpljenja v različnih okoliščinah (Uradni list RS, št. 38/13 – uradno prečiščeno besedilo, 21/18 – ZNOrg, 92/20, 159/21, 109/23, 12/25 – odl. US in 60/25).

Glavne določbe Zakona o zaščiti živali (Uradni list RS, št. 38/13 – uradno prečiščeno besedilo, 21/18 – ZNOrg, 92/20, 159/21, 109/23, 12/25 – odl. US in 60/25):

1. **Zaščita živali:** Zakon določa osnovne pravice živali, vključno z zagotavljanjem ustrezne oskrbe, prehrane, bivališč in zdravstvene oskrbe, ki omogočajo njihovo dobrobit. To vključuje tudi zaščito pred mučenjem in zanemarjanjem.
2. **Ravnanje z živalmi:** Opredeljuje odgovornosti lastnikov živali, rejcev, trgovcev in drugih, ki upravljajo z živalmi. Določa tudi postopke za preprečevanje zlorab in nesmotrnega ravnanja.
3. **Preprečevanje trpljenja živali:** Predpisuje ukrepe za preprečevanje trpljenja živali v različnih sektorjih, kot so kmetijstvo, znanstvene raziskave in živalske nastanitve.
4. **Zaščita prostoživečih živali:** Osredotoča se tudi na zaščito prostoživečih živali, vključno z varstvom njihovega habitata, preprečevanjem ilegalnega lova in trgovine z njimi ter zagotavljanjem primerne ravnanja z ogroženimi vrstami.
5. **Regulacija živalskih prireditvev:** Določa pogoje za organizacijo prireditvev, na katerih sodelujejo živali (npr. sejemski dogodki, cirkusi, športne prireditve), ter zagotavlja, da se ob tem ne kršijo pravice in dobrobit živali.
6. **Inšpekcijski nadzor:** Vključuje določbe o inšpekcijskem nadzoru, ki zagotavlja izvajanje zakona. Inšpektorji lahko izvajajo preglede, da bi preverili spoštovanje predpisov, in izrekajo sankcije v primeru kršitev.
7. **Dopolnitve in spremembe:** Zakon je bil večkrat dopolnjen, da bi bil usklajen z novimi pristopi v varstvu živali in spremembami v Evropski uniji ter se prilagodil novim potrebam na tem področju.

Pomembne spremembe in dopolnitve (Uradni list RS, št. 38/13 – uradno prečiščeno besedilo, 21/18 – ZNOrg, 92/20, 159/21, 109/23, 12/25 – odl. US in 60/25):

- **21/18 – ZNOrg:** Spremembe, ki so vplivale na organizacijo in izvajanje zakonodaje na področju zaščite živali.
- **92/20:** Dopolnitev, ki vključuje nove ukrepe za zaščito živali, predvsem v zvezi s prireditvami, ki vključujejo živali.
- **159/21 in 109/23:** Nadaljnje spremembe, ki se nanašajo na izboljšanje standardov za zaščito živali in usklajevanje s predpisi EU.

Zakon o zaščiti živali je torej ključni instrument za zagotavljanje humanega ravnanja z živalmi v Sloveniji, ki uravnava vse vidike njihove zaščite – od oskrbe in dobrobiti do nadzora in sankcioniranja kršitev (Uradni list RS, št. 38/13 – uradno prečiščeno besedilo, 21/18 – ZNOrg, 92/20, 159/21, 109/23, 12/25 – odl. US in 60/25).

2.6 Uredba o zavarovanih prostoživečih rastlinskih vrstah

Uredba o zavarovanih prostoživečih rastlinskih vrstah ureja seznam zavarovanih prostoživečih rastlinskih vrst v Sloveniji ter pogoje in ukrepe za njihovo zaščito in ohranjanje. Njen namen je preprečevanje izumiranja ogroženih rastlinskih vrst in ohranjanje naravnih habitatov ter biotske raznovrstnosti v Sloveniji. Uredba določa seznam rastlinskih vrst, ki so zaščitene zaradi svoje ogroženosti, redkosti ali pomembnosti za ohranjanje biotske raznovrstnosti. Ta seznam vključuje vrste, ki zahtevajo posebne ukrepe za ohranjanje in zaščito. Za zavarovane rastlinske vrste so določeni ukrepi za zaščito njihovih naravnih habitatov. To pomeni, da se na teh območjih omejujejo dejavnosti, ki bi lahko ogrozile te vrste (npr. gradnja, kmetijstvo, zbiranje rastlin ipd.). Določa prepovedi in omejitve glede ravnanja z zavarovanimi rastlinami, kot so prepoved nabiranja, uničevanja, poškodovanja ali prodaje teh vrst brez ustreznega dovoljenja. Za izvajanje zaščite zavarovanih vrst so odgovorni pristojni organi, ki morajo zagotoviti, da so zaščitene vrste pravilno spremljane in da se spoštujejo vse zakonodajne določbe v zvezi z njimi. Uredba je usklajena z evropsko zakonodajo in direktivami o ohranjanju naravne dediščine (npr. Natura 2000), da bi zagotovili, da so zavarovane vrste v skladu z mednarodnimi standardi. Poudarja pomen ozaveščanja javnosti in strokovnjakov o pomenu ohranjanja zavarovanih rastlinskih vrst in njihovih habitatov, da bi preprečili nenamerne poškodbe ali izumrtje teh vrst. Ključna je za ohranjanje biotske raznovrstnosti v Sloveniji, saj omogoča varstvo najpomembnejših rastlinskih vrst, ki so ogrožene zaradi človeškega vpliva in drugih dejavnikov (Uradni list RS, št. 46/04, 110/04, 115/07, 36/09 in 15/14).

Spremembe in dopolnitve (Uradni list RS, št. 46/04, 110/04, 115/07, 36/09 in 15/14):

- **110/04:** Spremembe, ki so bile uvedene za posodobitev seznamov zaščitениh vrst.
- **115/07, 36/09 in 15/14:** Nadaljnje spremembe in posodobitve, ki so izboljšale zaščito zavarovanih vrst ter povečale učinkovitost izvajanja zakonodaje na tem področju.

2.7 Uredba o odpadkih in vrednotenje sedimentov

Na osnovi javnega naročila podjetja Dravske elektrarne Maribor, d. o. o., je bilo izdelano poročilo o vrednotenju nevarnih lastnosti sedimenta, odloženega na levem bregu Ptujkega jezera. Skladno z zahtevami naročnika se sediment ovrednoti kot odpadek, skladno z Uredbo o odpadkih, Ur. l. RS, št. 77/22, 113/23 in 13/25. Aktivnosti so izvedene na osnovi kemijskih analiz parametrov, ki jih je določil naročnik. Vrednotenje rezultatov se nanaša na točkovno vzorčno mesto, kjer sta bila odvzeta vzorca. Cilj preiskave je ovrednotiti sediment z vidika razvrščanja, tj. z opredelitvijo nevarnih lastnosti od HP 1 do HP 15 v skladu z Uredbo Komisije (EU) 1357/2014, Uredbo Sveta (EU) 2017/997, Uredbo (ES) št. 1272/2008 Evropskega parlamenta in Sveta (v nadaljevanju Uredba (ES) št. 1272/2008) ter upoštevajoč smernice Obvestila Komisije o tehničnih smernicah o razvrščanju odpadkov (2018/C 124/01) ter podatkov iz dosjeja ECHA (<http://echa.europa.eu/>). Obenem so ovrednoteni rezultati analiz, skladno z zahtevami iz Uredbe o odlagališčih odpadkov (Uradni list RS, št. 10/14, št. 54/15, št. 36/16, št. 37/18, št. 13/21 in št. 44/22 – ZVO 2) in Pravilnika o izdelavi ocene odpadka pred odlaganjem in ocene nevarnega odpadka pred sežiganjem ter o izvedbi kontrolne kemične analize odpadkov (Uradni list RS, št. 58/16 in št. 44/22 – ZVO-2) (Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o., 2025).

Na osnovi navedenih raziskav izhaja da obravnavana odvzeta vzorca sedimenta iz leta 2025, odloženega na levem bregu Ptujkega jezera, oznaka vzorca O1-1270/25 (globina 0,5 m) in O2-1270/25 (globina 1,5 m), ne vsebujeta nobene izmed snovi s predpisanimi stavki o nevarnosti in razredi nevarnosti (Uredba (ES) št. 1272/2008) oziroma vsaj ne v koncentracijah, zaradi katerih bi se ju moralo ovrednotiti kot nevarna (Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o., 2025).

3 OPIS GOSPODARSKE DRUŽBE DEM, d. o. o.

Dravske elektrarne Maribor, d. o. o., so družba z omejeno odgovornostjo. So največji slovenski proizvajalec električne energije iz obnovljivih virov, saj proizvedena energija predstavlja skoraj četrtinski del potreb po električni energiji v Sloveniji. V okviru družbe Dravske elektrarne Maribor, d. o. o., deluje osem velikih hidroelektrarn v katerih proizvedejo 80 % slovenske električne energije, ki ustreza kriterijem obnovljivih virov in standardom mednarodno priznanega certifikata RECS (Renewable Energy Certificates System). Električno energijo DEM zagotavljajo na okolju prijazen način in s spoštovanjem načel trajnostnega razvoja. V alpskem območju se nahaja šest hidroelektrarn (Dravograd, Vuzenica, Vuhred, Ožbalt, Fala in Mariborski Otok), ki so zgrajene v rečnih kaskadah. V nadaljnjem toku reke Drave se nahajata še HE Formin in HE Zlatoličje. Skupna dolžina akumulacijskih bazenov je 72 km s površino 15,1 km² in prostornino 52 milijonov m³ vode (DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009).

Skupna dolžina rečnih kanalov, povezanih s hidroelektrarnami, je 21 km, medtem ko je dolžina umetnih rečnih kanalov 27 km, s površino 34,1 km² in prostornino 44 milijonov m³. Skupna dolžina novih umetnih kanalov znaša okoli 102 km. Skupna inštalirana moč na pragu znaša 581 MW. Povprečna letna proizvodnja električne energije znaša 2.646 GWh. Od skupne proizvodnje vseh elektrarn več kot 40 % proizvedeta elektrarni Zlatoličje in Formin. Podatka o inštaliranih kapacitetah in povprečni letni proizvodnji sta razvidna iz Preglednice 1.



Slika 1: Poslovna stavba DEM, d. o. o.

Vir: <https://mariborinfo.com/tags/dem-1>

Preglednica 1: Obseg proizvodnje in moč na pragu obstoječih HE

HE	Letna proizvodnja (GWh)	Moč na pragu (MW)
DRAVOGRAD	142	26
VUZENICA	247	56
VUHRED	297	72
OŽBALT	305	73
FALA	260	58
MARIBORSKI OTOK	270	60
ZLATOLIČJE	577	120
FORMIN	548	116
Skupaj	2.646	581

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009

4 ZNAČILNOSTI SEDIMENTACIJE SNOVI V PTUJSKEM JEZERU

4.1 Splošen opis Ptujkega jezera

Ptjjsko jezero je s površino 346 hektarjev največje umetno jezero v Sloveniji. Nastalo je z zaježitvijo reke Drave pod Ptujem leta 1978. Jezero služi kot akumulacija vode za hidroelektrarno Formin, je tudi rekreacijska površina za veslanje, jadrnanje, deskanje in ribištvo. Dolžina jezera je 7,3 km, v najširšem delu je široko 1,2 km. Globina jezera je 12 m, volumen vode v jezeru pa dosega največ 20 milijonov m³.

Na Sliki 2 je prikazana lokacija Ptujkega jezera. Z nje je razvidno, da se jezero nahaja v podravski regiji, na severovzhodu Slovenije, približno 5 km jugozahodno od mesta Ptuj.



Slika 2: Lokacija Ptujkega jezera na zemljevidu Slovenije

Vir: https://sl.wikipedia.org/wiki/Ptujsko_jezero

Vodni tok v akumulacijskem bazenu se v Markovcih loči na dva dela:

- En del vodnega toka teče po dovodnem kanalu do hidroelektrarne Formin.
- Drugi del vodnega toka teče po stari strugi Drave.
- Na jezeru, ki je sicer bogato z ribami, je pet otokov, na katerih gnezdijo ptice.

Na Sliki 3 je prikazano mesto Ptuj, v ozadju mesta pa Ptujem jezero (domačini ga poimenujejo Ptujem morje), saj je na prvi pogled videti kot morje. Slika je bila posneta s Ptujkega gradu.



Slika 3: Ptuj s Ptujem jezerom v ozadju – pogled s Ptujkega gradu

Vir: https://sl.wikipedia.org/wiki/Ptujem_jezero

4.2 Stanje sedimentacije v akumulacijskih bazenih na reki Dravi

Iz obdobjnih vizualnih pregledov in izvedbe geodetskih meritev prečnih profilov Ptujkega jezera izhaja, da se problem sedimentacije v Ptujem jezru z leti povečuje. Za vodna zajetja HE na slovenskem delu reke Drave je značilno, da se posledično volumen bazenov vztrajno manjša. Ugotovljeno je, da se je do leta 2014 celotna vsebina bazenov zmanjšala s prvotnih 108,99 mio m³ na 74,23 mio m³, kar predstavlja zmanjšanje za približno 32 % (Knapič et al., 2016).

4.3 Čiščenje organskih in drugih snovi iz akumulacijskih bazenov HE na reki Dravi

4.3.1 Analiza stanja

Zaradi delovanja hidroelektrarne se na območju Ptujskega jezera kopiči sediment, kar povzroča zmanjševanje globine jezera in potrebo po premeščanju sedimenta na brežine.

Akumulacijski bazeni hidroelektrarn od Dravograda do Formina (oz. vstopa reke Drave v Slovenijo do vstopa v Hrvaško pred Ormožem) so podvrženi zaprodenju, sedimentaciji in zaraslosti s trstičjem in drugo vodno vegetacijo. Omenjeno stanje bi se v naslednjih letih lahko poslabšalo, kar bi vplivalo na optimalno obratovanje celotnega energetskega sistema dravskih elektrarn. Vzporedno se jezero razvija v športnorekreacijski center (na občinski ravni so sprejeti odloki o plovbi), kar vnaša nove dodatne pogoje glede režima obratovanja in vzdrževanja območja na ter ob jezerih (DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009).

Dolgoročno zapolnjevanje dna jezera povzroča naslednje težave (DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009):

- na gorvodnih bazenih prihaja do zaraslosti obale jezera s trstiko (zmanjšanje površine bazena),
- na Ptujskem jezeru prihaja do povečane intenzitete odlaganja sedimentov (zmanjšanje koristnega volumna korita),
- prihaja do pojavov različne vodne vegetacije, npr. račje zeli, ki lahko povzroča mašenje rešetak.

V Ptujsko jezero, zlasti v zgornjem delu, kjer je zaradi zmanjšane hitrosti toka reke Drave intenziteta odlaganja sedimentov največja, Dravske elektrarne Maribor izvajajo odstranjevanje odloženega sedimenta. Vzdrževanje akumulacijskih bazenov temelji na strokovno utemeljenih tehnično-inženirskih rešitvah, predvsem z optimalnim obsegom rednih in periodičnih vzdrževalnih ukrepov. Program ukrepov odstranjevanja sedimenta temelji na analizi dosedanjih geodetskih meritev dna akumulacijskih bazenov, ki omogočajo oceno prostorskega razporeda sedimenta ter napoved nadaljnega razvoja sedimentacijskih procesov (DEM, d. o. o.).

4.3.2 Predlogi rešitev

Zaradi vsebnosti težkih kovin v usedlinah je te možno transportirati le v območju vodotoka oziroma njihove akumulacije. Zato se kot primerna rešitev nakazuje prečrpavanje usedlin na rob bazena. Na Ptujskem jezeru je bil pred približno šestimi leti izveden poskusni pilotni projekt, v okviru katerega so usedline odlagali na obrežje jezera. Na podlagi rezultatov tega projekta so bile v preteklem letu izvedene potrebne analize in preiskave, katerih izsledki so bili dobri in so potrdili ustreznost takšnega načina reševanja problemov v zvezi z odlaganjem usedlin (DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009).

4.3.3 Natura 2000

Na področju upravljanja z vodo reke Drave je Vlada RS družbi DEM, d. o. o., podelila koncesijo za rabo reke Drave, kjer je intenziteta sedimentov največja za proizvodnjo električne energije. Med obveznostmi je redno vzdrževanje objektov vodne infrastrukture in priobalnih zemljišč. Za izvajanje del so dolžni pripraviti letni načrt rednega vzdrževanja in ga poslati koncedentu (Ministrstvu za okolje in prostor – ARSO) v potrditev. Celotno območje reke Drave je pod posebnim režimom upravljanja Natura 2000, zato je treba za vsak poseg v strugo pridobiti dovoljenje za poseg v naravo v skladu z ZON in soglasjem Direkcije RS za vode. Zaradi zahtev Nature 2000 je treba izvajati dejanja za ohranitev kapacitete vodnega potenciala v akumulacijskih bazenih (DEM d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009).

4.3.4 Povzetek površin s povečano stopnjo usedlin in obsega zaraslosti s trstiko

Izračun količin sedimentov, ki se nahajajo pod vodo, temelji na metodah približnih izmer in ocen. Za realnejše rezultate so v DEM, d. o. o. uporabili dve metodi (DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009):

1. ogled stanja brežin in določitev vodnih površin, kjer je globina manjša od 1,00 m;
2. izračun zaprodenja na osnovi rednih cikličnih meritev dna struge bazena (izvaja se vsake dve leti).

Prvi način omogoča (DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009):

- a) določitev volumna zmanjšanja vode v akumulacijskem bazenu;
- b) na gorvodnih bazenih prihaja do zaraslosti obale jezera s trstiko (zmanjšanje površine bazena),
- c) določitev trajno izgubljenih površin zaradi zarasti trstičja, ki ga ni dovoljeno odstranjevati zaradi zahtev Nature 2000.

Drugi način temelji na izračunu volumna odloženih usedlin. Na osnovi ogleda stanja brežin akumulacijskega jezera so na terenu opredelili površine in količine usedlinskih območij posameznih akumulacijskih jezer – od HE Dravograd do HE Formin. Površine nanosov usedlin so povzete z digitalnega ortofoto posnetka in so navedene v Preglednici 2 (DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009).

Iz Preglednice 2 je razvidno, da je največji obseg sedimentacije evidentiran v Ptujskem jezeru, kjer ocenjena površina območij s sedimenti znaša približno 1.100.000 m². V primerjavi z ostalimi akumulacijskimi bazeni je obseg sedimentacije bistveno večji, kar je posledica intenzivnejšega odlaganja sedimentov v tem delu reke Drave. Skupna ocenjena površina območij s sedimenti v obravnavanih akumulacijskih bazenih znaša 1.471.800 m². Podatki kažejo, da sedimentacija pomembno vpliva na zmanjševanje akumulacijske sposobnosti bazenov ter predstavlja enega izmed ključnih izzivov pri njihovem dolgoročnem upravljanju.

Preglednica 2: Tabela površin nanosov organskih in drugih snovi po akumulacijskih bazenih jezer

AKUMULACIJSKO JEZERO	POVRŠINA OBMOČJA Z USEDLINAMI	KOLIČINE USEDLIN PRI IZKOPU DO GLOBINE 1 m
	(m ²)	(m ³)
HE DRAVOGRAD	56.300	56.300
HE VUZENICA	33.200	33.200
HE VUHRED	224.000	224.000
HE OŽBALT	10.500	10.500
HE FALA	5000	5000
HE MARIBORSKI OTOK	42.800	42.800
PTUJSKO JEZERO	1.100 000	1.100 000
SKUPAJ	1.471.800	1.471.800

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009

Na osnovi podatkov ugotavljajo, da je velikost nanosov sedimentov v bazenih različen. Vsak cikel praznjenja akumulacijskega bazena povzroča dodatne stroške. V odvisnosti od odjema električne energije se bazeni intenzivneje praznijo skozi dan in se ponovno polnijo ponoči (DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009).

Iz Preglednice 3 je razviden vpliv sedimentacije na zmanjševanje koristnega volumna akumulacijskih bazenov. Zaradi odlaganja sedimentov se zmanjšuje razpoložljiv akumulacijski prostor, kar lahko vpliva na obratovalne pogoje hidroelektrarn. Največje zmanjšanje koristnega volumna je povezano s Ptujskim jezerom, kjer so ocenjene količine sedimentov največje. Nadaljnje odlaganje sedimentov lahko dolgoročno vpliva na energetsko izrabo vodnega potenciala reke Drave, zato je spremljanje sedimentacijskih procesov pomemben del upravljanja akumulacijskih bazenov.

Preglednica 3: Vpliv sedimentacije na koristni volumen akumulacijskega bazena

Elektrarna	Velikost vsebine akumulacijskega bazena	Sedimentacija	Zmanjšanje vsebine zaradi sedimentov	Preostala koristna vsebina
	(m ³)	(%)	(m ³)	(m ³)
HE DRAVOGRAD	1.416.000	8,76	124.042	1.291.958
HE VUZENICA	1.868.000	3,88	72.478	1.795.522
HE VUHRED	2.422.000	8,43	204.175	2.217.825
HE OŽBALT	1.431.000	1,75	25.043	1.405.958
HE FALA	905.000	2,52	22.806	882.194
HE MARIBORSKI OTOK	2.215.000	2,55	56.483	2.158.518
HE ZLATOLIČJE	932.000	2,9	27.028	904.972
HE FORMIN	4.518.000	0,84	37.951	4.480.049
Skupaj	15.707.000		570.005	15.136.995

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009

Prikazani podatki potrjujejo, da sedimentacija v akumulacijskih bazenih predstavlja dolgoročen proces, ki zmanjšuje akumulacijsko sposobnost vodnih teles. Poleg zmanjševanja koristnega volumna prispeva tudi k zaraščanju plitvin s trstiko, kar dodatno vpliva na spremembe habitatov in upravljanje akumulacijskih območij.



Slika 4: Poraslost s trstiko v akumulacijskem bazenu HE Dravograd

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009



Slika 5: Poraslost s trstiko v akumulacijskem bazenu HE Vuzenica

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009



Slika 6: Usedline v koristnem metru akumulacijskega bazena in poraslost s trstiko v bazenu HE Vuhred

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009



Slika 7: Usedline v koristnem metru akumulacijskega bazena in poraslost s trstiko v bazenu HE Ožbalt

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009



Slika 8: Poraslost s trstiko v akumulacijskem bazenu HE Fala

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009



Slika 9: Usedline v koristnem metru akumulacijskega bazena in poraslost s trstiko HE Mariborski otok

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009

4.4 Vplivi sedimentacije v akumulacijskih jezerih

Sedimentacija je naraven proces prenosa in odlaganja delcev, ki jih vodotok prenaša vzdolž svojega toka. V akumulacijskih bazenih, ki nastanejo zaradi zaježitve reke, se dinamika transporta sedimentov bistveno spremeni, saj se zaradi zmanjšanja hitrosti vodnega toka poveča intenziteta odlaganja delcev. Posledično se sedimenti postopoma kopičijo na dnu bazena, kar dolgoročno vodi v zapolnjevanje akumulacijskega prostora in spremembe hidromorfoloških značilnosti vodnega telesa (ZAG 2020).

Transport sedimentov v vodotokih je kompleksen proces, ki je odvisen predvsem od premestitvene zmogljivosti vodnega toka in velikosti ter lastnosti delcev. V vodotokih se sedimenti premeščajo kot rinjene plavine, ki se pomikajo ob dnu struge, ali kot lebdeče plavine, ki se v obliki suspenzije prenašajo s tokom vode. Meja med obema načinoma transporta ni stalna, saj je odvisna od trenutnih hidravličnih razmer v vodotoku, zlasti od hitrosti toka in pretoka vode (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

V akumulacijskih bazenih hidroelektrarn v Sloveniji se zaradi zmanjšanja hitrosti toka premestitvena zmogljivost vodotoka bistveno zmanjša, kar povzroči intenzivnejše odlaganje sedimentov. Sedimentacija v takšnih bazenih je zato neizogiben proces, ki se začne ob zaježitvi vodotoka in se nadaljuje skozi celotno obdobje delovanja akumulacijskega bazena. Sedimenti, ki se odlagajo v akumulacijskih bazenih, so večinoma mineralnega izvora, manjši delež pa predstavljajo organski in antropogeni delci. Glavni viri sedimentov so erozija v porečju, procesi v hidrogrfski mreži vodotoka ter različne človekove dejavnosti na prispevnem območju (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

Na Sliki 10 je delovni ponton, ki služi kot plavajoča ploščad za bager. Trenutno je prazen, sicer pa se uporablja za odstranjevanje sedimenta in poglobljanje dna Ptujkega jezera.



Slika 10: Plavajoča ploščad za odstranjevanje sedimenta

foto: A. Štehnar, 2026

4.4.1 Zmanjšanje prostornine rezervoarja

Ena izmed pomembnejših posledic sedimentacije je zmanjševanje koristne prostornine rezervoarja. Kopičenje sedimentov zmanjšuje kapaciteto zadrževanja vode, kar vpliva na osnovno funkcijo – proizvodnjo električne energije, uravnavanje pretokov in protipoplavno varnost. Zmanjšana prostornina lahko pomeni tudi manjšo zmožnost blaženja visokih voda (ZAG 2020).

4.4.2 Vpliv na delovanje hidroelektrarn

Sedimentacija vpliva na obratovanje hidroenergetskih objektov. Usedline lahko povzročajo večjo mehansko obrabo turbin, zmanjšujejo učinkovitost proizvodnje električne energije ter otežujejo upravljanje zapornic in drugih tehničnih elementov. Dolgotrajno kopičenje sedimentov lahko poveča stroške vzdrževanja in zahteva občasno izvajanje večjih sanacijskih posegov (ZAG 2020).

Na Sliki 11 je prikazan jez v Markovcih z zapornicami, ki omogočajo uravnavanje pretoka reke Drave in nadzor vodostaja Ptujskega jezera ter zagotavljajo pomembno vlogo pri upravljanju vodnega režima območja.



Slika 11: Jez Markovci z zapornicami

foto: A. Štehar, 2026

4.4.3 Vpliv akumulacije sedimentov na kakovost vode

Sedimenti pomembno vplivajo na fizikalne in kemijske lastnosti vode. Povečana količina suspendiranih delcev zmanjšuje prosojnost vode in vpliva na svetlobne razmere v vodnem stolpcu. Poleg tega se na delce sedimenta pogosto vežejo hranila in onesnaževala, vključno s težkimi kovinami, ki se lahko ob spremembah okoljskih pogojev ponovno sprostijo v vodo. Takšni procesi lahko vplivajo na vodne organizme in na splošno ekološko stanje akumuliranih usedlin (ZAG 2020).



Slika 12: Pojav sedimentnih otokov ob znižanem vodostaju Ptujskega jezera

foto: A. Štehar, 2026

4.4.4 Nevarnost poplav

Postopno zapolnjevanje akumulacijskega bazena zmanjšuje možnost zadrževanja visokih voda. Ob ekstremnih padavinskih dogodkih ali povečanih pretokih lahko zmanjšana prostornina prispeva k hitrejšemu preseganju kritičnih vodostajev, kar povečuje poplavno ogroženost območij dolvodno od pregrade (ZAG 2020).

4.4.5 Potreba po odstranjevanju sedimentov

Zaradi navedenih vplivov je upravljanje s sedimenti ključen del trajnostnega upravljanja akumulacijskih bazenov. Odstranjevanje sedimentov je lahko tehnično zahtevno in finančno obremenjujoče, hkrati pa predstavlja okoljski poseg, ki zahteva ustrezno načrtovanje. V zadnjem času se vse več pozornosti namenja možnostim ponovne uporabe sedimentov kot sekundarne surovine, s čimer se zmanjšuje potreba po odlaganju in spodbuja načela krožnega gospodarstva (ZAG 2020).

4.4.6 Vpliv hidrodinamičnih razmer na transport in usedanje sedimentov v Ptujskem jezeru

Za akumulacijski bazen je značilno, da zaradi zmanjšanja hitrosti vodnega toka pride do intenzivnejšega odlaganja sedimentov predvsem v zgornjih delih jezera. Takšni procesi povzročajo spremembe hidromorfoloških značilnosti vodnega telesa ter vplivajo na habitatne razmere za vodne organizme (Krzyk, M., Četina, M., 2003).

Modeliranje prenosa sedimentov v Ptujskem jezeru kaže, da se zaradi zmanjšanja hitrosti vodnega toka v zadrževalniku intenzivneje odlagajo večje sedimentne frakcije. Ugotovljeno je bilo, da se v zgornjem delu akumulacije usedajo predvsem delci večjih frakcij nad 0,064 mm, medtem ko se manjši delci prenašajo bližje jezu (Bezovnik, F., 2021).

Sedimentacija v Ptujskem jezeru je tesno povezana s hidrodinamičnimi razmerami vodnega toka. Hitrost toka, globina vode in prostorska razporeditev gibanja vode pomembno vplivajo na prenos in usedanje lebdečih plavin. Zaradi zmanjšane hitrosti toka v območju akumulacije prihaja do intenzivnejšega odlaganja sedimentov, ki jih v jezero prinaša reka Drava (Krzyk, M., Četina, M., 2003).

Prenos lebdečih plavin predstavlja kompleksen proces, na katerega vplivajo hidrodinamične sile, značilnosti sedimentnih delcev ter razmere v strugi in področju akumulacije. Usedanje sedimentov vpliva na zmanjšanje prostornine akumulacijskega bazena, spremembe dna jezera, zmanjšanje kakovosti vode ter povečanje nevarnosti poplav (Krzyk, M., Četina, M., 2003).

Rezultati modeliranja kažejo tudi, da se sedimentacija povečuje predvsem pri pretokih, višjih od 600 m³/s, kar vpliva na hitrejše zasipavanje zgornjega dela akumulacije. Takšne ugotovitve so pomembne za načrtovanje upravljanja sedimentov, saj omogočajo določanje območij intenzivnejšega usedanja in izbiro ustreznih sanacijskih ukrepov (Bezovnik, 2021).

Poznavanje hidrodinamičnih razmer je pomembno predvsem pri načrtovanju sanacijskih ukrepov, določanju območij povečanega usedanja sedimentov ter pri dolgoročnem upravljanju območja akumulacije (Krzyk, M., Četina, M., 2003).

4.5 Posledice pridobivanja električne energije na reki Muri

4.5.1 V zadnjih 100 letih se je intenzivnost poseganja v območje reke Mure povečala

V zadnjih sto letih se je intenzivnost poseganja v območje reke Mure močno povečala, kar je pomembno vplivalo na njeno ekološko stanje. Čeprav zavedanje o nezaželenih procesih in slabšanju stanja reke ni novo, se še danes pojavljajo razprave o prihodnosti Mure. Po eni strani obstajajo pobude za izkoriščanje reke v energetske namene z izgradnjo jezov, po drugi strani pa želje po njeni renaturaciji in ohranjanju naravnega okolja. Po navedbah Zveze društev Moja Mura se je stanje reke od 70. let prejšnjega stoletja sicer bistveno izboljšalo, vendar se na nekaterih odsekih še vedno pojavlja problem poglobljanja struge. Glavni razlog za to je prekinjen naravni transport sedimentov, ki je posledica 32 hidroelektrarn na avstrijskem delu Mure (Kralj. A., 2020).

Predniki so z reko ravnali spoštljivo, čeprav so si življenjske razmere skušali izboljšati z različnimi posegi v reko in njeno poplavno območje. Največje spremembe pa so se zgodile v zadnjem stoletju. V tem času je bila reka Mura na približno dveh tretjinah svojega toka skozi Slovenijo izravnana, njena struga pa utrjena. Poleg tega se je poplavno območje močno zožilo zaradi gradnje protipoplavnih nasipov. Pomembne spremembe so nastale tudi zaradi intenzivnejšega gospodarjenja z gozdovi, sprememb v kmetijski rabi in drugih človekovih dejavnosti (Kralj. A., 2020).

Kljub izboljšanju stanja reke Mure ostaja še veliko odprtih vprašanj in okoljskih tveganj. V Zvezi društev Moja Mura kot eno največjih nevarnosti izpostavljajo kompostarno Ceršak, ki stoji na otoku reke Mure. Na območju kompostarne je deponiranih približno 150.000 ton komposta, ki ni primeren za trg. Ker se objekt nahaja na poplavnem območju desetletnih voda, obstaja ob morebitnih poplavih velika nevarnost okoljskega onesnaženja. Po njihovem mnenju so za neustrezno umeščanje takšnih objektov na občutljiva območja odgovorne predvsem državne institucije in soglasodajalci. Poleg tega opozarjajo tudi na posledice delovanja hidroelektrarn na avstrijskem delu Mure. Te naj bi vplivale na slabšanje kakovosti vode in povečano onesnaženost organizmov v reki. Poseben problem predstavlja pomanjkanje ustreznega monitoringa kakovosti vode, saj se po poročilih iz Avstrije v reko izlivajo tudi antibiotiki, ki izvirajo z velikih farm. Zaskrbljenost povzroča tudi redno spuščanje sedimenta iz avstrijskih hidroelektrarn ter nihanje vodostaja. Sediment namreč uničuje intersticielno favno, ki deluje kot naravni filter za čiščenje vode. To je še posebej problematično, ker se večina pomurskih občin oskrbuje s podzemno vodo ob reki Muri (Kralj. A., 2020).

Eden večjih problemov hidroelektrarn v Avstriji je sedimentacija akumulacijskih bazenov pred pregradami. Usedline se skozi leta nabirajo na dnu akumulacijskih bazenov, zaradi česar se zmanjšujeta prostornina bazena in učinkovitost hidroelektrarne (Štihec, A., 2016).

Način čiščenja sedimenta v Avstriji poteka tako, da v določenih časovnih intervalih izvajajo splakovanje sedimentiranega dna oziroma izpust usedlin skozi temeljne izpuste hidroelektrarne. Voda nato sediment odnese v dolvodni del reke, kjer se ponovno odloži (Štihec, A., 2016).

4.5.2 Primer vpliva sedimentiranih snovi na delovanja HE na reki Muri v Avstriji

Primer negativnega posrednega vpliva (ki je bil sicer predviden, vendar ne v tolikšnem obsegu, kot se je po določenem času izkazal) je sedimentacija na dno bazena. Zato v časovnih intervalih izvajajo splakovanje temeljnega izpusta, kot kaže Slika 13. Opozarja se na negativne posledice takšnega čiščenja, saj izpušeni sediment negativno vpliva na rečno floro in ekosistem v dolvodnem delu reke. Poleg tega poudarjajo, da gre predvsem za problem akumulacijskih hidroelektrarn, medtem ko so pri pretočnih hidroelektrarnah takšni vplivi običajno manjši (Štihec, A., 2016).



Slika 13: Občasno splakovanje sedimentiranega dna v dolvodni del reke, HE Langmannsperre

Vir: Štihec, A., 2016

Posebej izpostavljena je hidroelektrarna Bodendorf-Paal na zgornjem toku reke Mure. Leta 2004 so morali tam odstraniti približno 47.300 m³ sedimentirane brozge v enem samem letu. Če usedlin ne bi odstranjevali, bi se prostornina akumulacijskega bazena v približno dvanajstih letih zmanjšala za dve tretjini volumna (Štihec, A., 2016).



Slika 14: Situacija v dolvodnem delu reke po izpustu sedimentiranih snovi na zgornjem delu HE, HE Langmannsperre

Vir: Štihec, A., 2016

4.5.3 Vpliv sedimentacije v Avstriji na slovenski del reke Drave

Sedimenti v porečju Drave povzročajo sedimentacijo v porečju reke Drave v slovenskem delu njenega toka, zlasti če Avstrija pri čiščenju svojih akumulacijskih jezer sediment izpušča po toku navzdol, zaradi česar se velike količine sedimenta odlagajo v Sloveniji. Na ta problem že več let opozarjajo slovenske ribiške družine in lokalne skupnosti, saj sediment po njihovem mnenju negativno vpliva na vodni ekosistem, ribji življenjski cikel in pretočnost reke Drave (Toplak, G., 2019).

Boris Javornik, predsednik Ribiške družine Maribor, opozarja, da se zaradi kopičenja sedimenta zmanjšuje akumulacijska sposobnost reke, kar pomeni, da reka izgublja sposobnost zadrževanja vode in kinetične energije. Po njegovih navedbah velik del sedimenta iz Avstrije ostane prav v Sloveniji, pri čemer imata pomembno vlogo Ptujsko jezero in Ormoško jezero. Ptujsko jezero deluje kot prvi večji zadrževalnik sedimentov, medtem ko Ormoško jezero zadrži še preostanek sedimenta. Javornik ocenjuje, da v Sloveniji ostane približno 90 % sedimenta, ki ga po reki Dravi prinese iz Avstrije (Toplak, G., 2019).

Na problematiko opozarjajo tudi Dravske elektrarne Maribor (DEM, d. o. o.), kjer poudarjajo, da je sedimentacija značilen pojav vseh akumulacijskih bazenov. Zaradi zmanjšane hitrosti toka zaradi akumulacij prihaja do usedanja lebdečih in rinjenih plavin, posledično pa do dviga dna akumulacijskih bazenov. V DEM zato redno izvajajo hidrografske meritve in spremljajo stanje v sedimentacijskih bazenih, poleg tega pa izvajajo tudi odstranjevanje sedimentov ter sanacijske ukrepe za ohranjanje energetskega potenciala akumulacijskih jezer (Toplak, G., 2019).

Proces sedimentacije v akumulacijskih bazenih v DEM, d. o. o., redno spremljajo s hidrografskimi meritvami prečnih profilov, ki jih z ustrezno tehnologijo izvajajo sami vsaki dve leti. V letu 2019 so napovedali tudi izvajanje snemanja batimetrije celotnega dna akumulacijskih bazenov z večsnopnim globinomerom, s čimer želijo pridobiti natančnejše podatke o stanju sedimentacije. V okviru ohranjanja energetskega potenciala izvajajo tudi čiščenje bazenov ter odstranjevanje sedimentov. Pri tem gre v vodnogospodarskem smislu za prečne premike sedimentov in nadvišanje priobalnega pasu s pripadajočo sonaravno ureditvijo površin ali za formiranje ekoloških otokov za ptice. Kot primeri so navedeni otok pred veslaškim klubom v Brestrnici, otoka pred HE Mariborski otok, otok v Koblarjevem zalivu ter otoki na Ptujskem jezeru. Za posamezne posege izdelajo projektno dokumentacijo, določijo ustrezne načine odstranjevanja sedimentov, predvidene ureditve odlagališč uskladijo z deležniki v prostoru ter pred izvedbo pridobijo dovoljenje za poseg v naravo (Toplak, G., 2019).

Ureditve odlagališč snovi iz akumulacijskih bazenov v DEM izvajajo na sonaravni način, pri čemer sledijo značilnim rečnim krajinskim vzorcem. Po navedbah DEM dosednji posegi, povezani z odstranjevanjem sedimentov, niso povzročili nedopustnih vplivov na naravovarstveno pomembne habitate. Izvedba plitvin omogoča prehranjevanje in počitek vodnim pticam, novonastale kopnine pa se postopoma zarastejo z lesno vegetacijo in trstičjem, kar omogoča gnezdenje nekaterim kolonijskim vrstam ptic. Dela izvaja podjetje RGP iz Velenja, ki je del skupine HSE in razpolaga z ustrezno opremo za izvajanje tovrstnih posegov. Leta 2018 so za odstranjevanje sedimentov namenili približno 1,5 milijona evrov in odstranili okoli 92.000 m³ sedimentov (Toplak, G., 2019).

4.6 Iskanje alternativnih rešitev upravljanja s sedimenti v reki Dravi

Pri upravljanju sedimentov v akumulacijskih jezerih postaja vse pomembnejši trajnostni pristop, ki poleg tehnične učinkovitosti upošteva tudi vplive na okolje in habitatne razmere. Pri odstranjevanju sedimentov je pomembno ustrezno ravnanje z odstranjenim materialom, saj lahko nepravilno odlaganje povzroča dodatne obremenitve okolja. Zato se vse pogosteje uporabljajo sonaravne rešitve, kot so revitalizacija brežin, oblikovanje ekoloških otokov ter uporaba sistemov za odvodnjavanje sedimentov. Takšni pristopi omogočajo zmanjševanje vplivov na vodni ekosistem ter prispevajo k dolgoročnemu trajnostnemu upravljanju akumulacijskih bazenov (Ilenič, A., 2020).

Pridobivanje pozitivnih mnenj vseh nosilcev urejanja prostora za izvedbo izkopov sedimentov postaja zaradi iskanja ustreznih mest za odlaganje vse zahtevnejše. Glavnina problemov se pojavlja zaradi pomanjkanja prostega prostora, kamor bi se izkopani sediment lahko trajno odložil, kar je še posebej izrazito pri hidroelektrarnah v zgornjem toku slovenskega dela reke Drave. Odstranjeni sediment iz akumulacijskih bazenov HE se namreč lahko odlaga le na lokacijah, kjer ni negativnega vpliva na obratovanje objektov HE, poplavno varnost ali stanje narave, takšnih mest pa praktično ni več na voljo. Zaradi teh omejitev je vedno težje uskladiti pogoje nosilcev urejanja prostora z ekonomsko in tehnično smiselnimi rešitvami (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

V sklopu iskanja alternativnih rešitev se je oblikovala ideja o vračanju odstranjenega sedimenta neposredno v matico reke Drave. Postopek predvideva izkop sedimenta in njegovo prečrpavanje neposredno v glavni rečni tok, ki sedimente prepusti naravnemu transportu. S tem se omogoči odstranjevanje sedimenta na najbolj problematičnih lokacijah, hkrati pa se zagotavlja ustrezna kontinuiteta sedimentov v reki. Čeprav ta način ne predstavlja končne rešitve, velja za ekonomično in izvedljivo metodo tudi v drugih akumulacijah na reki Dravi (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

V usklajevanju med podjetjem DEM, d. o. o., nosilci urejanja prostora in projektantom HSE Invest, d. o. o., je bila varianta izpusta sedimenta v reko prepoznana kot ustrezna. Odločeno je bilo, da se izvede pilotni projekt pri pregradi HE Vuhred pod natančno določenimi pogoji. Ob tem se je nosilec urejanja prostora pojavilo ključno vprašanje o vplivu sedimenta na kakovost vode oziroma spremembo kalnosti (vsebnost suspendiranih snovi), saj bi povečana kalnost lahko negativno vplivala na vodne organizme (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

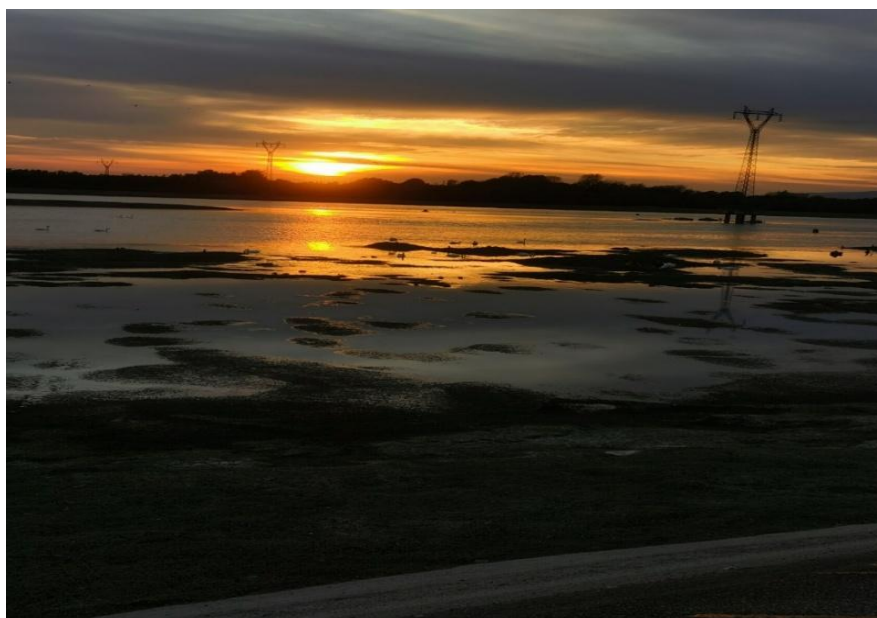
Projektant HSE Invest, d. o. o., je zato pripravil strokovne podlage, ki so določile vplive, pogoje in obseg monitoringa med izvajanjem del. Preučeni so bili vplivi kalnosti na vodne organizme in upoštevanje dobre prakse iz tujine. Pogoji izvajanja del so bili pripravljeni tako, da v nobenem primeru ne pride do poslabšanja kakovosti vode, ki bi škodovalo vodnemu ekosistemu. S pripravljenimi izhodišči so se strinjali tako v DEM, d. o. o., kot tudi vsi nosilci urejanja prostora, s čimer so bili podani temelji za začetek pilotnega projekta (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

S Slike 15 je razviden iztok mešanice vode in usedlin neposredno v spodnjo vodo HE Vuhred. Vsa dela izkopa sedimenta so potekala nemoteno in brez težav ter so bila končana v predvidenem roku. Monitoring med izvedbo del ni ugotovil negativnih vplivov na stanje okolja (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).



Slika 15: Iztok mešanice vode in usedline neposredno v spodnjo vodo HE Vuhred

Vir: Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018



Slika 16: Izpostavljene površine sedimentov na Ptujskem jezeru ob znižanem vodostaju

foto: A. Štehar, 2026

4.7 Pilotni projekt izkopa usedlin pri HE Vuhred

Namen pilotnega projekta je bil preizkusiti tehnične možnosti odstranjevanja sedimenta iz akumulacijskega bazena in preveriti vplive vračanja sedimenta nazaj v rečni tok. Projekt je bil zasnovan kot poskusna izvedba, s katero so želeli pridobiti podatke o učinkovitosti izkopa sedimenta, logistiki transporta in morebitnih vplivih na okolje (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

Postopek odstranjevanja sedimenta je vključeval mehanski izkop sedimenta z območij, kjer se je ta najintenzivneje nalagal. Izkopani material je bil nato transportiran do mesta izpusta, kjer je bil nadzorovano vrnjen v matico reke Drave. Takšen način ravnanja s sedimentom omogoča ponovno vključitev naravnega materiala v rečni transport sedimentov, kar lahko prispeva k ohranjanju naravne dinamike rečnega sistema (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

Pri izvajanju pilotnega projekta so uporabljali ustrezno mehanizacijo za izkop in manipulacijo s sedimentom. Posebna pozornost je bila namenjena nadzoru količine in načinu izpusta sedimenta v rečni tok, saj je bilo treba zagotoviti, da ne pride do večjih negativnih vplivov na kakovost vode ali vodne organizme. Spremljanje projekta je vključevalo tudi opazovanje motnosti vode in oceno širjenja sedimentnega oblaka v reki (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

Rezultati pilotnega projekta so pokazali, da je nadzorovan izkop in vračanje sedimenta v matico reke lahko ena od možnih metod upravljanja sedimentov v akumulacijskih bazenih hidroelektrarn. Takšni projekti so pomembni predvsem kot podlaga za načrtovanje podobnih ukrepov na drugih akumulacijah na reki Dravi (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

Ugotovitve pilotnega projekta so relevantne tudi za problem sedimentacije usedlin v Ptujsko jezero. Zaradi dolgotrajnega nalaganja sedimentov se tudi v tej akumulaciji pojavljajo spremembe v prostornini jezera, kar lahko vpliva na hidrološke in ekološke razmere. Izkušnje, pridobljene pri pilotnem projektu pri HE Vuhred, zato predstavljajo pomembno izhodišče za razmislek o možnih pristopih k sanaciji sedimentacije v Ptujskem jezeru (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).

Na Sliki 17 je prikazana sedimentacija, ki predstavlja pomemben problem v akumulacijskih jezerih hidroelektrarn na reki Dravi. Zaradi zmanjševanja prostornine akumulacijskih bazenov in vplivov na delovanje hidroenergetskih objektov je treba izvajati ukrepe za odstranjevanje ali upravljanje sedimentov. Eden izmed primerov preizkušanja takšnih ukrepov je bil pilotni projekt izkopa sedimenta pri HE Vuhred (Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018).



Slika 17: Izvajanje izkopa sedimentirane snovi ob bregovih akumulacije HE Vuhred s plavajočim bagrom

Vir: Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018



Slika 18: Pilotni projekt izkopa sedimenta pri HE Vuhred

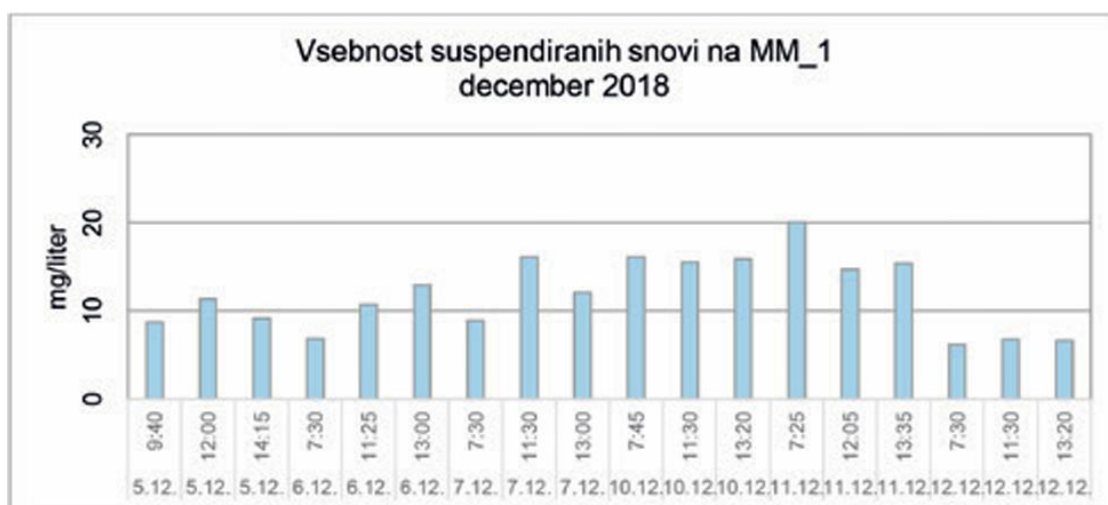
Vir: Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A., 2018

4.7.1 Izvedba meritev suspendiranih delcev

V času izvajanja del je bilo skladno s programom spremljanja za odvzem suspendiranih delcev izvajano tudi vzorčenje reke Drave. Vzorci so bili odvzeti v obdobju med 5. in 12. decembrom 2018 (Uлага et al., 2018).

MM1 (Referenčna točka): Nahaja se gorvodno nad akumulacijskim bazenom HE Vuhred. Ta lokacija je služila za ugotavljanje naravne kalnosti Drave pred mestom izkopa.

Na merilnem mestu MM_1 je bilo vzorčenje izvedeno trikrat dnevno: pred začetkom del, med njihovim izvajanjem in po zaključku del, kar je predstavljalo skupno tri vzorce na dan. Najvišja izmerjena koncentracija suspendiranih delcev je znašala 20,1 mg/l (11. 12. 2018 ob 7.25), najnižja pa 6,16 mg/l (12. 12. 2018 ob 7.30). Rezultati meritev so grafično prikazani na Sliki 19 (Uлага et al., 2018).

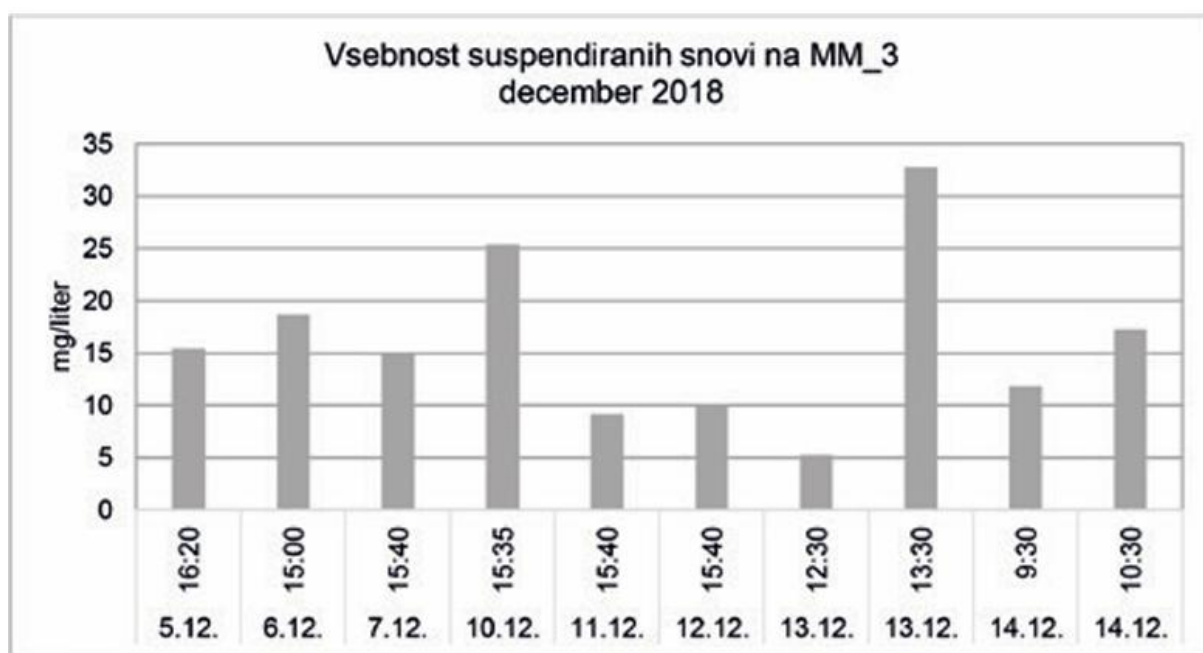


Slika 19: Vsebnost suspendiranih delcev v vodi na merskem mestu MM_1

Vir: Uлага et al. 2018

MM3 (točka vpliva na sosednji bazen): Nahaja se v naslednjem akumulacijskem bazenu. V verigi elektrarn na Dravi je to HE Ožbalt.

Slika 20 prikazuje koncentracije suspendiranih snovi na merilnem mestu MM_3 v decembru 2018. Vzorčenje je potekalo na eni točki profila enkrat dnevno v času izvajanja del in še dva dneva po zaključku del. Najvišja izmerjena koncentracija je bila 32,8 mg/l (13. 12. 2018 ob 13.30), povprečna vrednost izmerjenih koncentracij pa je znašala 16,1 mg/l. Iz rezultatov je razvidno, da koncentracije suspendiranih snovi med izvajanjem del niso dosegle vrednosti, ki bi lahko predstavljale tveganje za vodne organizme. V projektnih izhodiščih je bila kot zgornja meja navedena koncentracija 4,5 g/l, medtem ko je bila najvišja izmerjena vrednost približno 151 mg/l, kar je približno 30-krat manj od mejne vrednosti. Na podlagi meritev je možno sklepati, da izvajanje del ni povzročilo bistvenega povečanja koncentracije suspendiranih snovi v reki Dravi (Uлага et al., 2018).



Slika 20: Vsebnost suspendiranih delcev v vodi na merskem mestu MM_3

Vir: Uлага et al. 2018

4.8 Odstranjevanje sedimentov s prečrpavanjem na rob struge

Eden izmed predvidenih pristopov k urejanju sedimentov vključuje prestavljanje sedimenta na brežino oz. se v rečnem koritu naredijo tako imenovani ekološki otoki za ptice (npr. otok pred veslaškim klubom v Brestrnici, v Koblerjevem zalivu in Ptujskem jezeru). Takšni habitati, ki so namenjeni predvsem pticam, so že bili uspešno umeščeni v prostor, na primer v Koblerjevem zalivu, pred veslaškim klubom v Brestrnici ter na Ptujskem jezeru. S prečrpavanjem sedimenta neposredno na brežino se doseže razširitev obalnega pasu (kot v primeru lokacije pred Mariborskim otokom), kar omogoča sonaravno revitalizacijo obrežja. Takšne ureditve poleg ekološke vrednosti prinašajo tudi rekreativni doprinos, saj na območjih, kot je Ptujsko jezero, omogočajo vzpostavitev novih sprehajalnih poti v naravnem okolju (sprehajalna pot med zelenjem) (DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009).

Takšne sonaravne ureditve predstavljajo primer trajnostnega upravljanja sedimentov, saj poleg zmanjševanja količine sedimenta v akumulacijskem bazenu prispevajo k izboljšanju habitatnih razmer in biotske raznovrstnosti območja.



Slika 21: Prečrpavanje sedimenta na rob bazena in končna ureditev brežine

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009



Slika 22: Izgradnja otoka sredi Ptujskega jezera

Vir: DEM, d. o. o. – dokument identifikacije investicijskega projekta, 2009



Slika 23: Izsušen sediment na brežini Ptujskega jezera

foto: A. Štehar, 2026

4.9 Geotekstilne cevi

Geotekstilne cevi so tehnologija za dehidracijo (odvodnjavanje) usedlin, ki temelji na uporabi visokozmogljivih prepustnih tehničnih tkanin, oblikovanih v velike cevaste geotekstilne cevi. Tehnologija geotekstilnih cevi predstavlja učinkovito rešitev za dehidracijo velikih količin sedimenta na lokaciji. Kot navaja tehnična dokumentacija izdelovalca geotekstilnih cevi (TenCate, 2019), sistem omogoča postopno zmanjševanje volumna usedlin s filtracijo skozi namensko tkanino. Prednost metode je možnost zlaganja geotekstilnih cevi v več plasti, kar optimizira uporabo razpoložljivega prostora za deponiranje. Po zaključeni dehidraciji se delež suhe snovi znatno poveča, kar olajša nadaljnje ravnanje s sedimentom (TenCate Geosynthetics Europe, 2019). Metoda odgovarja na vprašanje, kam s sedimentom iz akumulacijskega bazena, da se izboljša habitat in rekreacijska vrednost.

- **Tehnologija geotekstilnih cevi** predstavlja tehnično nadgradnjo oziroma rešitev za primer, ko je treba sediment **dehidrirati (osušiti)**, zmanjšati njegov volumen ali ga pripraviti na odvoz. Geotekstilne cevi so namenjene zbiranju, zmanjševanju volumna in izsuševanju sedimenta z visoko vsebnostjo vode (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).
- **Postopek:** Usedlino se iz jezera črpa v geotekstilne cevi (običajno z dodatkom flokulanta), voda odteče skozi pore tkanine, trdni delci pa ostanejo ujeti v notranjosti (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).
- **Zlaganje (angl. Stacking)** geotekstilnih cevi v več plasti (piramidni sistem) omogoča obdelavo večjih količin sedimenta na prostoru (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).
- **Učinkovitost:** Po končanem procesu dehidracije se volumen sedimenta znatno zmanjša, preostala suha snov pa je pripravljena za varen transport ali trajno odlaganje (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).

Priprava lokacije

Pred namestitvijo geotekstilnih cevi je treba pripraviti ravno podlago z ustreznim naklonom za odtekanje vode. Podlaga mora biti prekrita z neprepustno geomembrano in zaščitnim geotekstilom, da se prepreči iztekanje filtrata v podtalnico (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).

Namestitev in razgrnitev

Geotekstilne cevi se dostavijo v zvitkih. Razviti jih je treba vzporedno in paziti na pravilno orientacijo polnilnih cevi. Med geotekstilnimi cevmi v isti plasti mora biti dovolj razmaka, da se med polnjenjem lahko razširijo, ne da bi se poškodovale (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).

Postopek polnjenja

Polnjenje poteka v več ciklih. Ko geotekstilna cev doseže maksimalno predpisano višino, se črpanje usedline prekine za čas, ki je potreben, da voda odteče in se pritisk v geotekstilni cevi zmanjša. Cikel se ponavlja, dokler geotekstilna cev ni polna trdnih delcev.

Prekoračitev dovoljene višine polnjenja lahko povzroči raztrganje tkanine (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).

Zlaganje v plasti

Pri zlaganju druge in naslednjih plasti mora biti usedlina v spodnjih geotekstilnih ceveh dovolj utrjena (dehidrirana), da prenese težo zgornjih cevi. Zgornje geotekstilne cevi se polagajo v vdolbine med spodnjimi (sistem »interlock«), kar zagotavlja stabilnost celotne strukture (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).

Varnostni ukrepi

- Med polnjenjem je prepovedano stati na geotekstilnih ceveh.
- Ker geotekstilne cevi omogočajo piramidno zlaganje v več plasti, so idealne za lokacije, kjer ni na voljo neskončno veliko prostora na brežini.
- Voda skozi tkanino odteče nazaj v jezero (prečiščena), v geotekstilni cevi pa ostane suha snov. Geotekstilne cevi po izsušitvi postanejo stabilne strukture, ki se lahko sčasoma prekrijejo z vegetacijo.

Slika 24 prikazuje piramidno večplastno zlaganje geotekstilnih cevi, ki se uporablja pri projektih z večjimi količinami blata in omejeno razpoložljivo površino za odvodnjavanje. Takšen način razporeditve omogoča učinkovitejšo izrabo prostora, saj se enote nalagajo v več slojih, pri čemer mora biti vsak spodnji sloj ustrezno odvodnjen in geotehnično stabilen. Posebno pozornost je treba nameniti nosilnosti podlage, stabilnosti posameznih slojev ter enakomerni porazdelitvi obremenitev, da se preprečijo posedanje, zdrs ali porušitev konstrukcije. Piramidno zlaganje povečuje skupno kapaciteto sistema in izboljšuje učinkovitost procesa odvodnjavanja blata (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).



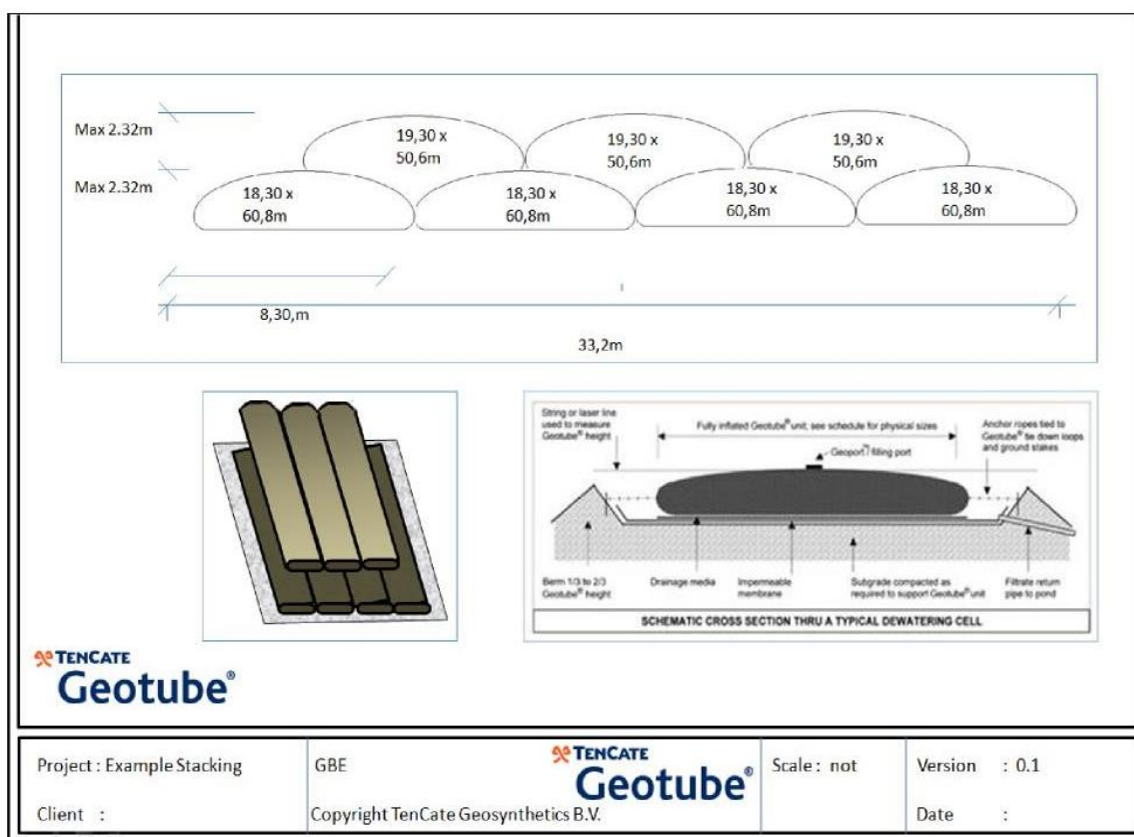
Slika 24: Piramidno zlaganje napolnjenih geotekstilnih cevi

Vir: TenCate Geosynthetics Europe, 2019

Maksimiranje kapacitete posameznih enot in kapacitete posameznih plasti geotekstilnih cevi je ključnega pomena za ekonomičnost projekta zlaganja TenCate Geotube. S povečevanjem velikosti prostora za zlaganje plasti enot geotekstilnih cevi je mogoče ohraniti enakomerno črpanje vode, ne da bi pri tem prihajalo do povečevanja »V-zareze«, to je prostora med sosednjimi geotekstilnimi cevmi (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).

Načrtovanje zloženega sistema geotekstilnih cevi mora biti v skladu s standardnimi pravili geotehničnega inženirstva. Kot osnovno pravilo TenCate priporoča zmanjšanje dolžine in širine naslednje plasti cevi za 10 m, to je najmanj 5 m na vsaki strani, razen če ustrezni preizkusi pokažejo, da zmanjšanje za 5 m ni zadostno in je treba zato dolžino ali širino naslednje plasti dodatno zmanjšati.

Pri pripravi namestitve zgornjih plasti in med polnjenjem je treba vedno upoštevati varnostna navodila, navedena v smernicah **TenCate Geotube Technology Dewatering Installation Best Practice Guidelines**, oziroma zahteve, določene s politiko podjetja, predpisi OSHA, EPA, predpisi Evropske unije in/ali drugimi pristojnimi državnimi organi (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).



Slika 25: Shema tipične zasnove zlaganja in dimenzioniranja geotekstilnih cevi

Vir: TenCate Geosynthetics Europe, 2019

Pri zlaganju enot geotekstilnih cevi sta ključnega pomena pravilna poravnava in podpora med plastmi, saj enote niso zasnovane za prenašanje neenakomernih ali visečih obremenitev. Nova cev mora biti nameščena tako, da je njena teža ob polnjenju ustrezno podprta v V-utorih spodnjih enot, pri čemer je treba pustiti dovolj prostora na robovih za preprečevanje zdrsa. Zlaganje več plasti se običajno začne centralno, z upoštevanjem stabilnosti spodnje plasti, ki mora biti popolnoma dehidrirana in brez premikov. Priporočeno je postopno polnjenje in začetno omejevanje višine, ob stalnem spremljanju morebitnih deformacij. Za zagotavljanje enakomerne obremenitve in posedanja se lahko tok materiala enakomerno porazdeli med več cevi, pri čemer se naslednje plasti praviloma umeščajo v sredino spodnje razporeditve, kar zmanjšuje lokalne napetosti v podlagi in izboljšuje stabilnost sistema (TenCate Geosynthetics Europe, 2019).



Slika 26: Prikaz večplastnega zlaganja in deformacij geotekstilnih cevi

Vir: TenCate Geosynthetics Europe, 2019

4.9.1 Primeri uspešne uporabe geotekstilnih cevi po svetu

4.9.1.1 Jezero Komsomolskoe, Rusija: 350.000 m³ kontaminiranega sedimenta je bilo izkopanega z bagrom za namen izboljšanja strukture tal v samo treh mesecih, brez kakršnih koli motenj lokalnih plaž in kopalnih aktivnosti (TenCate Geosynthetics, 2020).



Slika 27: Jezero Komsomolskoje, Rusija, iz leta 2011

Vir: TenCate Geosynthetics, 2020

Kot primer dobre prakse lahko za jezero Komsomolskoje navedemo naslednja dejstva (TenCate Geosynthetics, 2020):

- hitra izvedba: projekt je bil zaključen v samo treh mesecih;
- učinkovita sanacija: odstranjenih je bilo 350.000 m³ kontaminiranega sedimenta;
- izboljšanje kakovosti tal in dna jezera, izboljšala se je struktura sedimenta;
- minimalen vpliv na lokalno skupnost: plaža je zaradi dobre organizacije del delovala nemoteno;
- uporaba dvojnega sloja (angl. double layer) je lahko dodatni zaščitni ali stabilizacijski ukrep.

4.9.1.2. Jezero Werdenbergersee v Švici; 20.000 m³ sedimenta je bilo izkopenega z bagrom, osušenega in odstranjenega v 10 tednih (TenCate Geosynthetics, 2020).



Slika 28: Werdenbergersee, Švica

Vir: TenCate Geosynthetics, 2020

4.9.1.3. Jezero Onondaga, ZDA; 1.600.000 m³ kontaminiranega sedimenta je trajno deponiranega v šestih slojih (TenCate Geosynthetics, 2020).



Slika 29: Jezero Onondaga, ZDA

Vir: TenCate Geosynthetics, 2020

Analiza akumulacijskih jezer v Sloveniji

Analiza akumulacijskih jezer v Sloveniji kaže, da je kopičenje finega materiala (sedimenta) značilen proces v vseh večjih zaježitvah reke Drave. Ptujsko jezero in Ormoško jezero predstavljata del istega hidrološkega sistema, zato sta podvrženi podobnim sedimentacijskim procesom, ki so posledica zaježitve rečnega toka in prekinitve naravnega transporta sedimentov. V obeh primerih se sediment odlaga predvsem v obliki finega suspendiranega materiala, kar postopoma zmanjšuje prostornino akumulacijskega bazena in vpliva na hidromorfološke razmere. Pri Ptujskem jezeru je sedimentacija izrazitejša, kar je povezano z večjo površino, daljšim časom obratovanja in večjim zadrževanjem finega materiala v akumulaciji.

Ormoško jezero, ki leži nižje po toku, deluje kot nadaljevanje istega sedimentnega sistema, vendar zaradi drugačnih hidravličnih razmer pogosto prejema že delno razbremenjen sedimentni tok, kar nekoliko zmanjšuje intenzivnost nalaganja sedimenta v primerjavi s Ptujskim jezerom. V Sloveniji se problem sedimentacije ne omejuje le na Dravo, temveč se pojavlja tudi v drugih vodnih telesih, kjer so zaježitve spremenile naravni tok sedimentov. Skupna značilnost slovenskih akumulacij je, da se sedimentacija obravnava predvsem v kontekstu energetike, medtem ko so okoljski vidiki pogosto sekundarni. Uveljavljeni ukrepi vključujejo mehansko odstranjevanje sedimentov, premeščanje materiala in omejeno upravljanje pretokov (ScienceDirect b. d.).

V tujini so pristopi k reševanju problematike sedimentacije bolj celostni. Primeri iz evropskih in svetovnih jezer ter rečnih sistemov kažejo, da je najučinkovitejša kombinacija tehničnih in preventivnih ukrepov. V številnih primerih se poleg mehanskega odstranjevanja sedimentov izvaja tudi aktivno upravljanje porečij, katerega cilj je zmanjšanje vnosa sedimentov iz zaledja (UNESCO, b. d.).

Poleg tega se vse pogosteje uveljavlja koncept ponovne uporabe odstranjenih sedimentov, na primer v gradbeništvu ali pri renaturacijskih ukrepih (Ducman, V., et al., 2022).

Strokovna literatura poudarja, da zgolj mehansko odstranjevanje sedimentov ne predstavlja dolgoročne rešitve, saj se proces sedimentacije nadaljuje, če ni zmanjšan dotok materiala iz zgornjega toka reke. Zato se v sodobnih pristopih poudarja celostno upravljanje rečnih sistemov, ki vključuje erozijske ukrepe v porečju, redni monitoring sedimentov ter usklajevanje med energetskimi, okoljskimi in prostorskimi interesi. Primerjava slovenskih in tujih praks kaže na pomen celostnega upravljanja sedimentov v okviru porečja, ki vključuje tako tehnične ukrepe v akumulacijskih bazenih kot tudi upravljanje procesov v zaledju reke. Tehnični ukrepi v akumulacijskih bazenih vključujejo predvsem mehansko odstranjevanje sedimentov, hidravlično izpiranje, prilagajanje vodnega režima ter uporabo struktur za usmerjanje ali zadrževanje sedimentov znotraj akumulacijskega prostora.

Upravljanje procesov v zaledju reke Drave zajema ukrepe za zmanjševanje erozije tal, stabilizacijo brežin, prilagajanje kmetijskih dejavnosti, urejanje hudourniških pritokov ter prostorsko načrtovanje, usmerjeno v zmanjšanje vnosa sedimentov v rečni sistem.

4.9.2 Geotekstilne cevi na Ptujskem jezeru

Na območju Ptujkega jezera se je zaradi delovanja hidroelektrarne nalagal sediment v takšni količini, da se je na teh območjih (slika 30, 31, 32) zmanjšala globina jezera. Zaradi vzpostavitve normalne pretočnosti in preprečitve izsuševanja na tem območju se sedimente – skladno z zakonodajo – prestavlja na brežino jezera (Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o., 2025).

Mesto odvzema vzorca v D96/TM koordinatnem sistemu (Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o., 2025):

- E 569334,9
- N 140907,7



Slika 30: Vzorčno mesto sedimenta na območju leve strani brežine Ptujkega jezera

Vir: Projektna naloga za izdelavo fizikalno-kemijske analize sedimentov in vode v letu 2025, DEM, d. o. o.

Mesto odvzema vzorca v D96/TM koordinatnem sistemu (Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o., 2025):

- E 568485,9
- N 141376,7

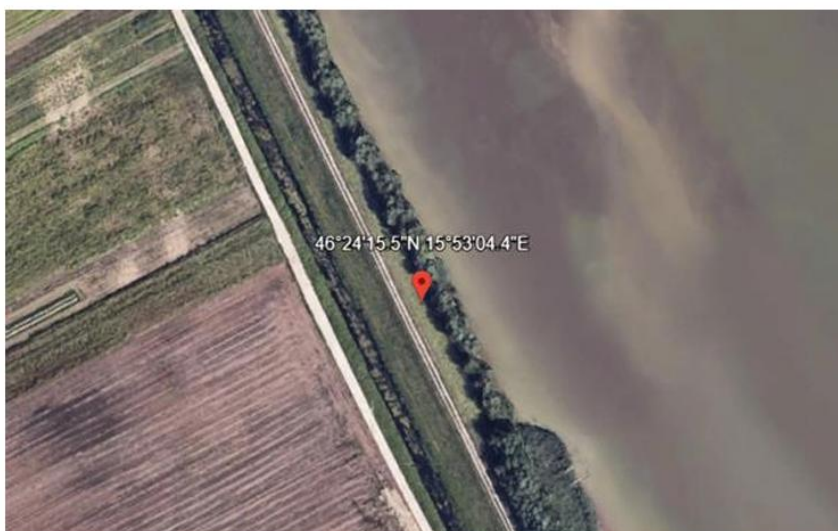


Slika 31: Vzorčno mesto sedimenta na območju leve strani brežine Ptujskega jezera

Vir: Projektna naloga za izdelavo fizikalno-kemijske analize sedimentov in vode v letu 2025, DEM, d. o. o.

Mesto odvzema vzorca v D96/TM koordinatnem sistemu (Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o., 2025):

- E 568012,9
- N 140892,7



Slika 32: Vzorčno mesto sedimenta na območju desne strani brežine Ptujskega jezera

Vir: Projektna naloga za izdelavo fizikalno-kemijske analize sedimentov in vode v letu 2025, DEM, d. o. o.

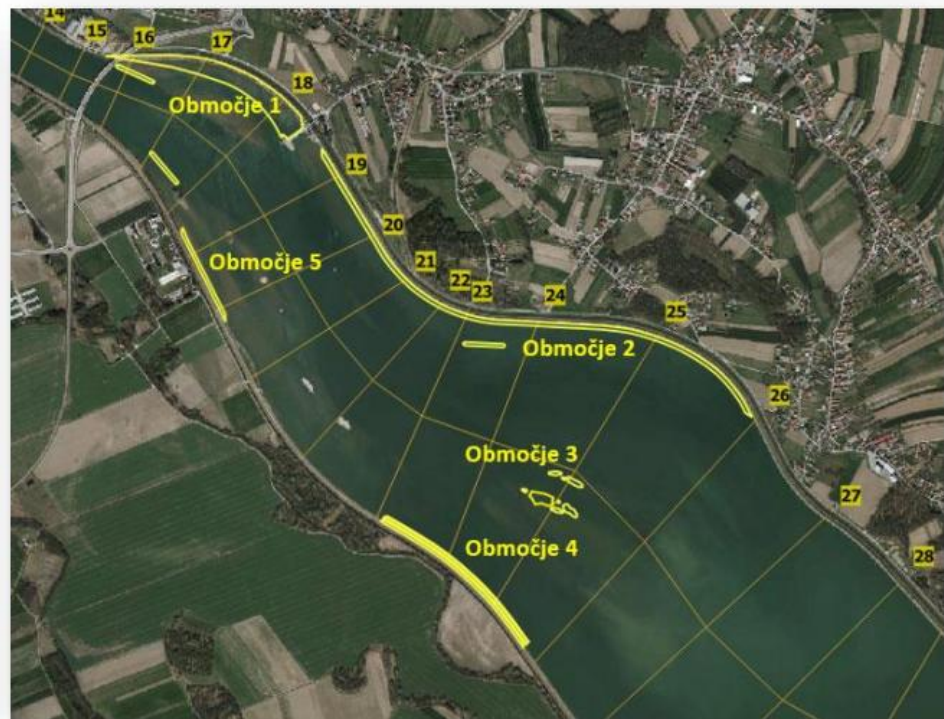
Na Sliki 33 je prikazan sistem geotekstilnih cevi, ki se je izkazal kot učinkovit ukrep za upravljanje sedimentov, saj omogoča odstranjevanje sedimenta in zmanjšuje vpliv sedimentacije na obrežno območje Ptujskega jezera.



Slika 33: Sistem zlaganja geotekstilnih cevi na Ptujskem jezeru

foto: A. Štehnar, 2026

Območje 4 na Sliki 34 predstavlja del desne brežine Ptujskega jezera med profiloma P23 in P26, na katerem je predlagana izvedba novega zadrževalnika prečrpanih sedimentov v obliki geotekstilnih cevi v globini do kote 218,0 mn. m. in dvojne geotekstilne cevi neposredno ob brežini, v širini nadvodnega dela 8 m, z brežino, omejeno z lesenimi kaštami na geotekstilnih ceveh. Tako v raziskavi vodnega toka kot tudi v raziskavi transporta sedimentov niso zaznali opaznega vpliva tega posega na vodni tok in na odlaganje oz. odplavljanje sedimentov v jezeru (Jenič, A., Pliberšek, K., 2024).



Slika 34: Pet izbranih območij za izvajanje ukrepov za zmanjšanje odlaganja sedimentov v Ptujskem jezeru

Vir: DEM, d. o. o.

5 REZULTATI IN INTERPRETACIJA ANKETE

V priujuem poglavju predstavljam pripravo, izvedbo in rezultate ankete, s katero elim ugotoviti, kako med prebivalci Mestne obine Ptuj in Obine Markovci poteka analiza izvajanja naainov zmanjševanja posledic sedimentacije mulja v Ptujem jezru. Namen raziskave je ugotoviti, kako dobro so prebivalci obin Markovci in Ptuj ozavešeni o posledicah sedimentacije mulja v Ptujem jezru.

5.1 Vsebina ankete

Anketni obrazec in vprašanja so bila oblikovana z namenom ugotoviti, kako prebivalci Mestne obine Ptuj in Obine Markovci poznajo problematiko sedimentacije mulja v Ptujem jezru, kakšno je njihovo razumevanje njenih posledic ter v kolikšni meri so seznanjeni z možnimi ukrepi za sanacijo.

5.2 Izvedba ankete

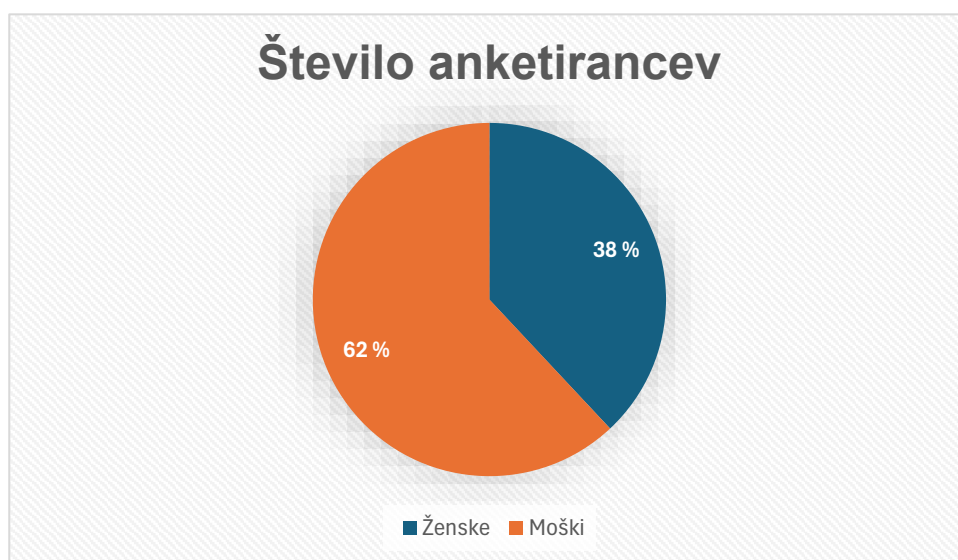
V anketi so sodelovali prebivalci Mestne obine Ptuj in Obine Markovci z različnimi stopnjami izobrazbe (osnovnošolska, srednješolska, višješolska, visokošolska, magisterij ali doktorat). Anketiranje je potekalo na območju Ptujkega jezera, kjer so anketiranci anketo izpolnjevali na kraju samem. Razdeljenih je bilo 71 anketnih vprašalnikov, od katerih je bilo izpolnjenih 71.

5.3 Udeleženci ankete

Zaradi lažje obdelave in interpretacije rezultatov sem zbrala tudi osnovne družbeno demografske značilnosti anketirancev, pri čemer je bila zagotovljena anonimnost podatkov. Z anketo pridobljene odgovore sem uporabila izključno za izdelavo interne analize v priujuem magistrskem delu.

Na anketo je odgovorilo 71 oseb, od tega 27 žensk in 44 moških. Povprečna starost vseh anketirancev je bila 43,6 leta.

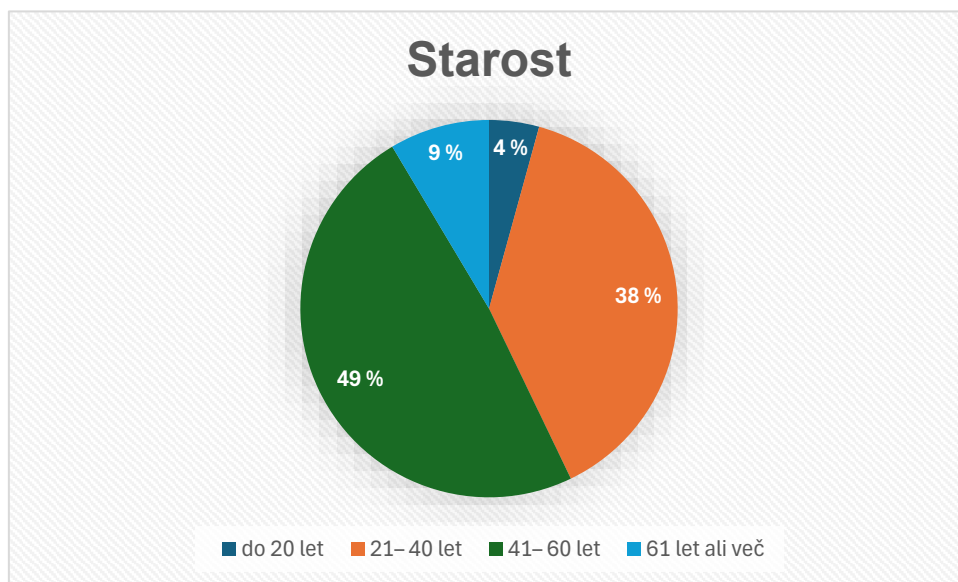
Kot je razvidno s Slike 35, je anketo izpolnilo več moških kot žensk, in sicer 62 % moške ter 38 % ženske populacije.



Slika 35: Število izpolnjenih anket.

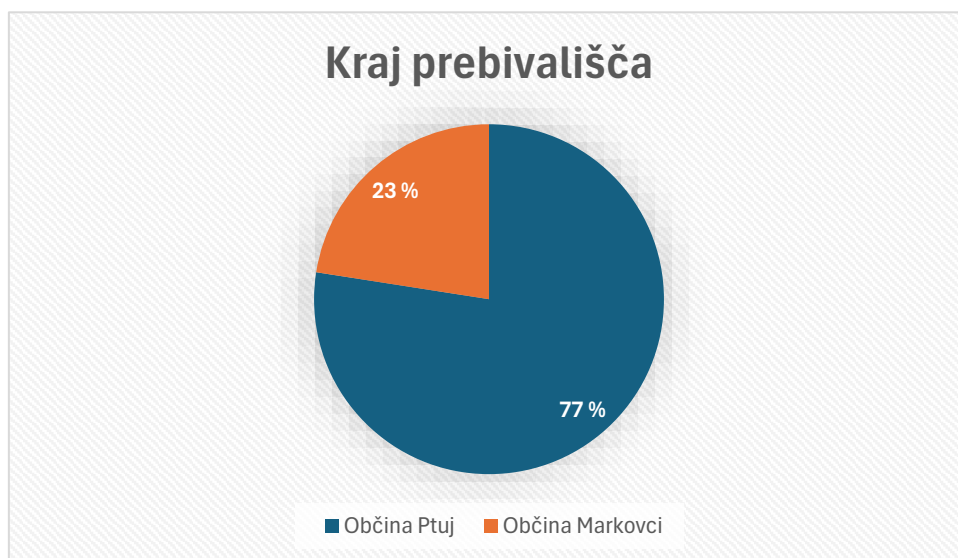
V anketi so sodelovali anketiranci različnih starostnih skupin. Največji delež predstavljajo osebe, stare med 41 in 60 let (49 %), sledijo anketiranci v starostni skupini od 21 do 40 let (38 %). Manjši delež predstavljajo starejši od 61 let (9 %), najmanj pa je bilo anketirancev, mlajših od 20 let (4 %).

Iz rezultatov na Sliki 36 je razvidno, da je bila večina sodelujočih v srednjih starostnih skupinah (41–60 let).



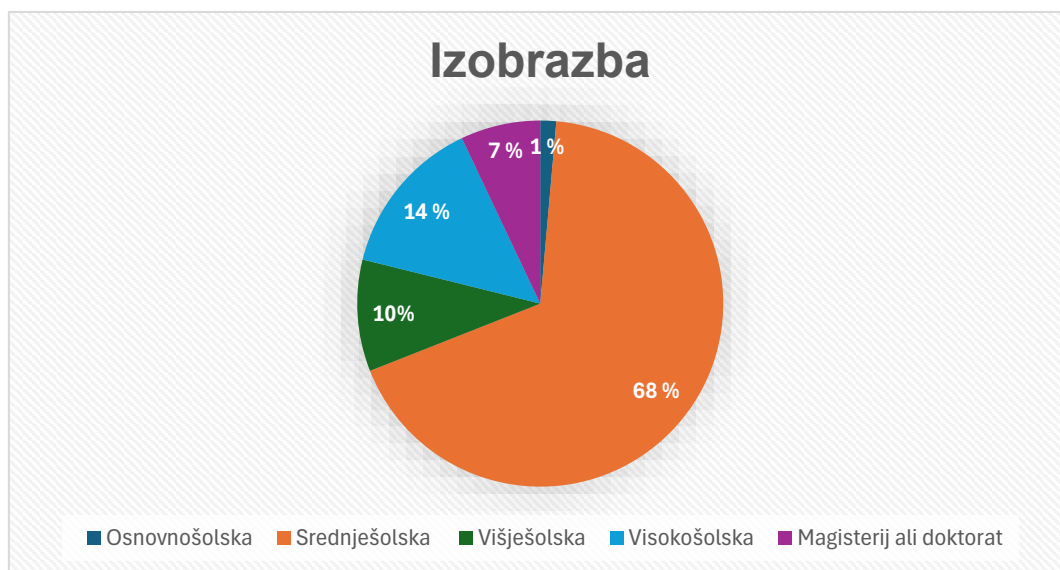
Slika 36: Starost anketirancev.

Anketiranci prihajajo z dveh območij, in sicer iz Mestne občine Ptuj in Občine Markovci. Večji delež, to je 77 % anketirancev, prihaja iz Mestne občine Ptuj, medtem ko manjši delež, ki znaša 23 %, predstavljajo prebivalci Občine Markovci.



Slika 37: Kraj prebivališča anketirancev.

Prevladujejo anketiranci s srednješolsko izobrazbo (68 %), sledijo posamezniki z visokošolsko (14 %) in višješolsko izobrazbo (10 %). Delež anketirancev z najvišjimi akademskimi nazivi (7 %) je razmeroma nizek, prav tako pa je zelo majhen delež oseb z zgolj osnovnošolsko izobrazbo (1 %).



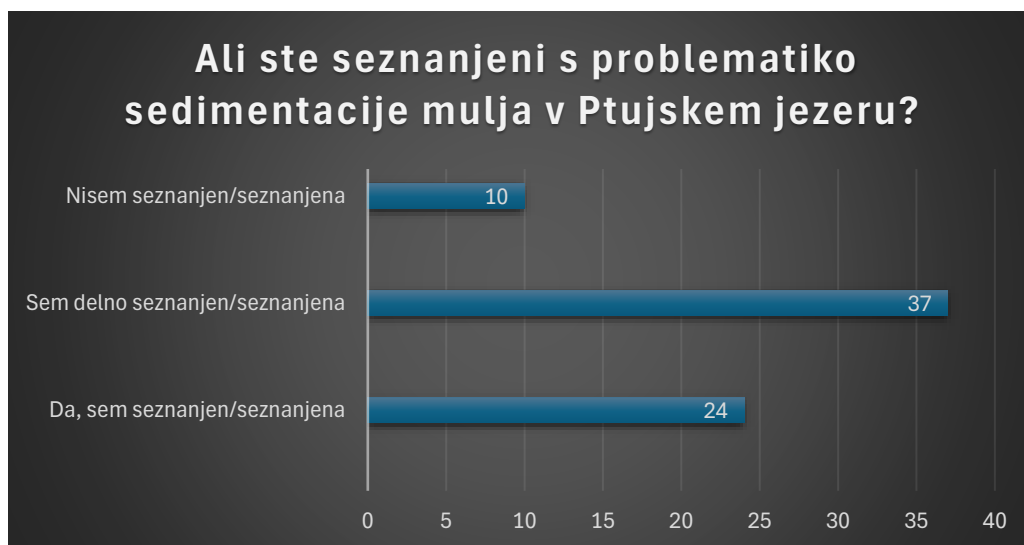
Slika 38: Izobrazba anketirancev.

Slika 39 prikazuje odgovore respondentov na vprašanje o pogostosti obiskovanja Ptujkega jezera. Večina anketirancev, natančneje 63 %, je odgovorila pritrdilno (DA), kar pomeni, da jezero obiskujejo redno. Preostalih 37 % vprašanih jezera ne obiskuje redno (NE).



Slika 39: Delež rednih obiskovalcev Ptujkega jezera.

Rezultati analize stopnje seznanjenosti s problematiko sedimentacije mulja (slika 40) kažejo, da je največja skupina vprašanih, to je 37 anketirancev, s težavo delno seznanjena. Sledijo tisti, ki problematiko dobro poznajo (24 anketirancev), medtem ko je le manjšina (10 anketirancev) odgovorila, da s tem vprašanjem sploh ni seznanjena.



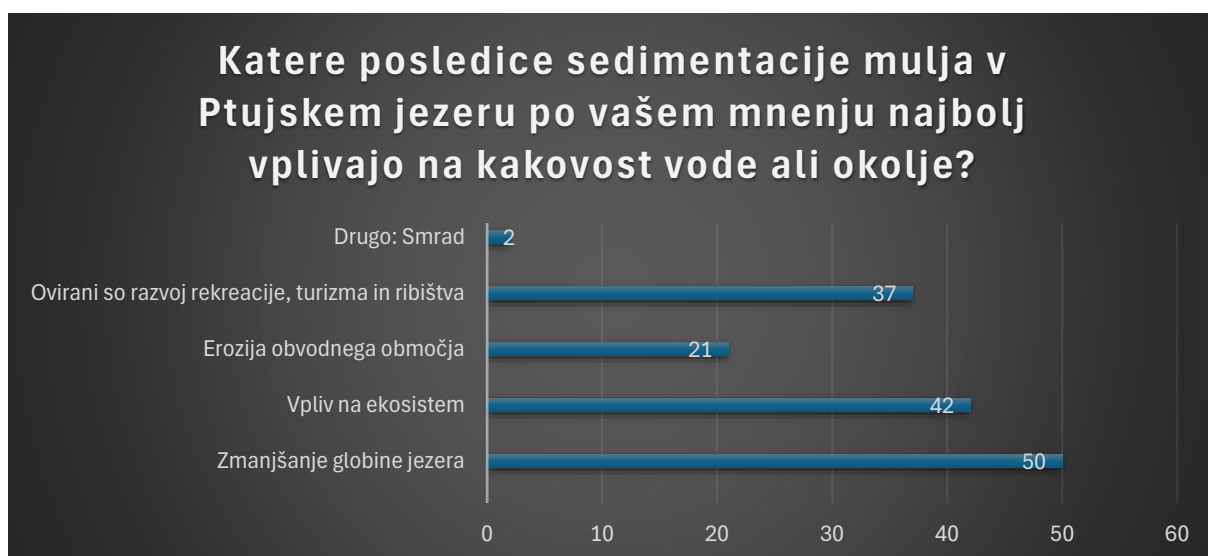
Slika 40: Stopnja seznanjenosti anketirancev s problematiko sedimentacije sedimenta v Ptujskem jezeru.

Argumentacija – zakaj je to pomembno?

- **Visoka stopnja zavedanja:** Problematika v lokalnem okolju je izrazita in družbeno prisotna, saj je več kot 85 % vseh anketirancev (61 od 71) o problemu vsaj že slišalo oziroma so z njim delno ali povsem seznanjeni.
- **Relevantnost za nadaljnje odgovore:** Ker je večina anketirancev seznanjena s problemom, so njihovi odgovori (npr. o rešitvah, vplivu na turizem itd.) verodostojnejši, saj ne odgovarjajo »na slepo«.
- **Vrzel v obveščanju:** Čeprav je malo tistih, ki s to problematiko niso seznanjeni, je dejstvo, da je največja skupina le delno seznanjena, kar nakazuje na potrebo po boljšem informiranju javnosti o specifikah in dolgoročnih posledicah sedimentacije.

Iz rezultatov na Sliki 41 je razvidno, da anketiranci kot najbolj kritično posledico sedimentacije prepoznajo zmanjšanje globine jezera (50 odgovorov). Sledita vpliv na ekosistem (42 odgovorov) in ovirani razvoj rekreacije, turizma ter ribištva (37 odgovorov). Manjši del anketirancev izpostavlja erozijo obvodnega območja (21), medtem ko sta dva anketiranca pod kategorijo »drugo« samoiniciativno izpostavila smrad.

Rezultati kažejo na visoko stopnjo ozaveščenosti anketirancev. Čeprav se del teh ne opredeljuje za strokovno seznanjene, njihova identifikacija ključnih posledic (zmanjšanje globine, ekosistemski vplivi) kaže na to, da problematiko v okolju jasno zaznavajo in jo znajo kritično ovrednotiti.

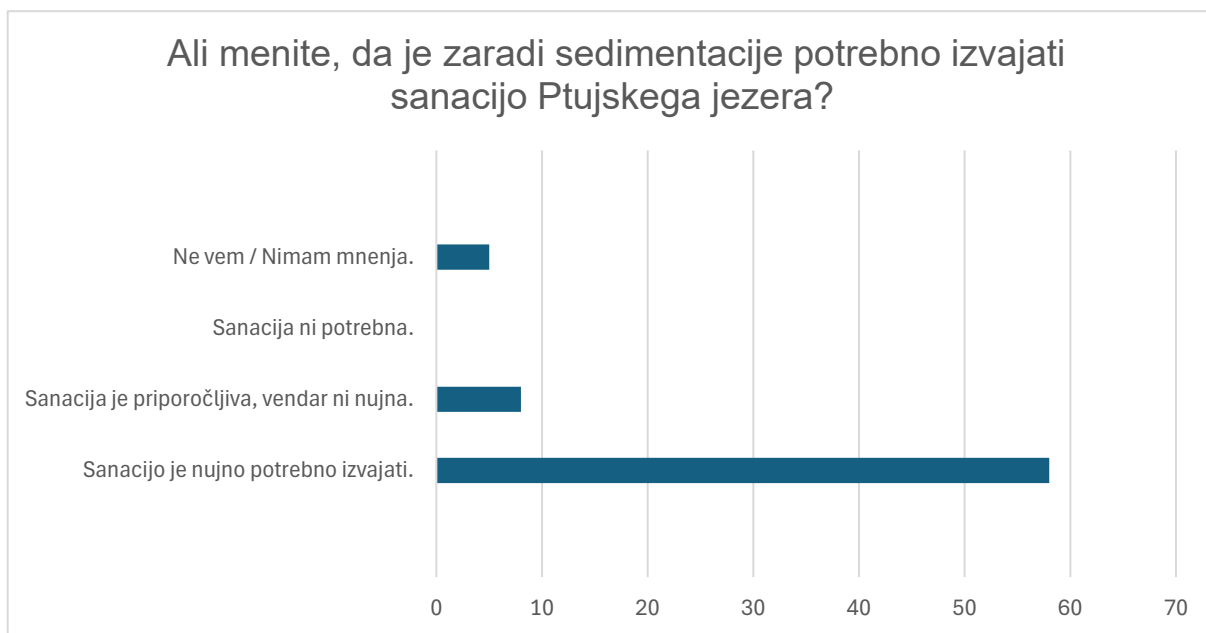


Slika 41: Mnenja anketirancev o posledicah sedimentacije na kakovost vode in okolje.

Graf (Slika 42) prikazuje rezultate ankete o mnenju javnosti glede sanacije Ptujskega jezera zaradi kopičenja sedimentov. Rezultati kažejo na močno podporo ukrepanju:

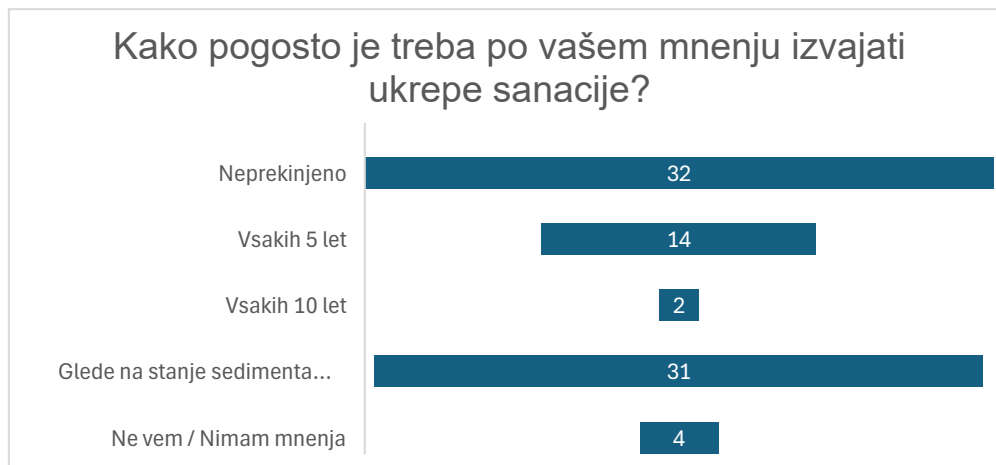
- Velika večina anketirancev (58 oseb) meni, da je treba sanacijo nujno izvajati.
- Manjša skupina (osem oseb) meni, da je sanacija sicer priporočljiva, vendar ni nujna.
- Zelo malo ljudi (pet oseb) nima mnenja ali ne ve, kako bi se opredelili.
- Nihče pa ni izbral možnosti, da sanacija sploh ni potrebna.

Podatki kažejo, da javnost (oziroma sodelujoči v anketi) vidi sedimentacijo mulja v Ptujskem jezeru kot resno težavo, zato podpirajo izvedbo sanacijskih ukrepov.



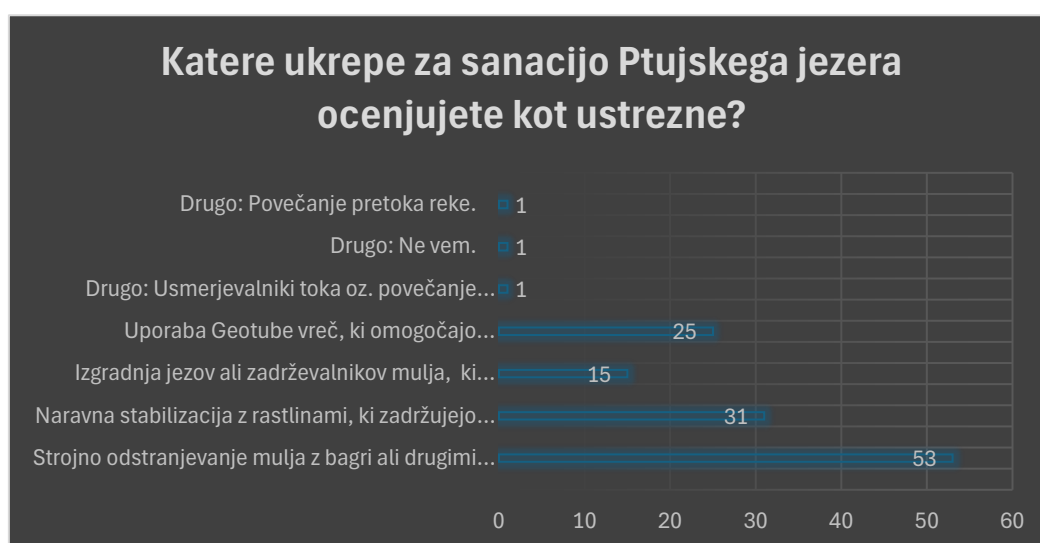
Slika 42: Mnenje javnosti o nujnosti sanacije Ptujskega jezera.

Rezultati ankete kažejo (Slika 43), da velika večina anketirancev prepoznava sedimentacijo mulja kot težavo, ki jo je treba nujno izvajati. Pri vprašanju o dinamiki del sta odgovora razdeljena med neprekinjeno izvajanje ukrepov in prilagajanje glede na dejansko stanje sedimenta, kar kaže na željo po sistemski in strokovno vodeni rešitvi. Nasprotovanja sanaciji ni zaznati.



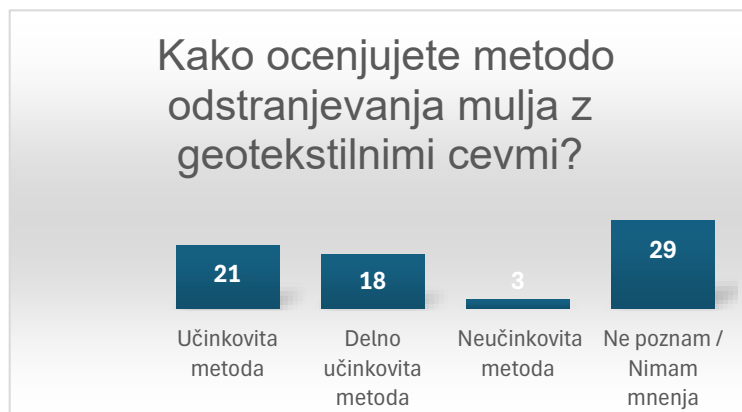
Slika 43: Mnenje anketirancev o pogostosti izvajanja ukrepov sanacije.

Anketiranci so kot najustreznejši ukrep za sanacijo Ptujškega jezera izpostavili odstranjevanje mulja z bagri (53 glasov). Podporo so namenili tudi naravni stabilizaciji z rastlinami (31 glasov) in uporabi geotekstilnih cevi (25 glasov), medtem ko se je za izgradnjo jezov oziroma zadrževalnikov mulja odločilo 15 anketirancev. Posamezni predlogi v kategoriji »drugo« izpostavljajo predvsem hidrodinamične rešitve, kot je povečanje pretoka Drave za preprečevanje odlaganja sedimenta. Rezultati kažejo, da javnost najbolj zaupa preizkušenim mehanskim metodam odstranjevanja mulja.



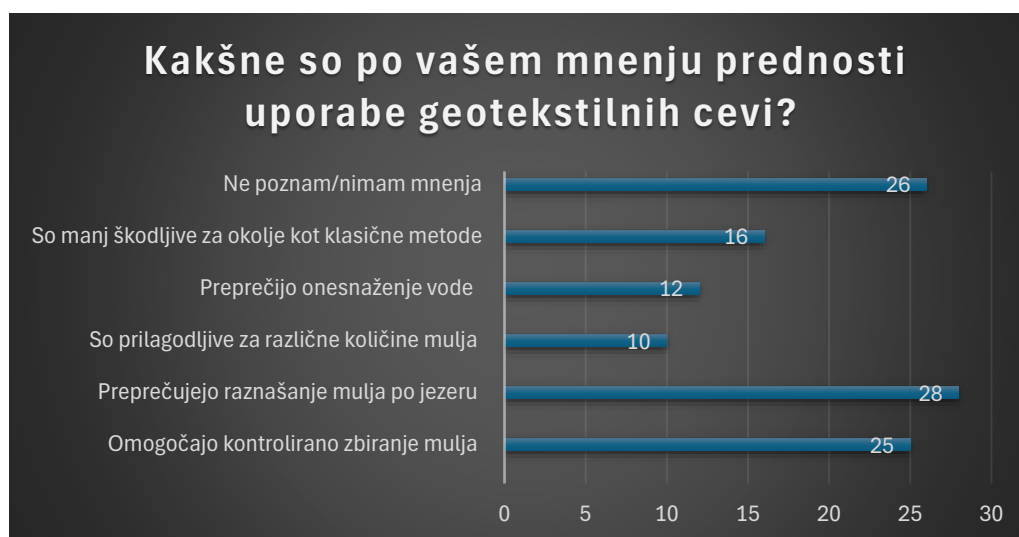
Slika 44: Ocena ustreznih ukrepov za sanacijo Ptujškega jezera po mnenju anketirancev.

Pri ocenjevanju specifične metode odstranjevanja mulja z geotekstilnimi cevmi (Slika 45) so rezultati mešani, saj največji delež anketirancev (29) metode ne pozna ali o njej nima mnenja. Med tistimi, ki metodo poznajo, prevladuje pozitivno stališče, saj jih 21 meni, da gre za učinkovito metodo, 18 pa jo ocenjuje kot delno učinkovito. Le zanemarljiv delež anketirancev (3) meni, da je metoda neučinkovita. Podatki kažejo, da je tehnologija med širšo javnostjo še relativno nepoznana, a tisti, ki so z njo seznanjeni, v njej vidijo velik potencial za sanacijo jezera.



Slika 45: Poznavanje metode geotekstilnih cevi in ocena njene učinkovitosti med anketiranci.

Anketiranci kot glavni prednosti uporabe geotekstilnih cevi izpostavljajo preprečevanje raznašanja mulja po jezeru (28 glasov) in omogočanje kontroliranega zbiranja sedimenta (25 glasov). 16 anketirancev meni, da je manj škodljiva za okolje kot klasične metode in da preprečuje onesnaženje vode. Kljub prepoznanim prednostim pa visoko število odgovorov v kategoriji »ne poznam/nimam mnenja« (26) ponovno potrjuje, da javnost potrebuje dodatne informacije o delovanju te tehnologije.



Slika 46: Mnenje anketirancev o prednostih uporabe metode geotekstilnih cevi.

S Slike 47 je razvidno, da so anketiranci prepričani, da sediment v Ptujskem jezeru negativno vpliva na razvoj turizma (52 glasov) in ribištva (47 glasov). Poleg gospodarskih dejavnikov vprašani poudarjajo logistične in rekreacijske ovire, saj menijo, da sediment ovira plovbo s plovili (42) ter zmanjšuje obisk kopalcev (36). Delež tistih, ki vpliva ne zaznavajo ali o njem nimajo mnenja, je nizek, kar potrjuje splošno prepričanje anketirancev, da kopičenje mulja zavira razvojni potencial regije.



Slika 47: Vpliv sedimenta na lokalno okolje.

Slika 48 prikazuje, da med tistimi, ki so podali konkretne predloge, najbolj izstopa želja po rednem odstranjevanju mulja. Posamezniki so izpostavili še povečanje pretoka vode, boljši nadzor nad onesnaževanjem pritokov ter povečanje ozaveščenosti javnosti o varovanju jezera.

Odgovori anketirancev:

Odgovor 1: Ne.

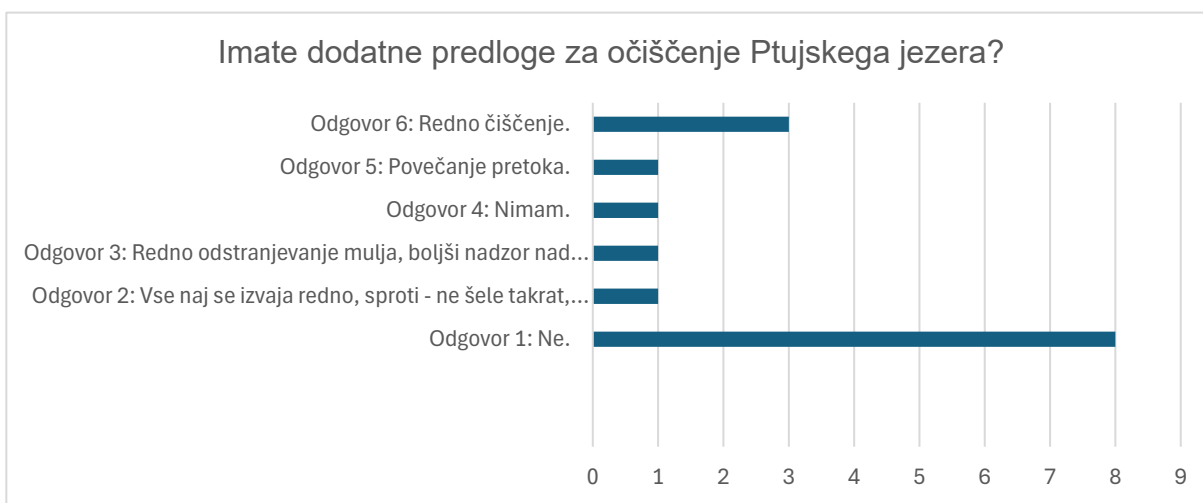
Odgovor 2: Vse naj se izvaja redno, sproti – ne šele takrat, ko je mulja/usedlin že veliko.

Odgovor 3: Redno odstranjevanje mulja, boljši nadzor nad onesnaževanjem pritokov ter povečanje ozaveščenosti javnosti o varovanju jezera.

Odgovor 4: Nimam.

Odgovor 5: Povečanje pretoka.

Odgovor 6: Redno čiščenje.



Slika 48: Vsebinski pregled dodatnih predlogov anketirancev za sanacijo Ptujškega jezera.

5.4 Sklepi v zvezi z anketo

Pri izvajanju ankete sem se usmerila na družbeno-geografske vidike anketirancev in na njihovo poznavanje in zavedanje pomena sanacije posledic sedimentacije v Ptujskem jezeru. Zanimalo me je mnenje javnosti o nujnosti ukrepanja, pogostosti izvajanja sanacije ter izbira najustrežnejših metod za odstranjevanje sedimenta. Ugotovila sem, da se velika večina anketirancev močno zaveda problema sedimentiranja mulja, saj menijo, da negativno vpliva na lokalno okolje, predvsem na razvoj turizma, ribištva in slabša pogoje za plovbo. Sodeč po anketi je največ vprašanih izbralo odgovor, da je treba sanacijo jezera nujno izvajati.

Anketiranci kot najustrežnejši ukrep za čiščenje jezera prepoznajo odstranjevanje sedimenta z bagri, pomemben delež pa podpira tudi sonaravne rešitve, kot je stabilizacija z rastlinami. Glede na rezultate ankete je možno sklepati, da so anketiranci prepričani v nujnost izvedbe čiščenja, so pa nekoliko manj seznanjeni s sodobnimi tehnologijami, kar kažejo odgovori o metodi geotekstilnih cevi, kjer je velik delež vprašanih ostal neopredeljen. Anketiranci želijo da čiščenje jezera poteka redno in kontinuirano.

Sklepati je možno, da je treba obveščanju občanov posvetiti kar največ pozornosti in jih sproti seznanjati s tehnološkimi rešitvami ter dolgoročno strategijo upravljanja z jezerom. Treba bo vzpostaviti sistemski nadzor nad onesnaževanjem pritokov v jezero. Glede na rezultate ankete bi lahko sklepala, da imajo prebivalci odgovoren odnos do vodnega telesa in izražajo jasno pričakovanje po aktivni sanaciji, ki bo omogočila ponovni razcvet rekreacijskih in gospodarskih dejavnosti ob Ptujskem jezeru.

6 ZAKLJUČEK

Magistrsko delo obravnava problematiko sedimentacije mulja v Ptujskem jezeru in možnosti za zmanjševanje okoljskih in funkcionalnih posledic. Ptujsko jezero je največje umetno jezero v Sloveniji in je zelo pomemben člen hidroenergetskega sistema na reki Dravi. Zaradi zmanjšane hitrosti vodnega toka v akumulacijskem bazenu prihaja do intenzivnega odlaganja sedimentov, kar vpliva na zmanjšanje koristnega volumna akumulacijskega bazena, na kakovost vode, habitatne razmere ter delovanje hidroelektrarne Formin.

V magistrskem delu so predstavljeni procesi nastajanja sedimentacije, transport sedimentov in vplivi nakopičenih sedimentov na vodni ekosistem. Obravnavani so tudi zakonodajni okvirji upravljanja voda, varstva okolja in ohranjanja narave. Poseben poudarek je namenjen mehanskim načinom upravljanja s sedimenti, sonaravnim vplivom ter uporabi geotekstilnih cevi za dehidracijo sedimentov.

V delu so predstavljeni primeri upravljanja s sedimenti na reki Dravi, vključno s pilotnim projektom pri HE Vuhred, ter primeri sonaravnega urejanja obrežnih območij ter ekoloških otokov. Ugotavljam, da je sedimentacija mulja okoljski, tehnični in ekonomski problem, ki zahteva redno spremljanje stanja sedimenta v sedimentacijski posodi in izvajanje ustreznih sanacijskih ukrepov.

Prvi cilj magistrskega dela je bil identificirati in analizirati glavne vire onesnaženja Ptujkega jezera ter vpliv sedimentov na kakovost vode in ekosistem. Ugotovila sem, da sedimentacija predstavlja pomemben dejavnik sprememb v akumulacijskem bazenu, saj vpliva na zmanjševanje koristnega volumna jezera, zaraščanje plitvin s trstiko ter na habitatne razmere vodnih in obvodnih organizmov.

Drugi cilj je bil preučiti zakonodajo s področja ravnanja s sedimenti ter analizirati učinkovitost obstoječih ukrepov. Pregled zakonodaje je pokazal, da je upravljanje sedimentov povezano s predpisi s področja varstva voda, varstva okolja in ohranjanja narave. Posebne omejitve in zahteve predstavljajo tudi varovana območja Nature 2000, ki jih je potrebno upoštevati pri načrtovanju in izvajanju sanacijskih posegov.

Tretji cilj je bil seznaniti se z načini zajemanja in odlaganja sedimenta. V okviru raziskave so sem predstavila in analizirala različne metode odstranjevanja sedimentov, med katerimi izstopajo mehanski izkop, prečrpavanje sedimentov na rob struge ter uporaba geotekstilnih cevi za odstranjevanje sedimentov iz Ptujkega jezera.

Četrty cilj je bil oceniti možnosti za ponovno uporabo sedimenta (npr. v gradbene namene). Ugotovila sem, da sediment predstavlja potencialen vir sekundarne surovine za različne namene, vendar je treba pred njegovo uporabo preveriti njegove fizikalne in kemijske lastnosti ter skladnost z veljavno zakonodajo.

Peti cilj je bil predlagati trajnostne rešitve in ukrepe za zmanjševanje okoljskih tveganj pri upravljanju Ptujkega jezera. Na podlagi ugotovitev so bili kot pomembni ukrepi prepoznani redno spremljanje sedimentacije, pravočasno odstranjevanje sedimentov, uporaba sodobnih tehnoloških rešitev ter zmanjševanje vnosa sedimentov v akumulacijski bazen. Rezultati ankete so pokazali tudi, da prebivalci podpirajo izvajanje sanacijskih ukrepov in se zavedajo pomena dolgoročnega ohranjanja Ptujkega jezera.

Izvedla sem anketo med prebivalci Mestne občine Ptuj in Občine Markovci, s katero sem želela ugotoviti, kako oni vidijo problem sedimentacije. Rezultati ankete kažejo, da se večina anketirancev zaveda problema sedimentiranja mulja v Ptujskem jezeru in podpira izvajanje sanacijskih ukrepov. Kot pomembne ukrepe izpostavljajo redno odstranjevanje sedimentov, izboljšanje upravljanja vodotokov in uporabo sodobnih tehnologij za zmanjšanje vplivov na okolje.

Na podlagi pregleda literature, strokovnih virov in rezultatov ankete sem prišla do sklepa, da je treba z namenom dolgoročnega ohranjanja funkcionalnosti sedimentacijskega bazena izvajati aktivnosti, ki omogočajo tehnične, preventivne in sonaravne ukrepe za trajnostno ter učinkovito upravljanje s sedimenti, proizvodnjo električne energije ter ohranjanja ekološkega ravnovesja Ptujkega jezera.

V magistrskem delu sem preverila dve raziskovalni hipotezi:

Potrdila sem hipotezo 1, ki pravi, da ima povečana stopnja sedimentacije različnih snovi v Ptujko jezero vpliv na ekosistem, to je na živalske ter rastlinske vrste. Pregled strokovne literature je namreč pokazal, da kopičenje sedimentov vpliva na kakovost vode, zmanjšuje vsebnost raztopljenega kisika ter prispeva k spremembam habitatnih razmer v vodnem ekosistemu. Posledice se kažejo v zaraščanju plitvin, spremembah življenjskih pogojev za vodne organizme in zmanjševanju biotske raznovrstnosti. Ugotovitve iz literature potrjujejo tudi rezultati anketne raziskave, ki kažejo, da lokalno prebivalstvo zaznava sedimentacijo kot pomemben okoljski problem ter podpira izvajanje ukrepov za izboljšanje stanja Ptujkega jezera.

Prav tako sem potrdila hipotezo 2, ki pravi, da je pojav sedimentacije v Ptujkem jezeru predvsem posledica spremenjenega vodnega režima zaradi obratovanja hidroelektrarn. Pregled strokovne literature in tehnične dokumentacije kaže, da akumulacijski bazeni hidroelektrarn povzročajo zmanjšanje hitrosti vodnega toka, kar pospešuje usedanje sedimentnih delcev. Spremenjene hidromorfološke razmere tako pomembno vplivajo na intenzivnost sedimentacijskih procesov v Ptujkem jezeru.

Na osnovi preverjanja hipotez lahko zaključim, da sedimentacija predstavlja pomemben okoljski problem Ptujkega jezera, katerega vzroki in posledice zahtevajo celovit pristop k upravljanju vodnega prostora. Rezultati raziskave potrjujejo potrebo po dolgoročnem spremljanju sedimentacijskih procesov, izvajanju ustreznih sanacijskih ukrepov ter tesnem sodelovanju med upravljavci hidroelektrarn, strokovno javnostjo in lokalnim prebivalstvom.

7 SUMMARY

This master's thesis addresses the issue of sediment accumulation in Lake Ptuj and the possibilities for reducing its environmental and functional impacts. Lake Ptuj is the largest artificial lake in Slovenia and represents a highly important component of the hydropower system on the Drava River. Due to the reduced water flow velocity within the reservoir, intensive sediment deposition occurs, resulting in a reduction of the reservoir's useful storage capacity, deterioration of water quality, impacts on habitat conditions, and reduced operational efficiency of the Formin Hydroelectric Power Plant.

The thesis presents the processes of sediment formation, sediment transport, and the impacts of accumulated sediments on the aquatic ecosystem. It also examines the legislative framework governing water management, environmental protection, and nature conservation. Particular emphasis is placed on mechanical sediment management methods, nature-based approaches, and the use of geotextile tubes for sediment dewatering.

The thesis presents examples of sediment management practices on the Drava River, including the pilot project at the Vuhred Hydroelectric Power Plant, as well as examples of nature-based riverbank restoration and the creation of ecological islands. The findings indicate that sediment accumulation is an environmental, technical, and economic issue that requires regular monitoring of sediment conditions within the sedimentation basin and the implementation of appropriate remediation measures.

The first objective of the thesis was to identify and analyse the main sources of pollution affecting Lake Ptuj and to examine the impact of sediments on water quality and the ecosystem. The findings show that sedimentation is a significant factor influencing changes within the reservoir, as it reduces the useful storage volume of the lake, promotes the overgrowth of shallow areas with common reed, and affects the habitat conditions of aquatic and riparian organisms.

The second objective was to examine the legislation governing sediment management and to analyse the effectiveness of existing measures. The legislative review showed that sediment management is regulated through legislation related to water protection, environmental protection, and nature conservation. Additional restrictions and requirements arise from protected Natura 2000 areas, which must be considered when planning and implementing remediation measures.

The third objective was to examine methods for sediment removal and disposal. As part of the research, various sediment removal methods were presented and analysed, including mechanical excavation, pumping sediments to the riverbank, and the use of geotextile tubes for removing sediments from Lake Ptuj.

The fourth objective was to assess the potential for the beneficial reuse of sediments, for example in the construction industry. The findings indicate that sediments represent a potential source of secondary raw materials for various applications. However, before reuse, their physical and chemical properties and compliance with the applicable legislation must be verified.

The fifth objective was to propose sustainable solutions and measures for reducing environmental risks associated with the management of Lake Ptuj. Based on the findings, important measures include regular monitoring of sediment accumulation, timely sediment removal, the application of modern technological solutions, and reducing sediment input into

the reservoir. The survey results also showed that local residents support the implementation of remediation measures and recognise the importance of preserving Lake Ptuj over the long term.

A survey was conducted among residents of the Municipality of Ptuj and the Municipality of Markovci to determine their perception of the sedimentation problem. The survey results indicate that the majority of respondents are aware of the issue of sediment accumulation in Lake Ptuj and support the implementation of remediation measures. The respondents identified regular sediment removal, improved watercourse management, and the use of modern technologies to minimise environmental impacts as the most important measures.

Based on the review of scientific literature, professional sources, and the survey results, it can be concluded that, in order to preserve the long-term functionality of the sedimentation basin, it is necessary to implement technical, preventive, and nature-based measures that enable sustainable and effective sediment management, continued electricity generation, and the preservation of the ecological balance of Lake Ptuj.

In my master's thesis, I tested two research hypotheses:

Hypothesis 1 was confirmed, stating that an increased rate of sediment accumulation in Lake Ptuj affects the ecosystem, including both plant and animal species. The review of scientific literature demonstrated that sediment accumulation adversely affects water quality, reduces dissolved oxygen concentrations, and contributes to changes in habitat conditions within the aquatic ecosystem. These impacts are reflected in the overgrowth of shallow areas, altered living conditions for aquatic organisms, and a reduction in biodiversity. The literature findings are further supported by the survey results, which show that the local population perceives sedimentation as a significant environmental issue and supports measures aimed at improving the condition of Lake Ptuj.

Hypothesis 2 was also confirmed, stating that sedimentation in Lake Ptuj is primarily the result of altered hydrological conditions caused by the operation of hydropower plants. The review of scientific literature and technical documentation indicates that hydropower reservoirs reduce water flow velocity, thereby accelerating the deposition of sediment particles. These altered hydromorphological conditions significantly influence the intensity of sedimentation processes in Lake Ptuj.

Based on the verification of the hypotheses, it can be concluded that sedimentation represents a significant environmental challenge for Lake Ptuj, with causes and consequences that require a comprehensive approach to water resource management. The research findings confirm the need for long-term monitoring of sedimentation processes, the implementation of appropriate remediation measures, and close cooperation among hydropower plant operators, the professional community, and the local population.

8 VIRI IN LITERATURA

1. Bezovnik, F. (2021). Modeliranje prenosa sedimenta v Ptujskem jezeru. Diplomsko delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo. Medmrežje: [repozitorij UM] (17. 5. 2026).
2. DEM, d. o. o., Maribor (2009). *Čiščenje mulja iz akumulacijskih bazenov HE na reki Dravi z nabavo lastnega stroja – Dokument identifikacije investicijskega projekta.*
3. Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o. (2025). *Vrednotenje nevarnih lastnosti sedimenta, vrednotenega kot odpadki za podjetje DEM, d. o. o. – Lokacija 1: sediment odložen na levem bregu Ptujskega jezera.* Velenje: Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o.
4. Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o. (2025). *Vrednotenje nevarnih lastnosti sedimenta, vrednotenega kot odpadki za podjetje DEM, d. o. o. – Lokacija 2: sediment odložen na levem bregu Ptujskega jezera.* Velenje: Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o.
5. Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o. (2025). *Vrednotenje nevarnih lastnosti sedimenta, vrednotenega kot odpadki za podjetje DEM, d. o. o. – Lokacija 3: sediment odložen na desnem bregu Ptujskega jezera.* Velenje: Eurofins raziskave okolja Slovenija, d. o. o.
6. Ilenič, A. (2020). *Študija onesnaženosti lagune v Krajinskem parku Šturmovci.*
7. Jenič, A., Pliberšek, K. (2024). *Ribje združbe in njihovi habitati v Ptujskem jezeru.* Medmrežje: https://zzrs.si/wp-content/uploads/2026/01/Ribje_zdruC5BEbe_Ptujsko_jezero_sedimenti-2.pdf (15. 5. 2026).
8. Knapič, M., Ulaga, F., Preglau, A. (2018). *Upravljanje s sedimenti v akumulacijskih bazenih hidroelektrarn na reki Dravi: predstavitev pilotnega projekta plavljenja sedimentov v matico reke Drave pri HE Vuhred.* Maribor, str. 171–176.
9. Kralj, A. (2020). *Mura bo dobila 4,6-milijonski 'zdravilni tretma', a grožnje še vedno ostajajo.* Medmrežje: <https://www.24ur.com/magazin/mura.html> (14. 5. 2026)
10. Krzyk, M., Četina, M. (2003). *Dvodimenzijski matematični model transporta lebdečih plavin.* Gradbeni vestnik, 51, str. 66–78. Medmrežje: <https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:DOC-Q8SF670E/d97f3bc7-64df-47b6-b465-0bb64267759a/PDF> (16. 5. 2026).
11. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Medmrežje: Repozitorij UL – Študija onesnaženosti lagune v Krajinskem parku Šturmovci (17. 5. 2026).
12. Štihec, A. (2016). *Primerjalna analiza razvojnih priložnosti ob umestitvi in gradnji hidroelektrarn na reki Muri v Avstriji in HE Hraščje Mota v Sloveniji.* Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 189 str.
13. TenCate Geosynthetics Europe. 2019. *TenCate Geotube® Stacking Guide for Sludge Dewatering.* (27. 4. 2026).
14. TenCate Geosynthetics (2020). *TenCate Geotube® Stacking Reference: Case Study Overview.* Pendergrass, ZDA. (29. 4. 2026)
15. Toplak, G. (2019). *Avstrijski sediment: skriti sovražnik v porečju Drave.* Medmrežje: https://maribor24.si/lokalno/avstrijski-mulj-skriti-sovraznik-v-porecju-drave/?utm_source=chatgpt.com (15. 5. 2026)
16. Uredba o zavarovanih prostoživečih rastlinskih vrstah. *Ur. l. RS*, št. 46/04, 110/04, 115/07, 36/09 in 15/14.
17. Uredba o zavarovanih prostoživečih rastlinskih vrstah. *Ur. l. RS*, št. 46/04, 110/04, 115/07, 36/09 in 15/14.
18. Uredba o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne vode. *Ur. l. RS*, št. 98/15, 76/17, 81/19, 194/21, 44/22.
19. Zakon o varstvu okolja (ZVO-2). *Ur. l. RS*, št. 44/22, 18/23.
20. Zakon o vodah (ZV-1). *Ur. l. RS*, št. 67/02, 2/04.

21. Zakon o ohranjanju narave (ZON). *Ur. l. RS*, št. 96/04.
22. Zakon o zaščiti živali (ZZZiv). *Ur. l. RS*, št. 38/13.
23. ZAG. *Predstavitev raziskovalnega projekta READY4USE*. Projektna prijava za ARRS, 2020.

9 PRILOGA

Priloga 1: Anketni vprašalnik

ANKETA

Sanacija posledic sedimentacije mulja v Ptujskem jezeru

Spoštovani!

Sem Anamari Štehnarik in zaključujem študij na Fakulteti za varstvo okolja v Velenju. V okviru magistrskega dela želim s pomočjo ankete med prebivalci Mestne občine Ptuj in Občine Markovci izdelati analizo izvajanja načinov zmanjševanja posledic sedimentacije v Ptujskem jezeru. Odgovore, pridobljene z anketo, bom uporabila izključno za izdelavo interne analize v magistrskem delu.

Iskreno se vam zahvaljujem za vaše sodelovanje in odgovore v anketi.

1. Spol:

- a. Moški
- b. Ženska

2. Starost:

- a. Do 20 let
- b. 21–40 let
- c. 41–60 let
- d. 61 let ali več

3. Kraj prebivališča: _____

4. Izobrazba

- a. Osnovnošolska
- b. Srednješolska
- c. Višješolska
- d. Visokošolska
- e. Magisterij ali doktorat

5. Ali redno obiskujete Ptujsko jezero?

- a. Da
- b. Ne

6. Ali ste seznanjeni s problematiko sedimentacije mulja v Ptujskem jezeru?

- a. Da, sem seznanjen/seznanjena.
- b. Sem delno seznanjen/seznanjena.
- c. Nisem seznanjen/seznanjena.

7. Katere posledice sedimentacije mulja v Ptujskem jezeru po vašem mnenju najbolj vplivajo na kakovost vode ali okolje?

(Možnih je več odgovorov.)

- a. Zmanjšanje globine jezera
- b. Vpliv na ekosistem
- c. Erozija obvodnega območja
- d. Ovirani so razvoj rekreacije, turizma in ribištva
- e. Drugo: _____

8. Ali menite, da je treba zaradi sedimentacije mulja izvajati sanacijo Ptujskega jezera?

- a. Sanacijo je treba nujno izvajati.
- b. Sanacija je priporočljiva, vendar ni nujna.
- c. Sanacija ni potrebna.
- d. Ne vem. / Nimam mnenja.

9. Kako pogosto je treba po vašem mnenju izvajati ukrepe sanacije?

(Možnih je več odgovorov.)

- a. Neprekinjeno
- b. Vsakih 5 let
- c. Vsakih 10 let
- d. Glede na stanje sedimenta (mulja)
- e. Ne vem. / Nimam mnenja.

10. Katere ukrepe za sanacijo Ptujkega jezera ocenjujete kot ustrezne?

(Možnih je več odgovorov.)

- a. Strojno odstranjevanje mulja z bagri ali drugimi napravami.
- b. Naravna stabilizacija z rastlinami, ki zadržujejo sediment, preprečujejo erozijo ter izboljšujejo kakovost vode.
- c. Izgradnja jezov ali zadrževalnikov mulja, ki zadržujejo mulj in preprečujejo razširitev na dno celotnega jezera.
- d. Uporaba geotekstilnih cevi, ki omogočajo kontrolirano zbiranje in odvoz mulja.
- e. Drugo: _____

11. Kako ocenjujete metodo odstranjevanja mulja z geotekstilnimi cevmi?

- a. Učinkovita metoda
- b. Delno učinkovita metoda
- c. Neučinkovita metoda
- d. Ne poznam. / Nimam mnenja.

12. Kakšne so po vašem mnenju prednosti uporabe geotekstilnih cevi?

(Možnih je več odgovorov.)

- a. Omogočajo kontrolirano zbiranje mulja.
- b. Preprečujejo raznašanje mulja po jezeru.
- c. Prilagodljive so za različne količine mulja.
- d. Preprečijo onesnaženje vode.
- e. So manj škodljive za okolje kot klasične metode.
- f. Ne poznam. / Nimam mnenja.

13. Obkrožite »da« oziroma »ne« glede na to, kako po vašem mnenju sediment v Ptujskem jezeru vpliva na lokalno okolje?

- a. Vpliva na razvoj turizma: da / ne
- b. Vpliva na razvoj ribištva: da / ne
- c. Ovira plovbo s plovili: da / ne
- d. Zmanjšuje obisk kopalcev: da / ne
- e. Ne poznam. / Nimam mnenja.

14. Imate dodatne predloge za očiščenje Ptujkega jezera?

Odgovor: _____