



NAROČNIK:

Republika Slovenija
MINISTRSTVO ZA NARAVNE VIRE IN PROSTOR
DIREKCIJA RS ZA VODE
Sektor območja Drave

IZVAJALEC:

DRAVA VODNOGOSPODARSKO
PODJETJE PTUJ d.o.o.
Žnidaričevo nabrežje 11
2250 Ptuj

PODPORNA HIDROLOŠKO HIDRAVLIČNA ŠTUDIJA REKE DRAVE

(Hidrološko hidravlična študija; št. 109/25-NV, februar 2025)

Ptuj, februar 2025

Pripravil:
Neven Verdnik, mag.inž.ok.grad.

Vodja GJSUV za porečje Drave:
Rok FERME, univ.dipl.inž.gozd.

1.	NASLOVNA STRAN S KLJUČNIMI PODATKI
-----------	---

KAZALO VSEBINE

- 1 TEHNIČNO POROČILO**
- 2 GRAFIČNE PRILOGE**

1. TEHNIČNO POROČILO

1. Namen in cilj

Naročnik DRSV je v sklopu upravljanja z rečnim koridorjem reke Drave za potrebe hitrega ovrednotenja posegov ter za pomoč upravljalcu pri rednih vzdrževalnih in interventnih delih ter posegih ob havarijah naročil vzpostavitev hidravličnega modela reke Drave na odseku med Mariborom in državno mejo pri Zavrču. Območje obdelave je zaradi preglednosti razdeljeno na dva odseka, in sicer:

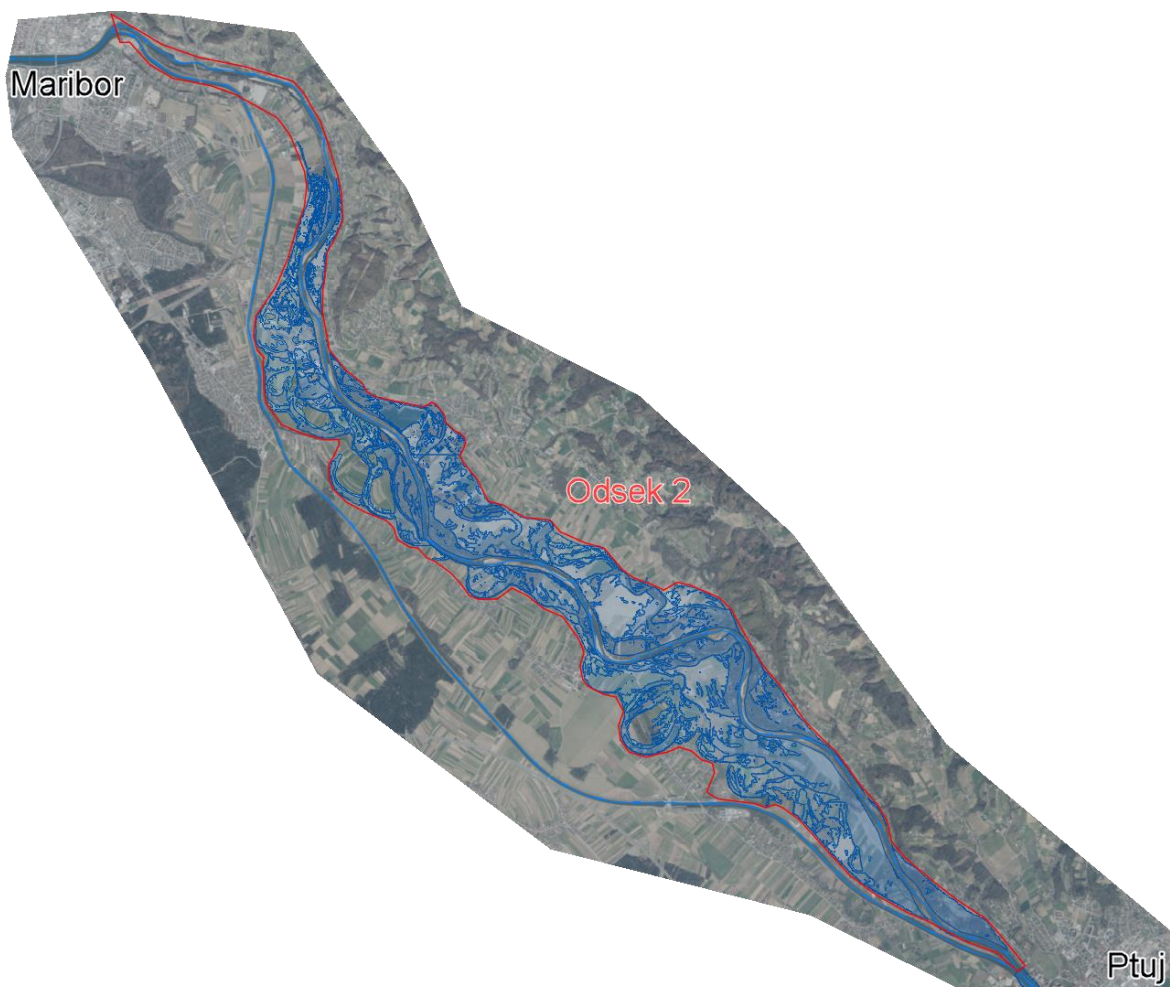
Odsek 1 zajema območje stare struge reke Drave dolvodno od jezua Markovci (Ptujsko jezero) do državne meje pri Zavrču v skupni dolžini približno 15 km.

Na odseku 1 je predvidena razdelitev na dva podmodela, kjer je omogočen hiter in natančen hidravlični preračun parametrov (predviden računski čas 2–5 ur na posamezen podmodel), kar omogoča hitro preverjanje vplivov sprememb batimetrije reke Drave na poplavno situacijo.



Odsek 2 zajema območje struge reke Drave dolvodno od jezua Melje (Maribor) do sotočja struge reke Drave in kanala HE Zlatoličje (Ptujsko jezero) v skupni dolžini približno 24 km.

Na odseku 2 je hidravlični model razdeljen na tri podmodele, kjer je omogočen hiter hidravlični preračun parametrov (računski čas 2–5 ur na posamezen podmodel), kar omogoča hitro preverjanje vplivov sprememb batimetrije reke Drave na poplavno situacijo.



Hidravlični model bo lociran pri koncesionarju na »stand-by« periodično aktualizacijo po večjih spremembah topografije in pripravljen za hitro preverbo hidravličnih scenarijev posegov v koridorju reke in na območju struge vodotoka do dosega poplav Q100, ki bo optimalno umerjen do dosega poplav Q10.

2.1 Splošni opis

V sklopu naloge so bili preverjeni pretoki reke Drave različnih povratnih dob (sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100). Hidrološke količine so bile povzete po aktualni študiji reke Drave z naslovom »NOVELACIJA HIDROLOŠKE ŠTUDIJE REKE DRAVE, št. el. 4028/20, VGB MARIBOR d.o.o., MAREC 2021.

Izdelan je bil polni 2D matematični hidravlični model območja struge in retencijskega območja reke, ki zajema aktualne podatke snemanja batimetrije in obvodnega prostora. V projekt nista bila vključena hidroenergetska kanala HE Zlatoličje in HE Formin. Pritoki reke Drave so upoštevani kot točkovni vtoki, poplave koincidenčnih scenarijev lastnih vod in poplav niso bili predmet naloge. Ptujsko jezero je definirano kot spodnji robni pogoj odseka 1, spodnji robni pogoj odseka 2 pa je definiran na državni meji RS pri Zavrču. Veljavnost rezultatov je določena do vtoka v ojezeritev za odsek 1 in do državne meje pri Zavrču za odsek 2.

Topološki podatki, ki so povzeti po aktualnih meritvah batimetrije in Lidar posnetkih območja, se bodo ob vsakokratnih posegih v območju struge reke Drave novelirali, kar pomeni, da se bo posnelo (3D model – fotogrametrija dron, Ciklični Lidar, idr.). Topologija se izdelava na podlagi natančnosti vhodnih podatkov.

Rezultati osnovne analize so prikazani v grafičnih prilogah in vektorskih slojih kot obsegi poplav za posamezno povratno dobo ter v tehničnem poročilu, kjer so predstavljeni vhodni podatki, metodologija in opis rezultatov.

Hidravlični model primarno služi kot podporno orodje upravljalca rečne mreže reke Drave na obravnavanem območju. Upravljalet se zavezuje, da bo model na voljo za preverbo hidravličnih parametrov in dodatnih izračunov po naročilu.

2.2 Stanje prostora

2.2.1 Geometrijski podatki

Odsek 1:

Leta 2023 so Dravske elektrarne Maribor, d.o.o., v sklopu projekta rekonstrukcije HE Formin izvedle detajlno izmero območja struge Drave (odsek Markovci – Ormož) in bližnjih poplavnih ravnic (projekt DEM).

Izmera je bila izvedena kot kombinacija Lidarskih meritev na suhem in batimetričnih meritev s sonarjem v strugi. Oba sklopa podatkov sta bila združena v 3D model terena, ki predstavlja natančno in aktualno stanje struge, ki je upoštevano v obravnavanem hidravličnem modelu na odseku 1.

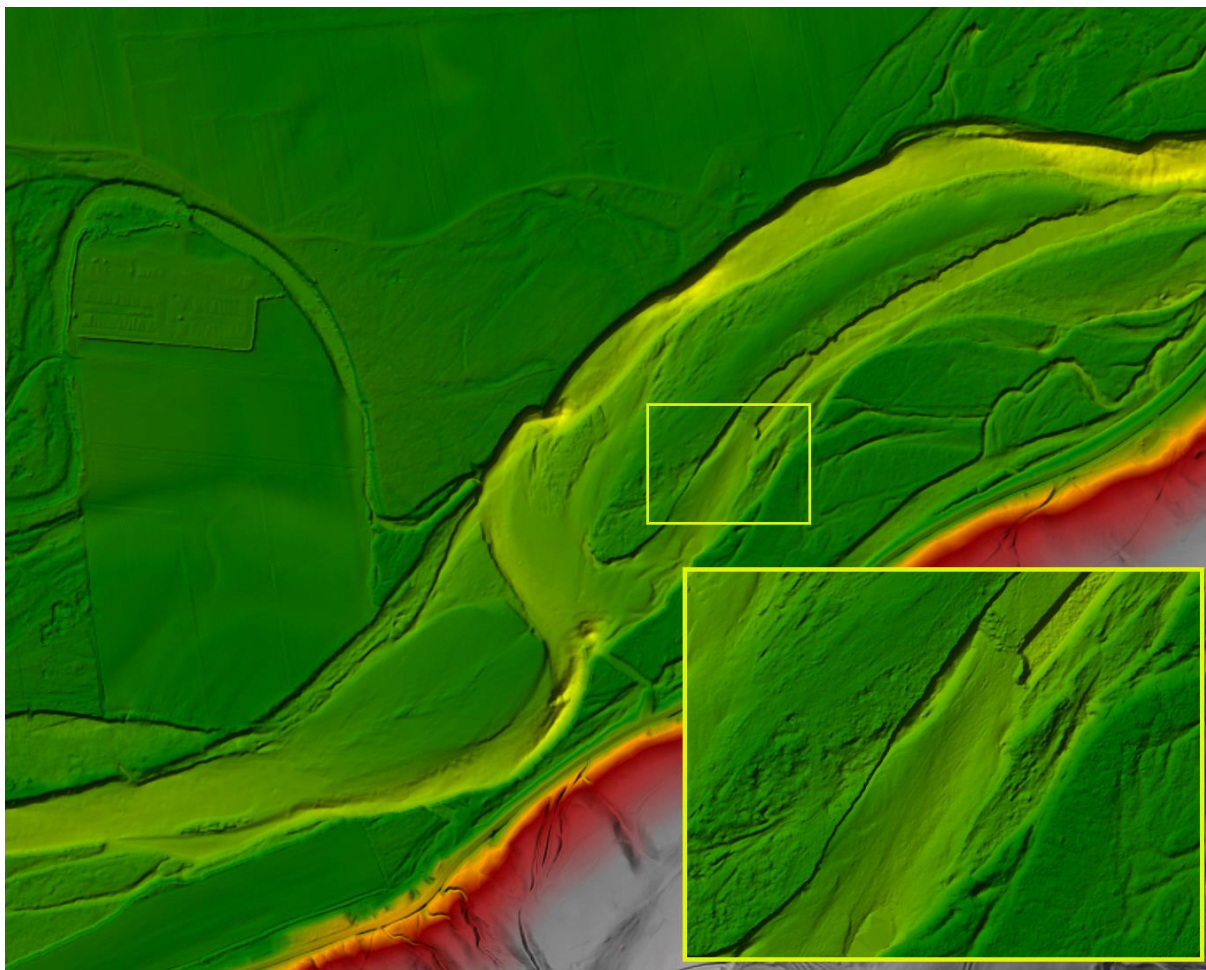
Za širše območje poplavnih ravnic so bili uporabljeni Lidarski podatki iz prosto dostopnih virov ARSO, pretvorjeni v DMR1 (Digitalni Model Reliefa, 1x1m) v koordinatnem sistemu D96/TM. Ti podatki so bili združeni z izmerami v TIN teren, kjer so bile odpravljene napake zaradi odboja laserja in zagotovljena zvezna povezava med obema sklopoma podatkov.

Zajem podatkov:

Nulto stanje: Zajem podatkov je bil izveden marca 2023 (projekt DEM) z Lidarskimi, batimetričnimi in fotogrametričnimi meritvami.

Končno stanje: Decembra 2023 so bile izvedene dodatne meritve z Lidarjem, fotogrametrijo in batimetrijo pri nizkem in srednjem vodostaju.

Natančnost celice geometrijskih podatkov upoštevanih v hidravličnem modelu je na celotnem območju struge in obvodnega prostora 0,5 x 0,5 m, kar predstavlja visoko natančnost podatkov.



Slika 1: Visokokakovostni model terena območja obdelave - primer pri rokavu Mala vas.

Odsek 2: Leta 2024 je podjetje VGP Drava Ptuj, d.o.o., naročilo izvedbo projekta »Analiza premikov sedimentov - Stara struga Drave od jezua Melje do Ptuja«. V okviru analize se je izvedla detajlna izmera območja struge Drave na odseku od jezua Melje do Ptuja. Izmera je bila izvedena kot kombinacija Lidarskih meritev na suhem in batimetričnih meritev s sonarjem (Multibeam in Singlebeam) v strugi. Oba sklopa podatkov sta bila združena v 3D model terena, ki predstavlja natančno in aktualno stanje struge, ki je upoštevano v obravnavanem hidravličnem modelu na odseku 2.

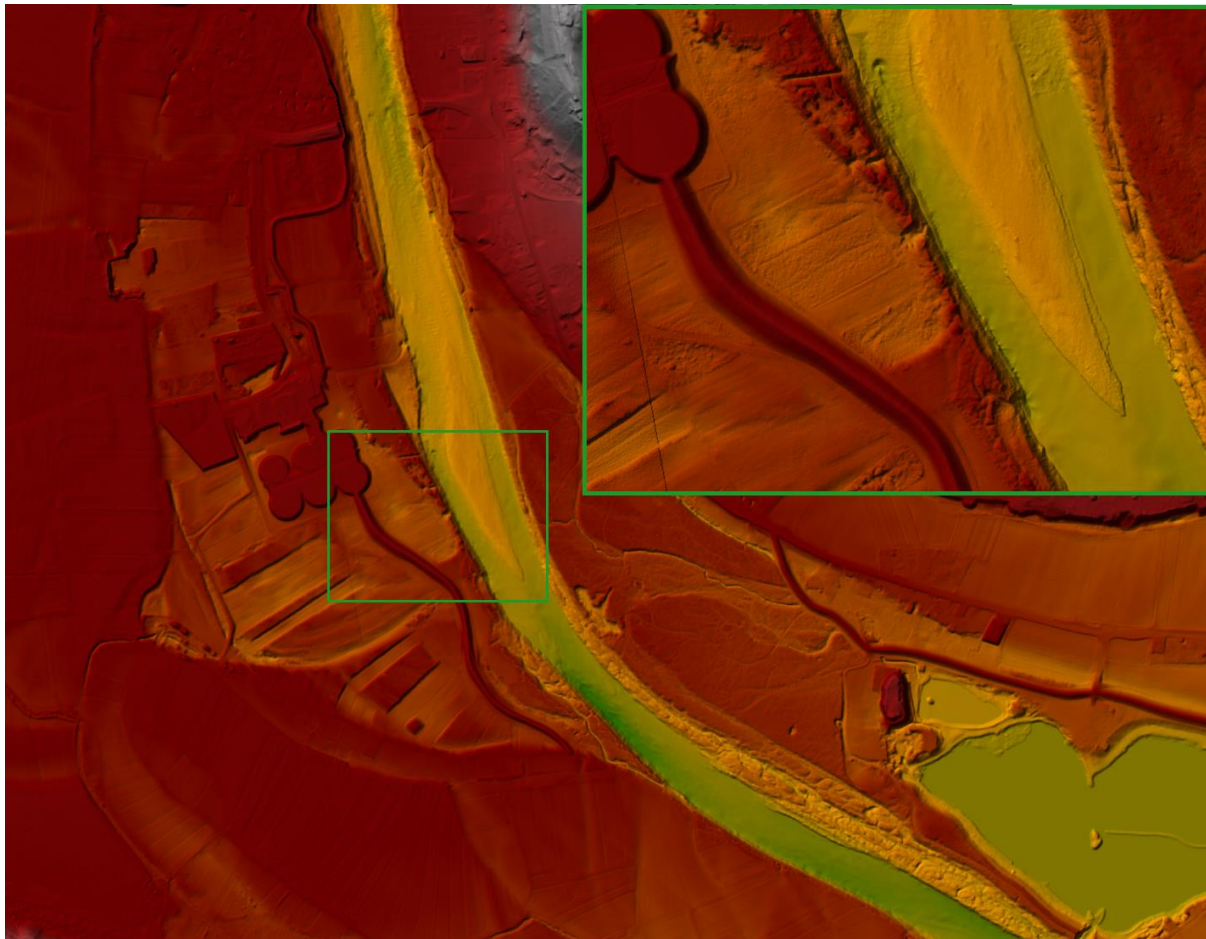
Za širše območje poplavnih ravnin so bili uporabljeni Lidarski podatki iz prosto dostopnih virov ARSO, pretvorjeni v DMR1 (Digitalni Model Reliefa, 1x1m) v koordinatnem sistemu D96/TM. Ti podatki so bili združeni z izmerami v TIN teren, kjer so bile odpravljene napake zaradi odboja laserja in zagotovljena zvezna povezava med obema sklopoma podatkov.

Zajem podatkov:

Nulto stanje: Zajem podatkov je bil izveden avgusta 2022 (projekt GEOFOTO - avgust, 2022) z Lidarskimi, batimetričnimi in fotogrametričnimi meritvami.

Končno stanje: Meritve so bile izvedene med decembrom 2023 in avgustom 2024 (projekt MENSURAS, november 2024). Lidarske in fotogrametrične meritve so bile izvedene od decembra 2023 do februarja 2024, batimetrične meritve (Multibeam) pa od decembra 2023 do februarja 2024 ter dodatne Singlebeam meritve od julija do avgusta 2024.

Natančnost celice geometrijskih podatkov upoštevanih v hidravličnem modelu je na celotnem območju struge in obvodnega prostora 1 x 1 m, kar predstavlja visoko natančnost podatkov. Poleg tega so bili izdelani tudi modeli z resolucijo 0,5 x 0,5 m za podrobnejšo analizo.



Slika 2: Visokokakovostni model terena območja obdelave - primer pri CCN Maribor v Dupleku

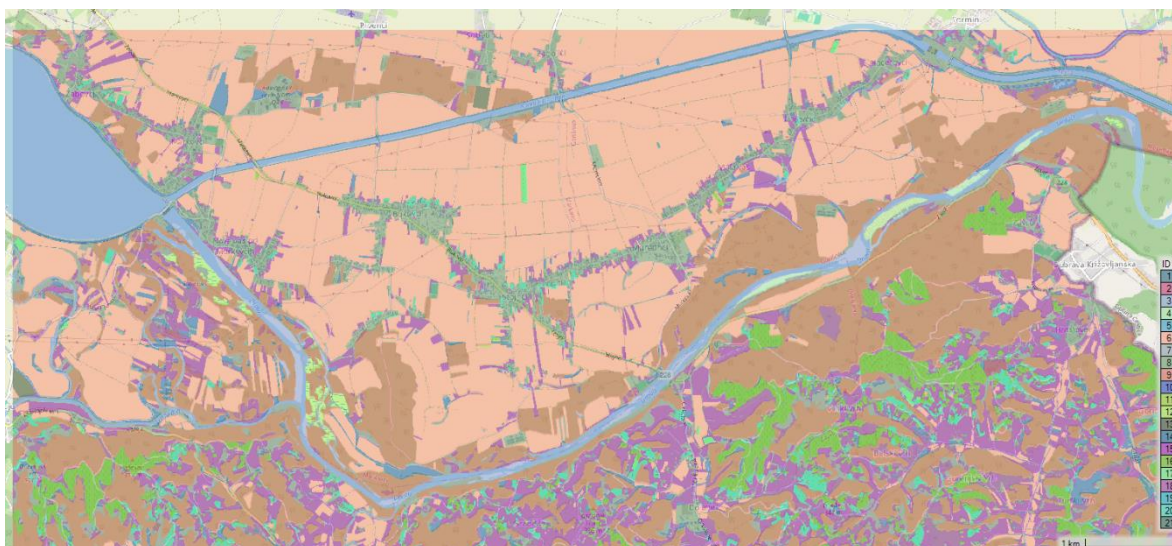
2.2.2 Raba tal

Podlaga za izdelavo koeficientov hrapavosti (Manningov), ki so ključen vhodni podatek za hidravlične modele je bila uradni sloj dejanske rabe tal za leto 2024, ki smo ga pridobili na straneh GURS.

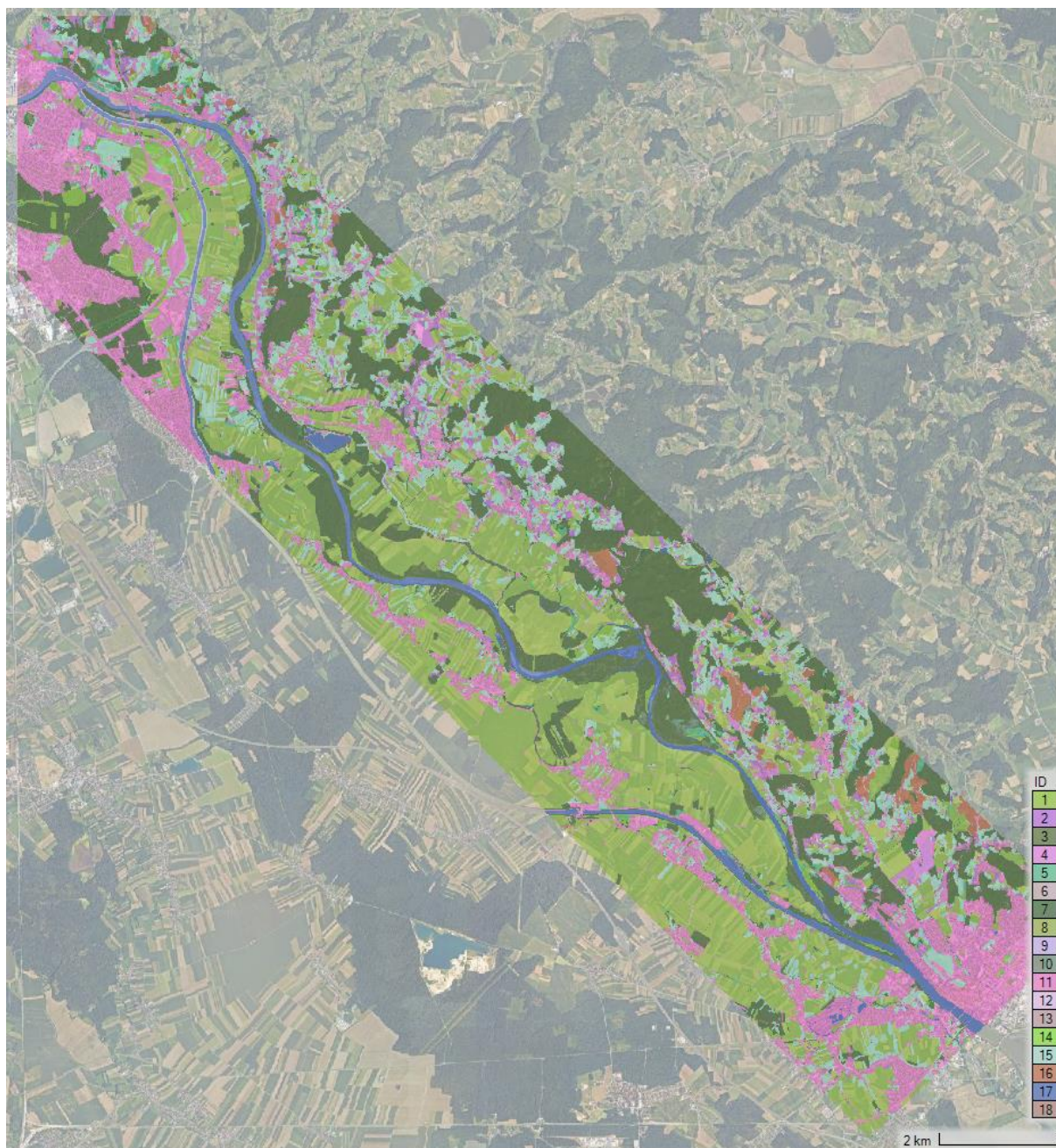
Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč je enotna državna evidenca o dejanski rabi kmetijskih in gozdnih zemljišč. Poligon dejanske rabe je strnjena površina kmetijskega ali gozdnega zemljišča z isto vrsto dejanske rabe.

Sloje smo na podlagi GIS programske opreme in križanja z drugimi vrstami rabe tal prilagodili; npr. na območju mostov se je raba spremenila iz cestne v strugo.

Na podlagi šifranta rabe tal smo za vsako posamezno rabo določili koeficient hrapavosti, ki se je spreminjal glede na potrebe umerjanja hidravličnega modela.



Slika 3: Prikaz razporeditve območij posamezne rabe tal, ki so podlaga za Manningove koeficiente hrapavosti na območju med Ptujem in Zavrčem



Slika 4: Prikaz razporeditve območij posamezne rabe tal, ki so podlaga za Manningove koeficiente hrapavosti na območju med Mariborom in Ptujem

2.3 Hidrologija

Hidrološke količine smo povzeli po elaboratu »NOVELACIJA HIDROLOŠKE ŠTUDIJE REKE DRAVE, št. el. 4028/20, VGB MARIBOR d.o.o., MAREC 2021.

Povzeli smo količine za 8 pretokov (sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100).

Tabela 1: Pretoki reke Drave

Prerez	F	sQnp	sQs	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Drava – HE Zlatoličje + jez Melje	13527	101,4	288,9	1365	1682	1960	2187	2514	2804
Drava – HE Formin + jez Markovci	13636	101,6	289,9	1370	1689	1967	2196	2523	2815
Drava - Borl	14661	105,8	303,9	1421	1780	2078	2304	2597	2897

V sklopu hidravličnega modela so se uporabili pretoki v kvazi-stacionarnem režimu.

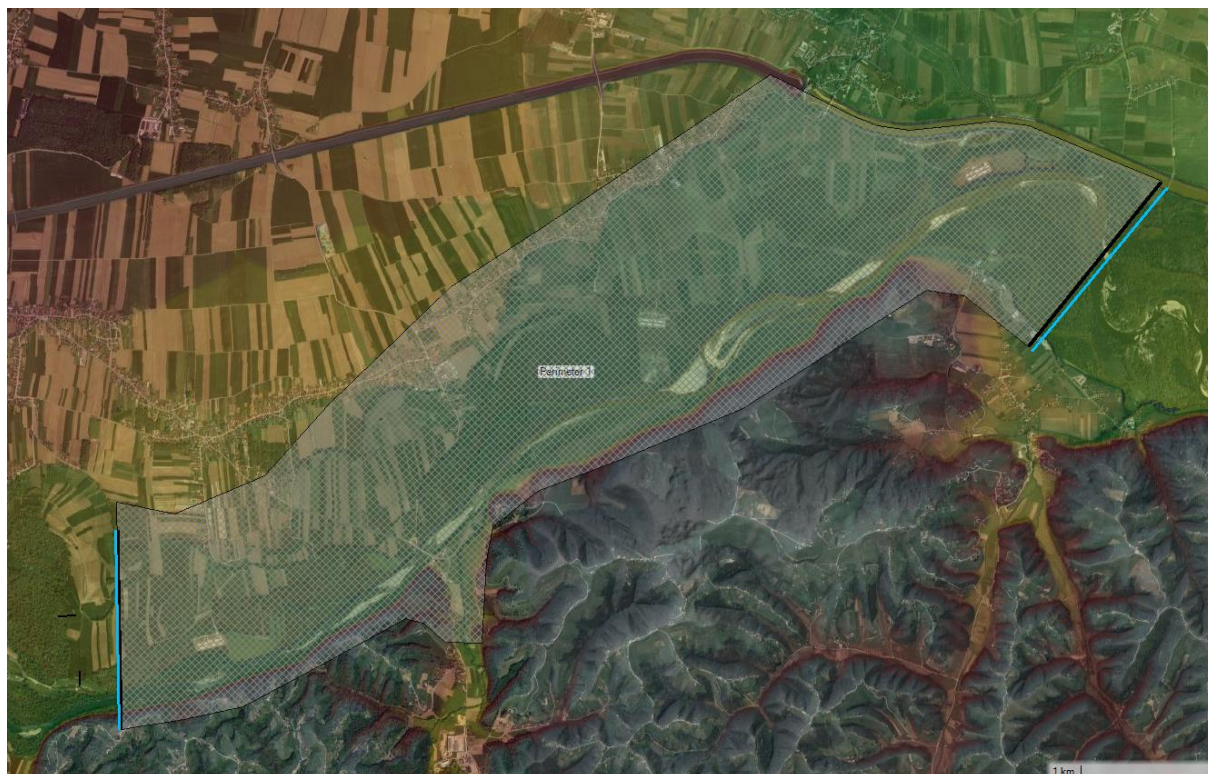
2.4 Hidravlični modeli

Za pregled vpliva načrtovanih posegov smo izdelali 2D hidravlični model vodotoka. Hidravlični model je bil izdelan za obstoječe stanje, torej stanje na terenu iz septembra 2024.

Hidravlični račun gladin visokih vod je bil izdelan z uporabo 2D modela nestalnega toka v programskem okolju HEC RAS 6.6. Program HEC RAS 6.6 je bil razvit pri ameriškem centru za hidrologijo (Hydrologic Engineering Center; HEC). Program temelji na numeričnem reševanju Reynoldsovih povprečenih Navier-Stokersovih enačb (angl. Shallow water equations). Območje obravnave smo razdelili na pet hidravličnih modelov z naslednjimi karakteristikami:

Tabela 2: Karakteristike izdelanih hidravličnih modelov

Oznaka modela	Opisna oznaka modela	Velikost (ha)	Dolžina odseka	Število celic
M1	Zavrč	1400	9,5 km	101813
M2	Markovci	1050	5,4 km	65097
M3	Zlatoličje	1430	11,8 km	114305
M4	Duplek	1230	6,2 km	98604
M5	Malečnik	530	7,4 km	82853



Slika 5: Prikaz območja hidravličnega modela in digitalnega modela terena za model M1 Zavrč

Hidravlični model M1 se na dolvodnem delu pričenja dolvodno od meje s Hrvaško in se zaključi med naseljem Gradišča na desnem bregu in naseljem Bukovci na levem bregu (ca 600m gorvodno od farne Stojnci). Hidravlični model obsega območje ob strugi reke Drave v naseljih Zavrč, Formin, Placerovci, Gajevci, Mala Vas, Muretinci, Hrastovec, Veliki Vrh, Dolane, Stojnci, Bukovci, Gradišča. Zgornji robni pogoj predstavljajo vtočni hidrografi projektiranih pretokov, spodnji robni pogoj pa naklon energijske črte dolvodno od območja obravnave. V modelu

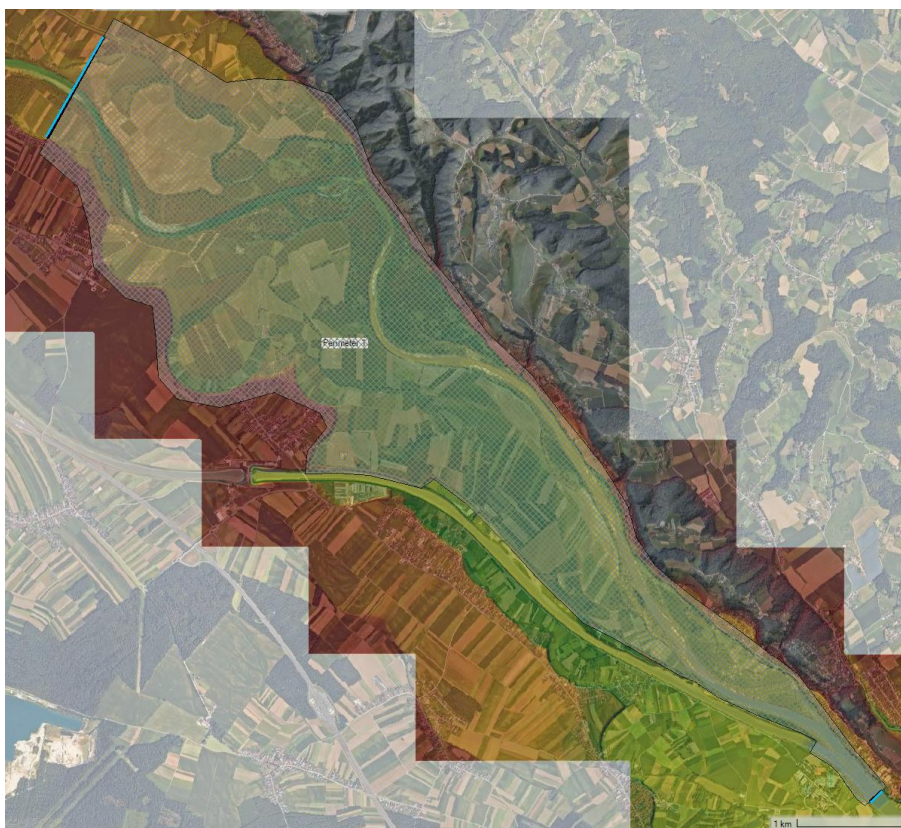
zaradi hitrosti izračunov ni vključen most v Dolanah – ponazorjeni so s povečanim koeficientom hrapavosti. S tem pristopom smo dosegli hitrejša računska časa in stabilnejše izračune. V hidravličnem modelu so vključene vse ureditve na podlagi Lidar posnetka. Model M1 se prekriva z modelom M2 v dolžni ca 600m s tem dosežemo dobro ujemanje poplavnih tokov na poplavnih površinah.



Slika 6: Prikaz območja hidravličnega modela in digitalnega modela terena za model M2 Markovci

Hidravlični model M2 se na dolvodnem delu pričenja dolvodno med naseljem Gradišča na desnem bregu in naseljem Bukovci na levem bregu (ca 600m gorvodno od farme Stojnci) in se zaključi dolvodno od jezua Markovci pod Ptujskim jezerom. Hidravlični model obsega območje ob strugi reke Drave v naseljih Bukovci, Gradišča, Dravci, Nova Vas pri Markovcih, Vareja in Šturmovci. Zgornji robni pogoj predstavljajo vtočni hidrogrami projektnih pretokov, spodnji robni pogoj pa naklon energijske črte dolvodno od območja obravnave. V hidravličnem modelu so vključene vse ureditve na podlagi Lidar posnetka. Model M2 se prekriva z modelom M1 v dolžni ca 600m s tem dosežemo dobro ujemanje poplavnih tokov na poplavnih površinah.

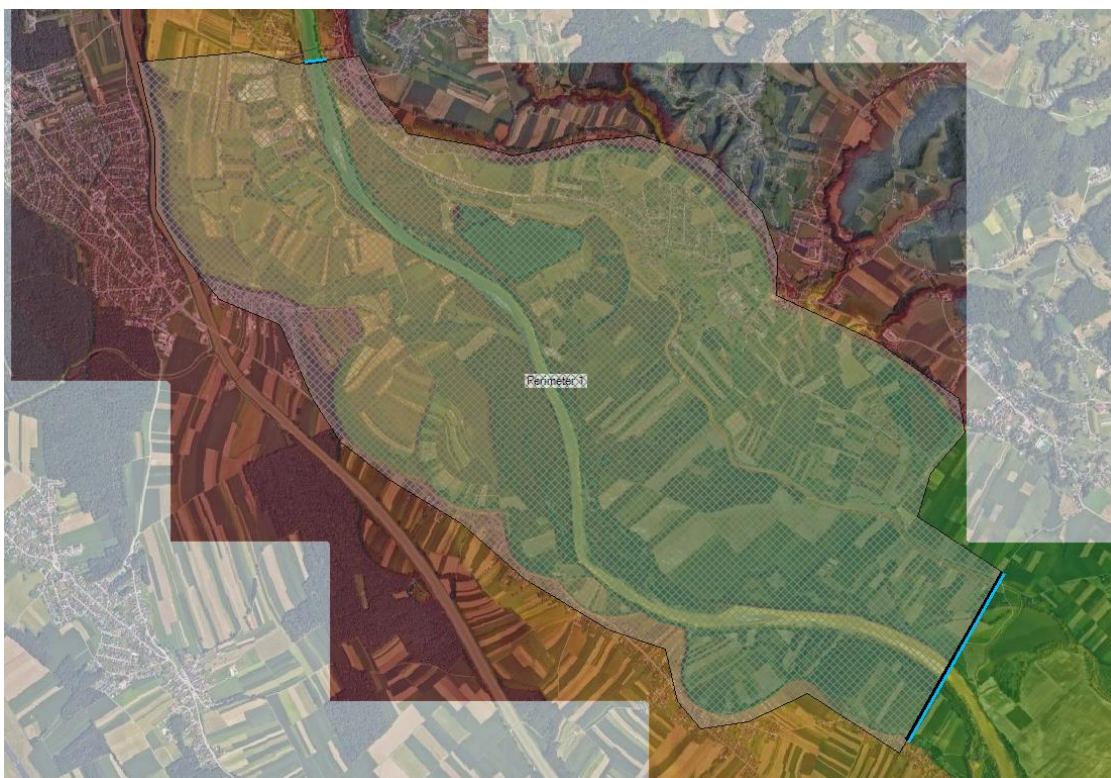
Hidravlični model M3 se na dolvodnem delu pričenja dolvodno od sotočja Drave s kanalom HE Zlatoličje in se zaključi med naseljem Starše na desnem bregu in zaključkom nasipa v Dvorjanah. Hidravlični model obsega območje ob strugi reke Drave v naseljih Ptuj, Slovenja Vas, Zlatoličje, Krčevina pri Vurberku, Vurberk in Starše. Zgornji robni pogoj predstavljajo vtočni hidrogrami projektnih pretokov, spodnji robni pogoj pa gladina v Ptujskem jezeru. V hidravličnem modelu so vključene vse ureditve na podlagi Lidar posnetka. Model M3 se prekriva z modelom M3 v dolžni ca 80m s tem dosežemo dobro ujemanje poplavnih tokov na poplavnih površinah.



Slika 7: Prikaz območja hidravličnega modela in digitalnega modela terena za model M3 Zlatoličje

Hidravlični model M4 se na dolvodnem delu pričenja med zaključkom nasipa v Dvorjanah in naseljem Starše na desnem bregu in se zaključi pri mostu v Dupleku. Hidravlični model obsega območje ob strugi reke Drave v naseljih Vurberk, Dvorjane, Starše, Rošnja, Miklavž na Dravskem polju Duplek in Dogoš. Zgornji robni pogoj predstavljajo vtočni hidrogrami projektnih pretokov, spodnji robni pogoj pa naklon energijske črte dolvodno od območja obravnave. V hidravličnem modelu je vključen nasip na desnem in levem bregu v Dupleku in nasip v Dvorjanah ostale ureditve na podlagi Lidar posnetka. Model M4 se prekriva z modelom M5 v dolžini ca 50m in z modelom M3 v dolžni ca 80m s tem dosežemo dobro ujemanje poplavnih tokov na poplavnih površinah.

Hidravlični model M5 se na dolvodnem delu pričenja pri mostu v Dupleku in se zaključi pod jezo v Melju. Hidravlični model obsega območje ob strugi reke Drave v naseljih Duplek, Dogoš, Trčova, Zrkovce, Celestrina in Malečnik. Zgornji robni pogoj predstavljajo vtočni hidrogrami projektnih pretokov, spodnji robni pogoj pa naklon energijske črte dolvodno od območja obravnave. V modelu zaradi hitrosti izračunov niso vključeni mostovi avtoceste Maribor-Pesnica in mostu v Dupleku – ponazorjeni so s povečanim koeficientom hrapavosti. S tem pristopom smo dosegli hitrejša računska časa in stabilnejše izračune. V hidravličnem modelu je vključen nasip na desnem bregu v Dupleku ter ostale ureditve na podlagi Lidar posnetka. Model M5 se prekriva z modelom M4 v dolžini ca 50m s tem dosežemo dobro ujemanje poplavnih tokov na poplavnih površinah.



Slika 8: Prikaz območja hidravličnega modela in digitalnega modela terena za model M4 Duplek



Slika 9: Prikaz območja hidravličnega modela in digitalnega modela terena za model M5 Malečnik

Za poplavna območja so uporabljeni LIDAR in batimetrični podatki ter posnetki območja, ki so združeni v enotne modele terena. Na podlagi stereo-fotogrametričnih metod smo izdelali visokonatančni podatkovni oblak točk iz katerega smo po klasifikaciji pripravili digitalni posnetek terena (DMT). S tako izdelano interpolacijo je bila izdelana natančna 2D geometrija obravnavanega območja (natančno so opisani vse spremembe nivelete, zožitve, razširitve, mostne zožitve brežin, idr.), ki je bila nadalje integrirana oz. združena z digitalnim modelom terena (DMT).

Razlike hrapavosti med različnimi rabami površin v HEC-RAS-u so bile upoštevane z uvozom obstoječih karte dejanske rabe tal (Evidenca dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč). Po obdelavi in ureditvi geografskih slojev (odstranitev križanja cestišča z vodotoki, ipd.) so bile za vsako izmed območij različnih rab določene vrednosti Manningovih koeficientov trenja, ki so nato uporabljene v 2D hidravličnem računu. Manningov koeficient hrapavosti smo določili s pomočjo terenskega ogleda območja in javno dostopnih podatkov rabe tal ter ortofoto posnetkov (GURS. 2024). Za strugo smo tako uporabili vrednost $n_G=0,038$ oz. 0,055, za ostala območja pa so vrednosti, ki so nato uporabljene v hidravličnem računu predstavljene v tabeli;

Tabela 2: Preglednica Manningov koeficient hrapavosti glede na rabo tal

Raba tal	n_G [/]
gozd	0.065-0.085
infrastruktura (ceste, železnice)	0.025
kmetijsko zemljišče	0.04-0.08
mostni oporniki	1.0
objekti	1.0
zamočvirjeno	0.077
prodišča	0.03-0.07
struga vodotokov	0.038-0.055

Za strugo vodotoka prodnata s posameznimi zaraščenimi sipinami, za območje brežin reke je značilna gosta zarast na rečnih bregovih, poplavno območje pa so večinoma gozdne in kmetijske-travniške površine. Manningov koeficient hrapavosti n_G struge smo določili na podlagi umerjanja hidravličnega modela obsege poplav iz rezultatov hidravličnega modela »Hidravlična analiza pretokov nižjih povratnih dob in pretočnosti struge Drave na odseku od jezua Melje do Ptujja in od jezua Markovci do Zavrča, Št. proj. 4408/24,VGB Maribor d.o.o.«

Hidravlični modeli izdelani v sklopu naloge imajo manjša odstopanja od rezultatov VGB Maribor d.o.o., ki so posledica drugačen računske mreže programskih paketov in nastavitev programov. Odstopanja so glede na naključnost dosegov poplav v realnem okolju v stopnji pričakovani. Hidravlični modeli so umerjeni predvsem na nižje pretoke manjše od Q5, saj je skladno s projektno nalogo cilj modelov določitev in preverba učinkov vzdrževanih del na območju struge in neposredno ob njej. Modeli niso primerni za projektiranje večjih pretokov, višjih povratnih dob npr. Q100, saj hidravlični modeli niso pripravljeni za tovrstne izračune. Za le-te je potrebna večje modifikacija in umerjanje hidravličnih modelov.

Kot zgornji robni pogoj so bili uporabljeni vtočni hidrogrami za pretoke projektnih pretokov. Spodnji robni pogoj je predstavljal naklon energijske črte dolvodno od območja obravnave oz. gladina na Ptujskem jezeru. V sklopu hidravličnega modela smo modelirali 8 scenarijev poplav: (sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100).

2.5 Območja poplav za posamezno modelno območje

V nadaljevanju podajamo kratke opise dosege poplav glede na posamezno računsko simulacijo. Natančni prikazi dosegi poplav so podani v grafičnih prilogah poročila.

2.5.1 Model M1-Zavrč

Tabela 3: Opis dosega poplav za pretoke

Pretok	Opis dosega poplav
sQnp	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
sQs	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
Q2	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine na posameznih lokacijah vse do naselij, ki ležijo na terasi. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri naseljem Muretinci, Mala Vas, Gajevci in Placerovci.
Q5	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine na posameznih lokacijah vse do naselij, ki ležijo na terasi. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri naseljem Muretinci, Mala Vas, Gajevci in Placerovci.
Q10	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine na posameznih lokacijah vse do naselij, ki ležijo na terasi. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri naseljem Muretinci, Mala Vas, Gajevci in Placerovci.
Q20	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine na posameznih lokacijah vse do naselij, ki ležijo na terasi. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri naseljem Muretinci, Mala Vas, Gajevci in Placerovci. Poplave se na desnem bregu širijo gorvodno po strugi reke Bele v naselju Dolane.
Q50	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine na posameznih lokacijah vse do naselij, ki ležijo na terasi. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri naseljem Muretinci, Mala Vas, Gajevci in Placerovci. Poplave se na desnem bregu širijo gorvodno po strugi reke Bele v naselju Dolane.
Q100	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine na posameznih lokacijah vse do naselij, ki ležijo na terasi. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri naseljem Muretinci, Mala Vas, Gajevci in Placerovci. Poplave se na desnem bregu širijo gorvodno po strugi reke Bele v naselju Dolane.

2.5.2 Model M2-Markovci

Tabela 4: Opis dosega poplav za pretoke

Pretok	Opis dosega poplav
sQnp	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
sQs	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
Q2	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri Bukovcih. Poplavni tok reke poplavi tudi nižjeležeče kmetijske površine na desnem bregu pri proti reki Dravinji na območju naselja Nova vas.
Q5	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri Bukovcih. Poplavni tok reke poplavi tudi nižjeležeče kmetijske površine na desnem bregu pri proti reki Dravinji na območju naselja Nova vas. Poplavljenе niso posamezna območja. Poplave se v primerjavi z nižjimi pretoki širijo gorvodno ob Dravinji.
Q10	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri Bukovcih. Poplavni tok reke poplavi tudi nižjeležeče kmetijske površine na desnem bregu pri proti reki Dravinji na območju naselja Nova vas. Poplavljenе niso posamezna območja. Poplave se v primerjavi z nižjimi pretoki širijo gorvodno ob Dravinji.
Q20	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri Bukovcih. Poplavni tok reke poplavi tudi nižjeležeče kmetijske površine na desnem bregu pri proti reki Dravinji na območju naselja Nova vas. Poplavljenе niso posamezna območja. Poplave se v primerjavi z nižjimi pretoki širijo gorvodno ob Dravinji proti Šturmovcem. Dolvodno je preplavljena celotna dolina med spodnjo teraso in Haloškimi vzpetinami na jugu.
Q50	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri Bukovcih. Poplavni tok reke poplavi tudi nižjeležeče kmetijske površine na desnem bregu pri proti reki Dravinji na območju naselja Nova vas. Poplavljenе niso posamezna območja. Poplave se v primerjavi z nižjimi pretoki širijo gorvodno ob Dravinji proti Šturmovcem. Dolvodno je preplavljena celotna dolina med spodnjo teraso in Haloškimi vzpetinami na jugu.
Q100	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti pri Bukovcih. Poplavni tok reke poplavi tudi nižjeležeče kmetijske površine na desnem bregu pri proti reki Dravinji na območju naselja Nova vas. Poplavljenе niso posamezna območja. Poplave se v primerjavi z nižjimi pretoki širijo gorvodno ob Dravinji proti Šturmovcem. Dolvodno je preplavljena celotna dolina med spodnjo teraso in Haloškimi vzpetinami na jugu.

2.5.3 Model M3-Zlatoličje

Tabela 5: Opis dosega poplav za pretoke

Pretok	Opis dosega poplav
sQnp	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
sQs	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
Q2	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, poplavni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti Dvorjanam in Vurberku ter Krčevini. Poplavni tok reke poplavi tudi nižjeležeče kmetijske površine na desnem bregu pri Zlatoličju.
Q5	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase. Poplavljenа niso posamezna območja na desnem bregu pri Zlatoličju in Staršah.
Q10	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase. Poplavljenа niso posamezna območja na desnem bregu pri Zlatoličju in Staršah.
Q20	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase. Poplavljenа niso posamezna območja na desnem bregu pri Zlatoličju in Staršah.
Q50	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase. Poplavljenа niso posamezna območja na desnem bregu pri Zlatoličju in Staršah.
Q100	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase. Poplavljenа niso posamezna območja na desnem bregu pri Zlatoličju in Staršah.

2.5.4 Model M4-Duplek

Tabela 6: Opis dosega poplav za pretoke

Pretok	Opis dosega poplav
sQnp	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
sQs	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
Q2	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih starih strug. Poplavljenе so mrtvice in mrtvi rokavi, povratni tok zalije nižjeležeče njivske in travnike površine. Predvsem je poplavljenih več kmetijskih površin na območju levega brega proti Dupleku.
Q5	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase oz. do nasipa Duplek-Dvorjane na levem bregu. Poplavljenа niso posamezna območja.
Q10	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase oz. do nasipa Duplek-Dvorjane na levem bregu.
Q20	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase oz. do nasipa Duplek-Dvorjane na levem bregu. Dodatno so poplavljenа območja v smeri Šmiklavža na Dravskem polju.



Q50	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase oz. do nasipa Duplek-Dvorjane na levem bregu. Dodatno so poplavljeni območja v smeri Šmiklavža na Dravskem polju in območje stare struge južno od Šmiklavža.
Q100	Poplavljen je celotno območje spodnje terase vse in vse do nasipov. Izven poplav je samo del kmetijskih zemljišč južno od Šmiklavža na Dravskem polju.

2.5.5 Model M5-Malečnik

Tabela 7: Opis dosega poplav za pretoke

Pretok	Opis dosega poplav
sQnp	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
sQs	Pretoki so na območju stalne struge vodotoka, posamezna prodišča so izven dosega poplav.
Q2	Poplavne vode prelijejo prodišča in zapolnilo območja stranskih strug.
Q5	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do robov spodnje terase. Večje poplavno območje je na območju leve in desne brežine pri vtoku Stražunskega potoka. Poplavljen je nogometno igrišče v Malečniku.
Q10	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase. Izven poplav so območja na desnem bregu pri Zrkovcih in nad nasipom v Dogošah.
Q20	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase. Poplavljeni niso posamezna območja znotraj terase.
Q50	Poplavne vode prelivajo izven območja struge do večjega dela robov spodnje terase.
Q100	Poplavljen je celotno območje spodnje terase vse in vse do nasipov v Dogošah.

2.6 Zaključek

V sklopu naloge so se izdelali hidravlični modeli za podporo pri odločanju in analizi vzdrževalnih del na odsekih reke Drave. Odsek 1 predstavlja območje reke Drave med jezom HE Formin v Markovcih in mejo z Republiko Hrvaško v Zavrču. Odsek 2 predstavlja območje, ki poteka od jezu HE Zlatoličje v Melju do akumulacije Ptujsko jezero.

Na posameznem odseku smo izdelali hidravlične modele, katerih namen je hitro in učinkovito preverjanje bodočih vzdrževalnih in drugih del ter ukrepov ob havarijah. Na Odseku 1 smo izdelali 2 hidravlična modela M1-Zavrč in M2-Markovci. Na Odseku 2 smo izdelali 3 hidravlične modele M3-Zlatoličje, M4-Duplek in M5-Malečnik.

Hidravlični modeli so izdelani na podlagi aktualnih podatkov:

- Hidrološki študiji reke Drave iz leta 2021,
- Lidar podatkov terena in batimetrije struge iz leta 2023-2024,
- Rabe tal iz leta 2024.

Hidravlični modeli izdelani v sklopu naloge so umerjeni na rezultate dosegov poplav predhodne študije in imajo manjša odstopanja od rezultatov VGB Maribor d.o.o. , ki so posledica drugačen računske mreže programskih paketov in nastavitev programov. Odstopanja so glede na naključnost dosegov poplav v realnem okolju v stopnji pričakovanj. Hidravlični modeli so umerjeni predvsem na nižje pretoke manjše od Q5, saj je skladno s projektno nalogo cilj modelov določitev in preverba učinkov vzdrževanih in drugih del na območju struge in neposredno ob njej. Modeli niso primerni za projektiranje večjih pretokov, višjih povratnih dob npr. Q100, saj hidravlični modeli niso pripravljeni za tovrstne izračune. Za le-te je potrebna večje modifikacija hidravličnih modelov.

Hidravlični modeli se za potrebe nadaljnjega preverjanja modificirajo za kar so podana kratka navodila v prilogi 1 poročila. Za modeliranje in spreminjanje hidravličnega modela in projektiranje mora biti strokovnjak ustrezne izobrazbe in izkušenj z modeliranjem in projektiranjem vodotokov.

Izdelani hidravlični modeli služijo kot analitična podpora pri odločitvah za boljše in učinkovitejše upravljanje vodotoka Drava na obravnavanem območju.

Priloge k tehničnemu poročilu

PRILOGA 1: OSNOVNA NAVODILO ZA UPORABO PROGRAMA HEC-RAS 2D

PRILOGA 1: OSNOVNA NAVODILO ZA UPORABO PROGRAMA HEC-RAS 2D

3 Uporaba HEC-RAS 2D za obstoječi model

Uvod v HEC-RAS 2D:

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) je programska oprema, ki omogoča analizo in modeliranje pretoka vode v rekah, potokih in drugih vodnih telesih. HEC-RAS omogoča enodimenzionalno (1D) in dvodimenzionalno (2D) modeliranje tokov. HEC-RAS 2D je posebej uporabno pri simulaciji in analizi poplavnih območij, saj omogoča natančnejše upoštevanje različnih dejavnikov, kot so hitrosti toka, globine vode in smeri toka.

Za uspešno uporabo programa HEC-RAS je pomembno imeti dobro razumevanje hidrologije, hidravlike, GIS orodij in računalniških programov. Osnovno znanje o temeljnih hidravličnih parametrih in metodah, uporaba GIS orodij za pripravo podatkov ter sposobnost analize in interpretacije rezultatov so ključnega pomena za natančno in učinkovito modeliranje vodotokov in analizo poplavnih območij.

Uporabniki programa HEC-RAS, morajo obvladati tudi obvladovanje različnih vrst vhodnih podatkov, nastavljanje simulacijskih scenarijev in pripravo poročil z rezultati, ki bodo podprla odločanje za ukrepe zaščite pred poplavami.

V tem priročniku bomo obravnavali, kako uporabiti že obstoječi model v HEC-RAS 2D, vključno z nalaganjem modela, nastavitvami 2D območja, izvedbo simulacije in analizo rezultatov.

1. Priprava okolja in nalaganje obstoječega modela

1.1 Namestitev in priprava:

- Prepričajte se, da imate nameščeno različico HEC-RAS 6.6. Program je mogoče prenesti s spletne strani US Army Corps of Engineers.
- Pred začetkom dela pripravite vse potrebne podatke, kot so digitalni model terena (DEM), geografskih podatkov (shapefile, KML, itd.), ter hidrološke podatke (pretoki, nivoji vodostaja).
- Za obdelavo 2D modela boste potrebovali podatke o terenu z dovolj visoko ločljivostjo in informacije o robnih pogojih toka.

1.2 Odpiranje obstoječega modela:

- Za začetek odprite HEC-RAS in izberite **File > Open**.
- Poiščite obstoječi model, ki ga želite uporabiti. Model mora biti v obliki datoteke .prj, ki vsebuje vse geometrijske, hidravlične in vremenske podatke.
- Preverite, ali so podatki, kot so robni pogoji in vhodni parametri (pretoki, vodostaji), vključeni in pripravljeni za nadaljnje korake.

2. Nastavitve 2D območja in geometrije

2.1 Ustvarjanje 2D območja:

- V HEC-RAS izberite **Geometric Data** in nato izberite **RAS Mapper** za obdelavo 2D območja terena in računske mreže.
- V **RAS Mapper** kliknite na Geometry in določite modelno območje



- Nato v modelnem območju določite - **2D Flow Area** in določite območje, kjer bo potekala analiza pretoka. Območje mora vključevati vse pomembne značilnosti, kot so vodotoki, potoki, jezovi, pregrade in drugo infrastrukturo.
- Nastavite robne pogoje: določite območja, kjer je podan zgornji robni pogoj (VTOK) in območja, kjer bo izstopala iz modela (spodnji robni pogoj) (npr. normalna gladina).

2.2 Določitev mreže:

- Pri določanju 2D območja morate določiti velikost celic mreže. Manjše celice bodo omogočile natančnejše rezultate, vendar bodo zahtevale več računalniških virov-računskega časa.
- Prilagodite nastavitve mreže tako, da upoštevate vrsto območja, ki ga modelirate (npr. območja načrtovanih posegov, urbanizirana območja) – zgostitev celic opravite s funkcijo **Breaklines** in funkcijo **Refinement Regions**. Za večje reke bo morda dovolj večja velikost celic.
- **Koeficienti trenja (Manningovega koeficienta):** ti koeficienti določajo, kako hitro se voda giblje skozi različne vrste površin (npr. travniki, gozdovi, urbano območje). – dodatno lahko določite spremenjen koeficient s funkcijo **Calibration Regions**.
- **Spreminjanje in določitev terena** - v programu lahko s funkcijo **Modifications** urejate spremembe v terenu in prilagajate le-tega za potrebe načrtovanih posegov
- Ob spreminjanju terena morajo biti usklajeni posegi z koeficienti hrapavosti in računsko mrežo

3. Nastavitve hidravličnih parametrov

3.1 Določitev hidravličnih lastnosti:

- V razdelku **Flow Data** boste morali nastaviti različne parametre, ki bodo vplivali na simulacijo pretoka vode.

3.2 Nastavitve izračunov:

- Prilagodite vhodne podatke za hidrometrične izračune (računski čas, metoda modeliranja), da zagotovite pravilno delovanje modela.

4. Izvajanje simulacije

4.1 Nastavitve simulacije:

- Ko so vsi podatki pripravljeni, izberite vrsto simulacije, ki jo želite izvesti. To so lahko:
 - **Steady Flow** (stalni tok): primeren za simulacijo stalnega pretoka, kjer so pogoji nespremenjeni skozi čas.
 - **Unsteady Flow** (nestalni tok): uporablja se za analize, kjer se pretok spreminja skozi čas (npr. poplave zaradi padavin).
- Nastavite časovno korake in dolžino simulacije, pri čemer bodite pozorni na časovne spremenljivke, ki so pomembne za analizo (npr. obdobje pretokov, stabilnost hidravličnega modela).

4.2 Zagon simulacije:

- Za začetek simulacije izberite **Run** in nato izberite želeno vrsto simulacije (Steady (stacionaren pretok) ali Unsteady Flow (nestacionaren pretok)).
- HEC-RAS bo začel izračunavati rezultate. Preverite, ali so napake in opozorila odpravljena ter spremljajte napredek simulacije.



5. Analiza rezultatov in vizualizacija

5.1 Pregled rezultatov:

- Po končani simulaciji si oglejte rezultate v **RAS Mapper**.
- Rezultate lahko prikazujete kot:
 - **Globinske karte**: Za analizo globin vode na različnih točkah območja.
 - **Hitrostne karte**: Za analizo hitrosti toka v različnih delih območja.
 - **Potek toka**: Določite smer pretoka z uporabo vektorskih prikazov.

5.3 Izvoz rezultatov:

- Ko so rezultati pripravljeni, jih lahko izvozite v različne formate, kot so **.shp**, **.tif**, **.csv**, **.txt** za nadaljnjo analizo ali pripravo poročil.
 - Prav tako lahko ustvarite animacije, ki bodo vizualizirale pretok skozi čas, kar je koristno za poročanje ali vizualizacijo za zainteresirane strani.
-

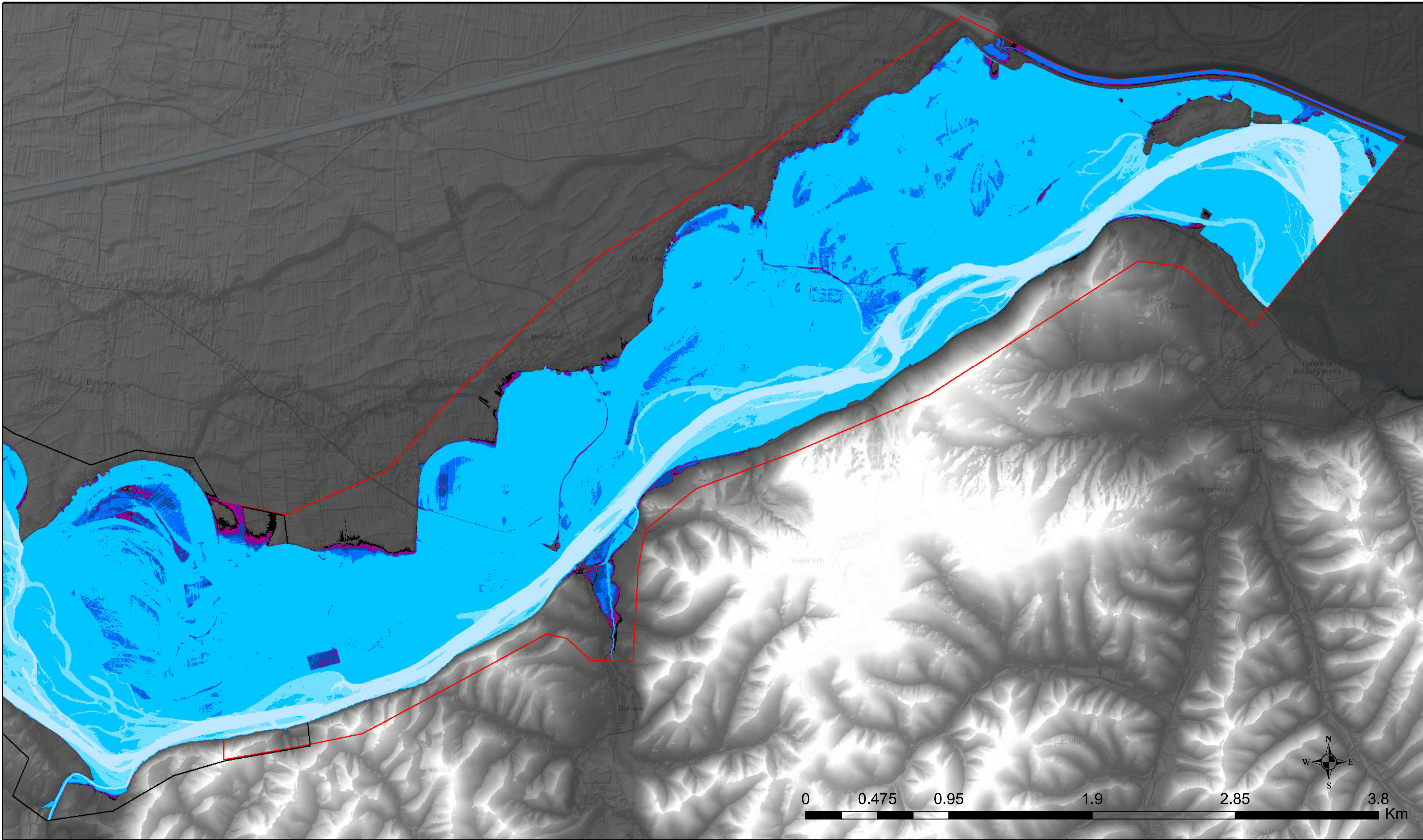
6. Zaključek

Z uporabo HEC-RAS 2D za obstoječi model lahko učinkovito analizirate poplavna območja, hitrosti toka in globine vode na različnih območjih. S pravilnim nastavljanjem 2D območja, robnih pogojev in hidravličnih lastnosti boste dobili natančne rezultate, ki so uporabni za načrtovanje poplavne zaščite, obvladovanje voda in infrastrukturne projekte.

Za nadaljnje raziskovanje in optimizacijo modelov priporočamo, da se posvetujete z naprednimi funkcijami HEC-RAS, kot so scenariji za prilagoditev pretokov, občutljivostne analize in integracija z drugimi GIS orodji.

2. GRAFIČNE PRILOGE

M1	Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Zavrč	M 1: 15 000
M2	Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Markovci	M 1: 10 000
M3	Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Zlatoličje	M 1: 15 000
M4	Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Duplek	M 1: 10 000
M5	Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Malečnik	M 1: 10 000



ODSEK 1 (Ptuj - Zavrč)
M1 - Zavrč

PODPORNA HIDROLOŠKO HIDRAVLIČNA ŠTUDIJA REKE DRAVE
Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Zavrč

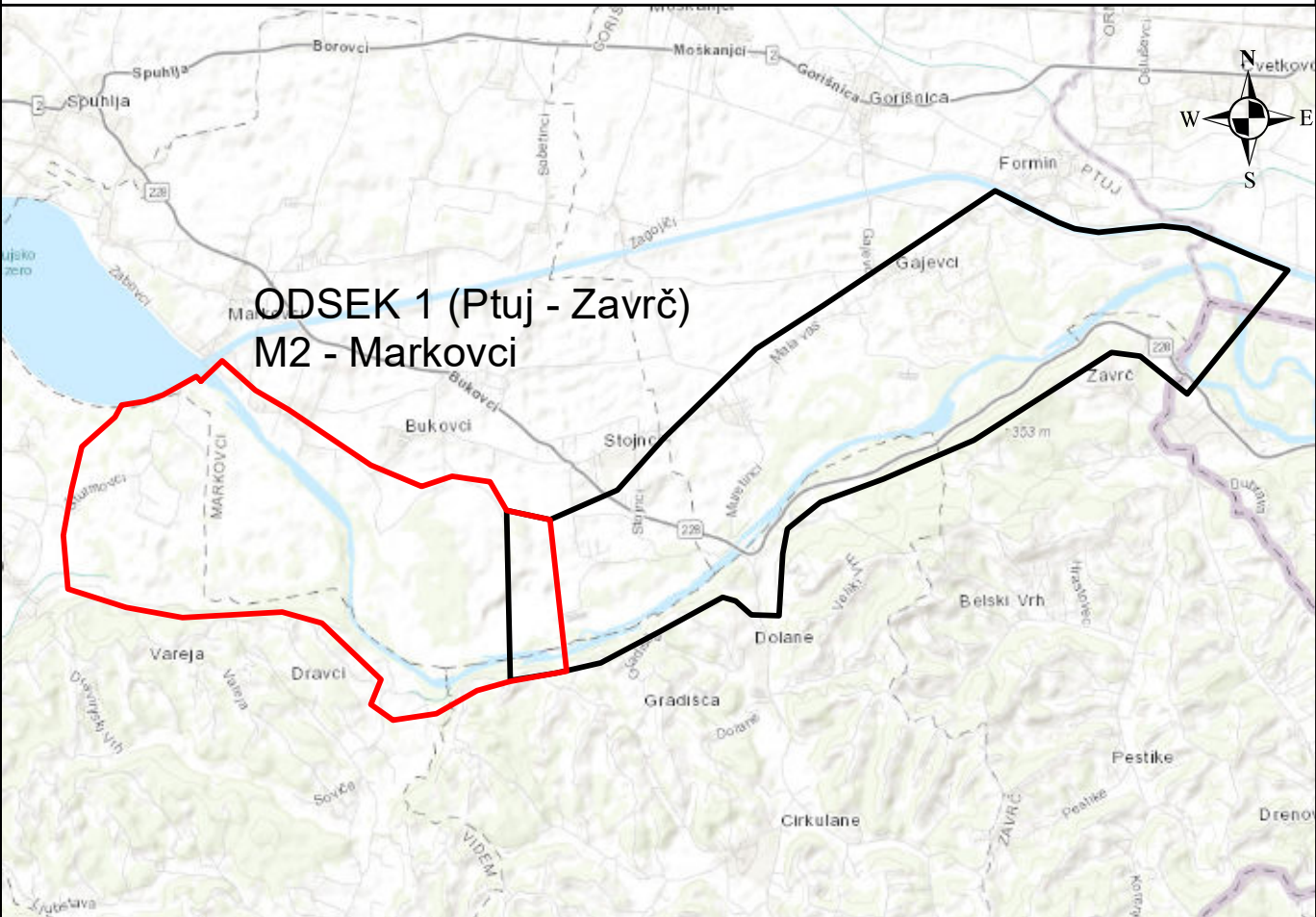
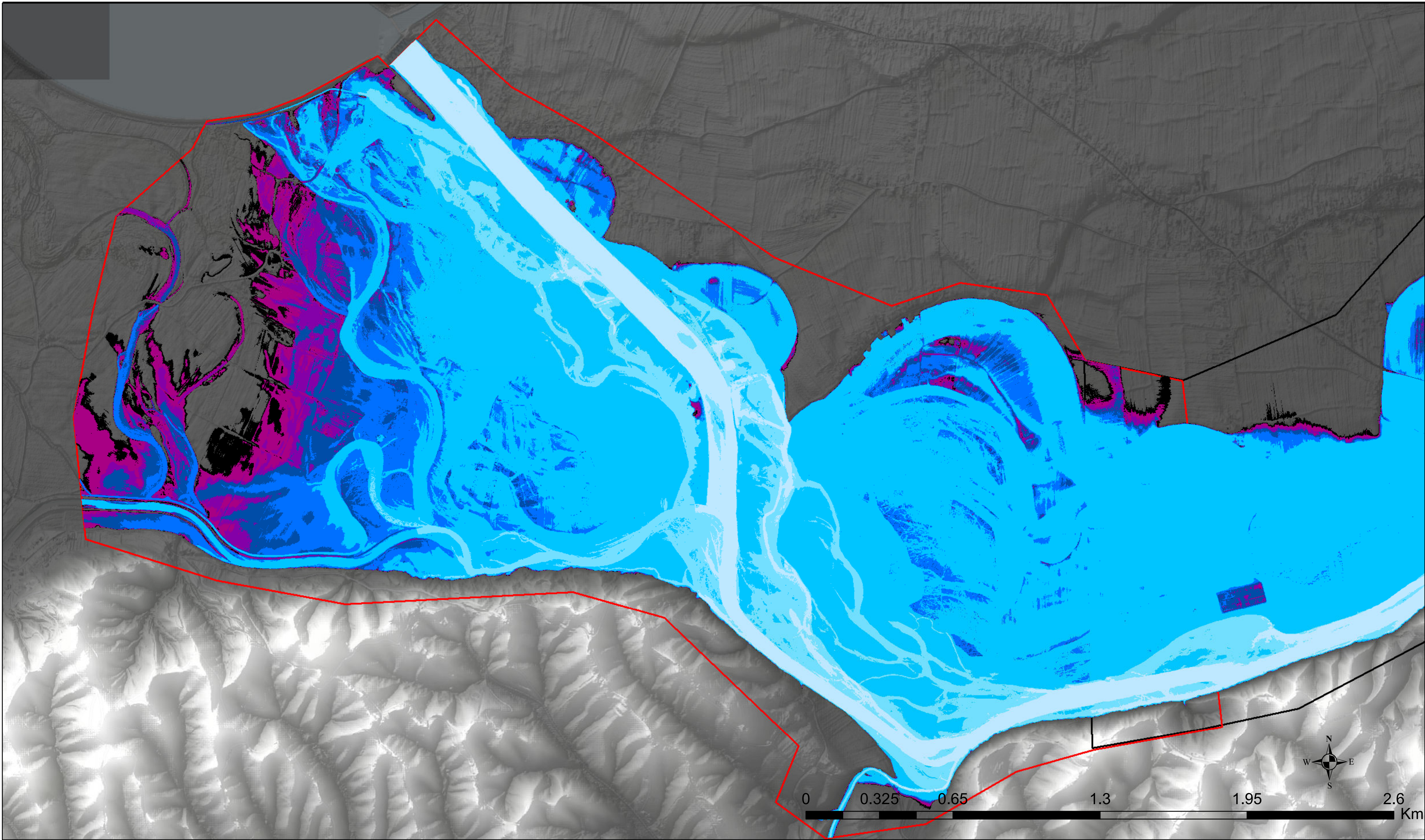
Legenda prikazanih obsegov poplav:

- sQnp
- sQs
- Q2
- Q5
- Q10
- Q20
- Q50
- Q100

Projekt številka 109/25-NV;
Februar 2025
M 1:15 000

Izdelal:
VGP DRAVA PTUJ, d.o.o,
Žnidaričevo nabrežje 11
2250 Ptuj

DRAVA
VODNOGOSPODARSKO PODJETJE PTUJ, d.o.o.



PODPORNA HIDROLOŠKO HIDRAVLIČNA ŠTUDIJA REKE DRAVE
Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Markovci

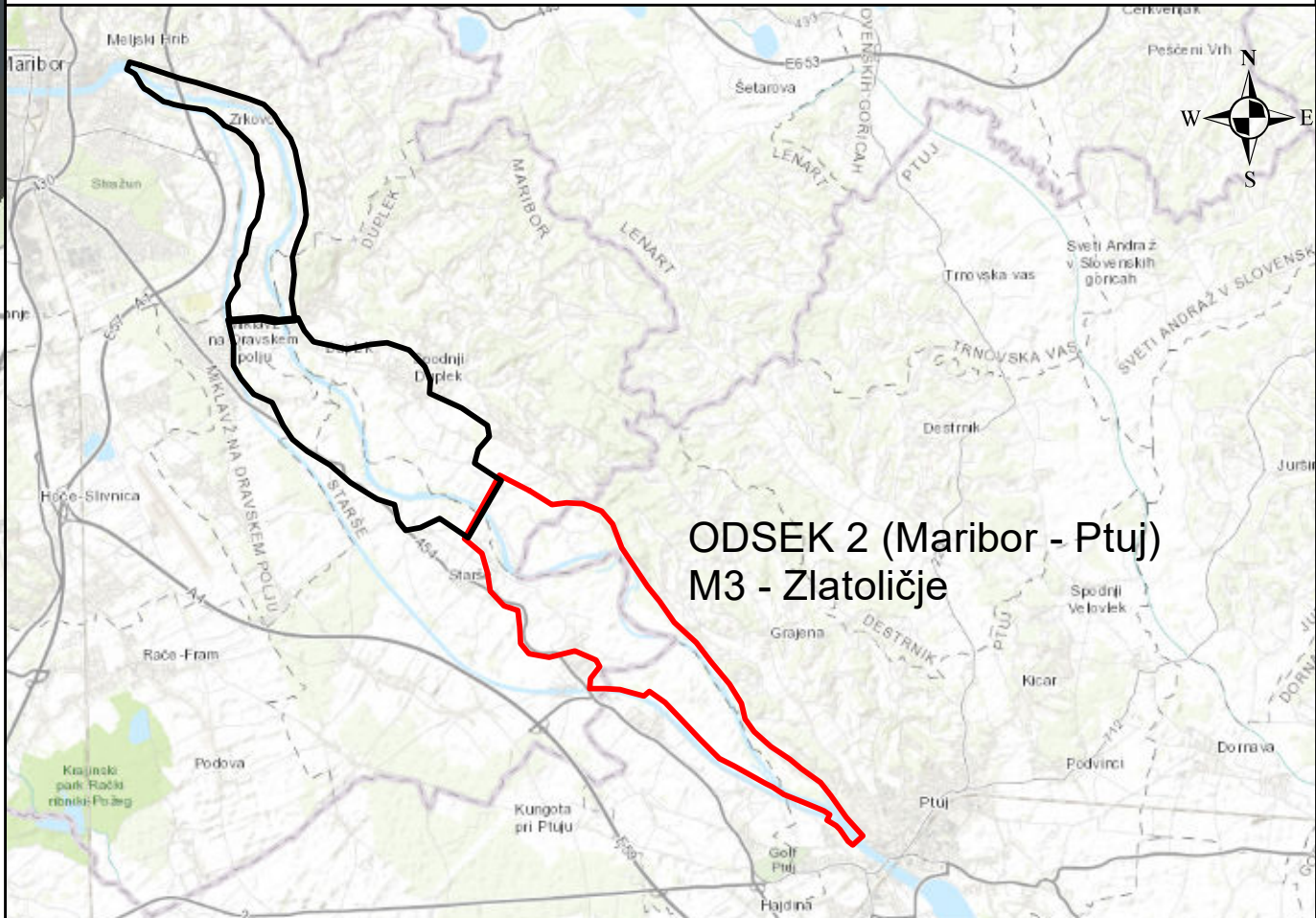
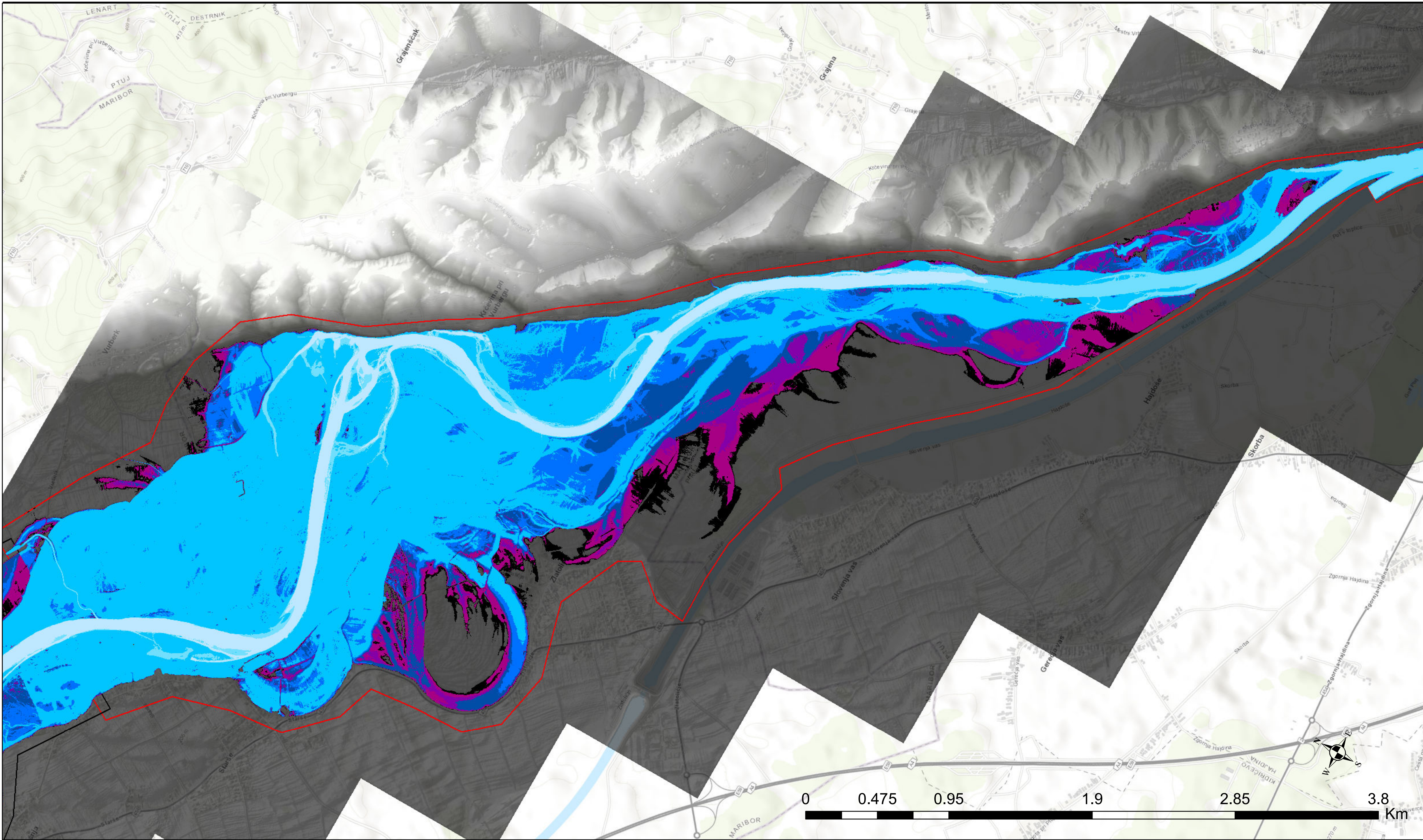
Legenda prikazanih obsegov poplav:

- sQnp
- sQs
- Q2
- Q5
- Q10
- Q20
- Q50
- Q100

Projekt številka 109/25-NV;
Februar 2025
M 1:10 000

Izdelal:
VGP DRAVA PTUJ, d.o.o.,
Žnidaričevo nabrežje 11
2250 Ptuj

DRAVA
VODNOGOSPODARSKO PODJETJE PTUJ, d.o.o.



PODPORNA HIDROLOŠKO HIDRAVLIČNA ŠTUDIJA REKE DRAVE
Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Zlatoličje

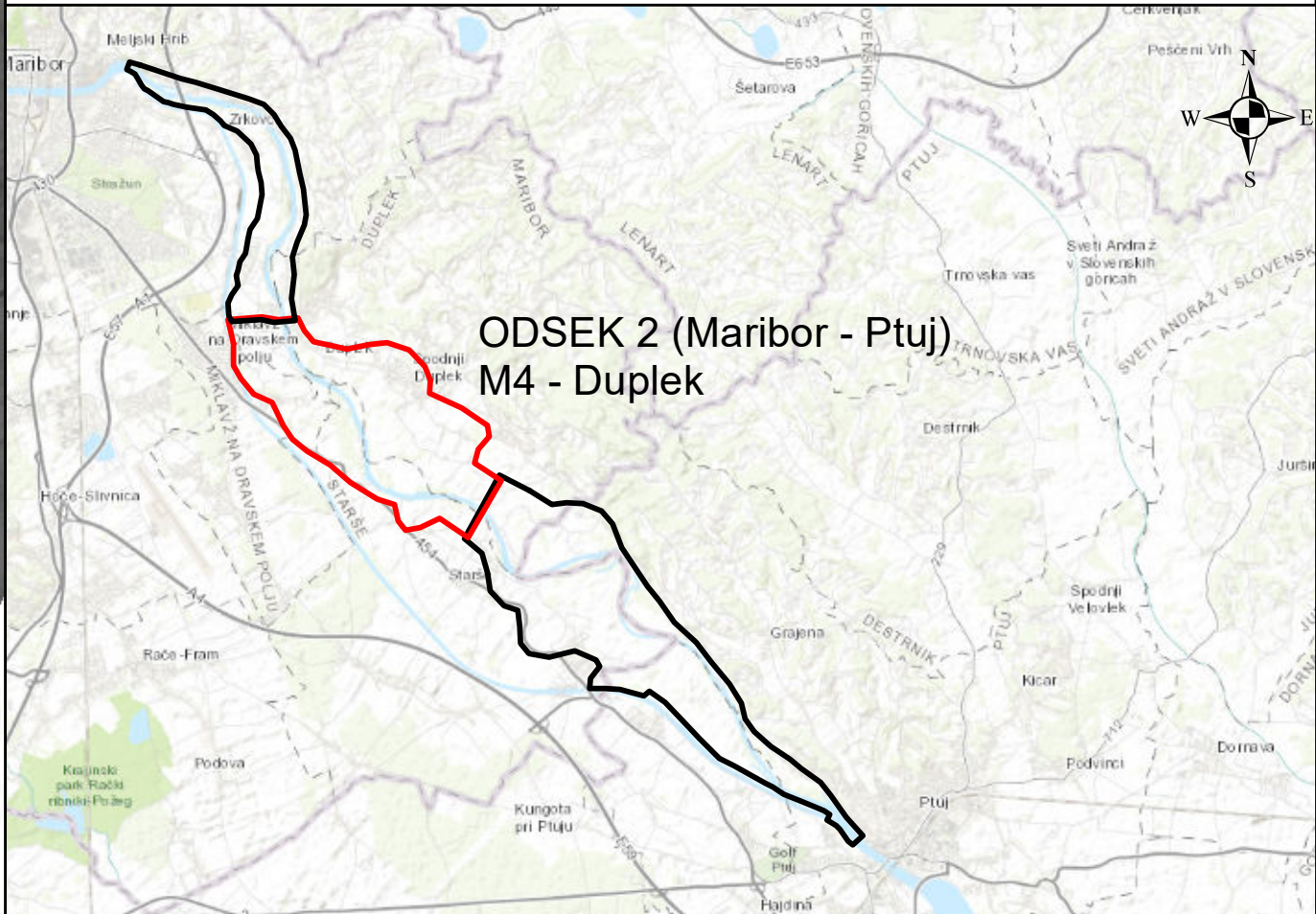
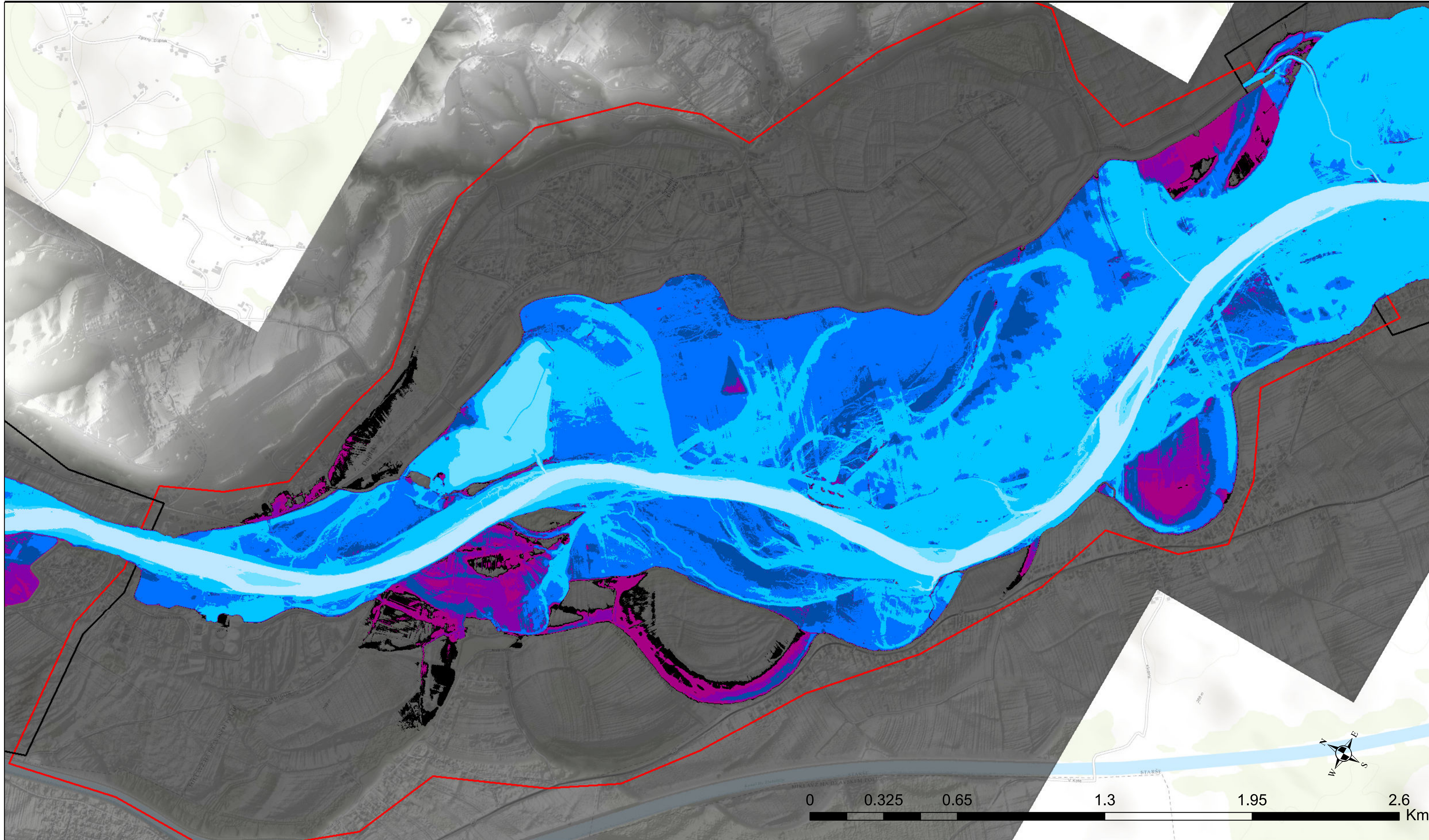
Legenda prikazanih obsegov poplav:

- sQnp
- sQs
- Q2
- Q5
- Q10
- Q20
- Q50
- Q100

Projekt številka 109/25-NV;
Februar 2025
M 1:15 000

Izdelal:
VGP DRAVA PTUJ, d.o.o,
Žnidaričevo nabrežje 11
2250 Ptuj

DRAVA
VODNOSPODARSKO PODJETJE PTUJ, d.o.o.



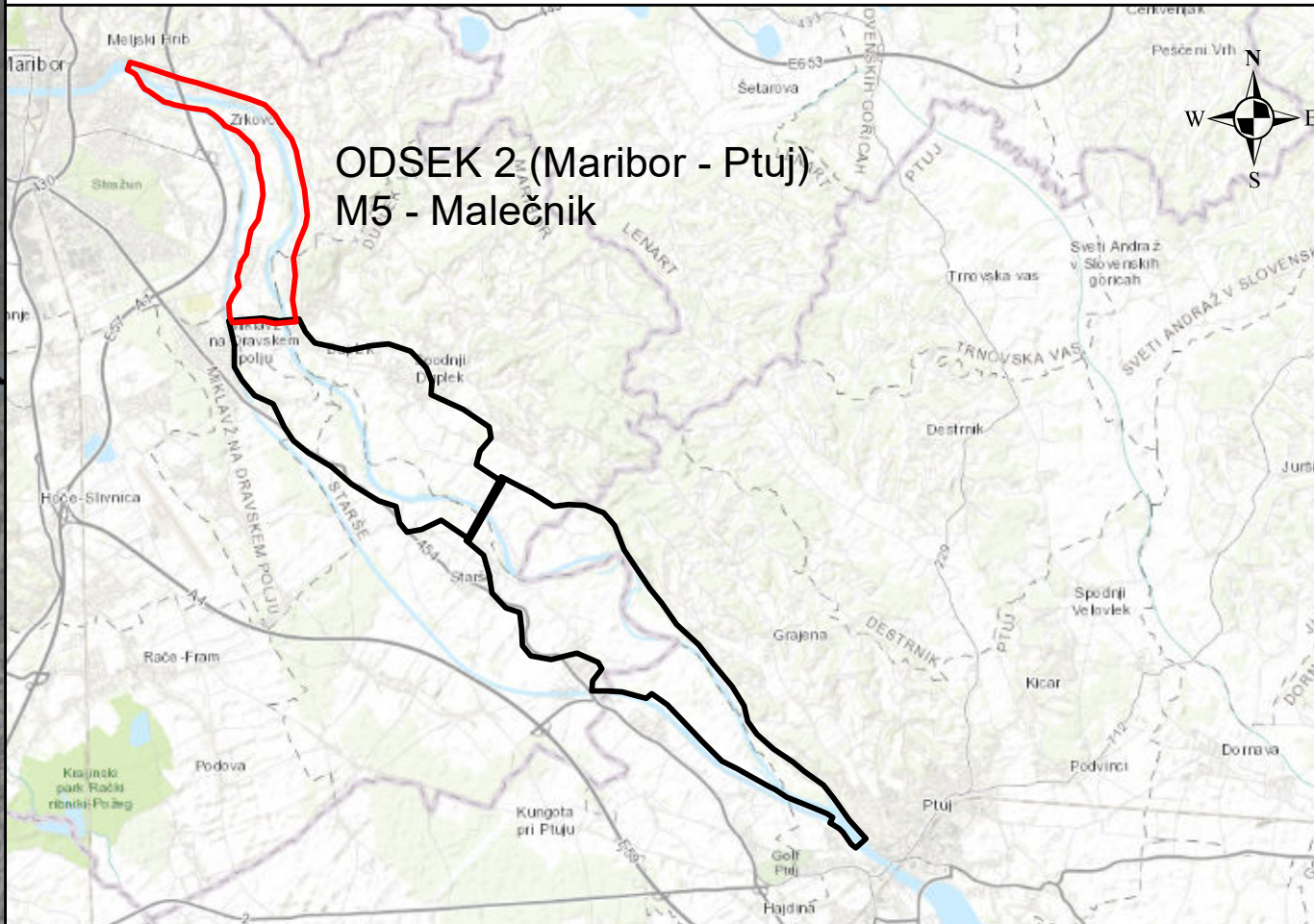
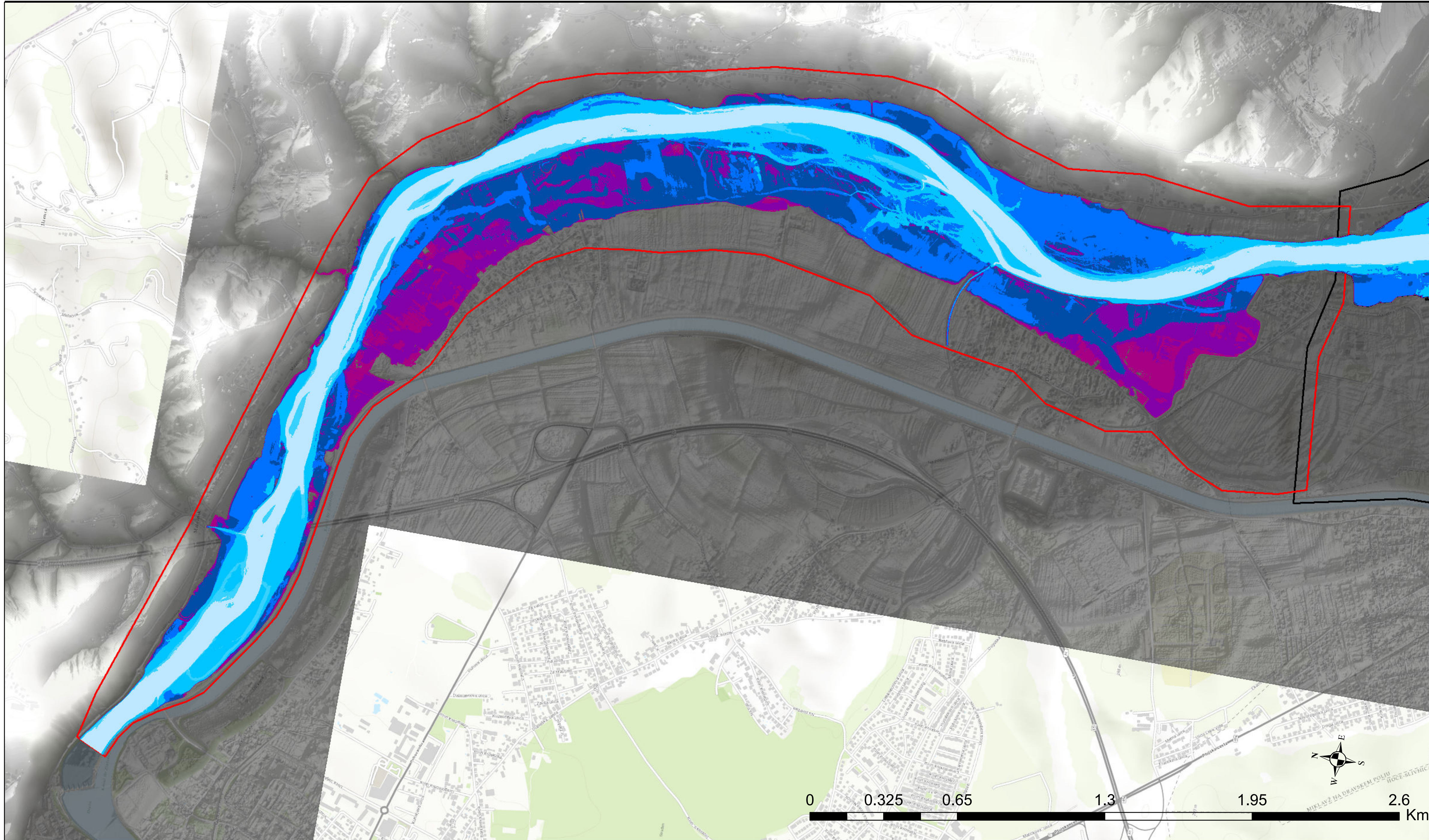
PODPORNA HIDROLOŠKO HIDRAVLIČNA ŠTUDIJA REKE DRAVE
Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Duplek

Legenda prikazanih obsegov poplav:

- sQnp
- sQs
- Q2
- Q5
- Q10
- Q20
- Q50
- Q100

Projekt številka 109/25-NV;
Februar 2025
M 1:10 000
Izdelal:
VGP DRAVA PTUJ, d.o.o,
Žnidaričevo nabrežje 11
2250 Ptuj

 **DRAVA**
VODNOSPODARSKO PODJETJE PTUJ, d.o.o.



PODPORNA HIDROLOŠKO HIDRAVLIČNA ŠTUDIJA REKE DRAVE
Karta obsegov poplav sQnp, sQs, Q2, Q5, Q10, Q20, Q50, Q100 na modelu Malečnik

Legenda prikazanih obsegov poplav:

- sQnp
- sQs
- Q2
- Q5
- Q10
- Q20
- Q50
- Q100

Projekt številka 109/25-NV;
Februar 2025
M 1:10 000
Izdelal:
VGP DRAVA PTUJ, d.o.o,
Žnidaričevo nabrežje 11
2250 Ptuj

