

Kontrola stanja obrambenih nasipa vodotoka I. reda panonskog dijela Republike Hrvatske

Mravlja, Bruno

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:971978>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-26**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geološkog inženjerstva

Hidrogeologija i inženjerska geologija

**KONTROLA STANJA OBRAMBENIH NASIPA VODOTOKA
I. REDA PANONSKOG DIJELA REPUBLIKE HRVATSKE**

Diplomski rad

Bruno Mravlja

GI 383

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/31
URBROJ: 251-70-15-22-2
U Zagrebu, 3. 3. 2022.

Bruno Mravlja, student

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/31, URBROJ: 251-70-15-22-1 od 28. 2. 2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

KONTROLA STANJA OBRAMBENIH NASIPA VODOTOKA I. REDA PANONSKOG DIJELA REPUBLIKE HRVATSKE

Za mentoricu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

Mentorica:

(potpis)

Prof. dr. sc. Snježana Mihalić
Arbanas

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Doc. dr. sc. Zoran Kovač

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv. prof. dr. sc. Borivoje
Pašić

(titula, ime i prezime)

Zahvaljujem...

...tvrtki Geokon-Zagreb d.d.

što mi je omogućila da dam svoj doprinos ovom zanimljivom projektu,
posebno Franu Miljkoviću i Ivanu Pećini za korisne savjete i tehničku pomoć

...svojoj mentorici prof. dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas
što je prepoznala potencijal ovog rada te za pomoć i jasno usmjeravanje pri pisanju rada

...svojim roditeljima
na bezuvjetnoj podršci i ljubavi na cijelom akademskom putu, koliko god je bio krivudav

...Adeliti,
najboljoj prijateljici i najvećoj podršci, kroz sve uspone i padove

...prijateljima
što su mi uljepšavali studentske dane

KONTROLA STANJA OBRAMBENIH NASIPA VODOTOKA I. REDA PANONSKOG
DIJELA REPUBLIKE HRVATSKE

BRUNO MRAVLJA

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

U sklopu projekta VEPAR (Vodno-ekološko praćenje, analize i rješenja), financiranog iz Europskog fonda za regionalni razvoj, a kojega provode Hrvatske vode i Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) s tvrtkom Geokon-Zagreb d.d. kao izvođačem, u razdoblju od svibnja do listopada 2021. provedena je kontrola stanja nasipa vodotoka 1. reda panonskog dijela Republike Hrvatske. Istraživanje je obuhvatilo nasipe ukupne duljine 1.460 km. Kroz preliminarna kabinetska istraživanja su, na temelju postojećih podataka te podataka iz prijašnjih istražnih radova, određene opće geološke, inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke promatranog područja te je pripremljena kartografska podloga za terensku fazu istraživanja. Provedeno je rekognosciranje cijelog istraživnog područja (oko 30.000 km²), u okviru čega su vizualno pregledani svi nasipi i prikupljeni detaljni podatci o indikatorima hazarda na terenu. Izrađena je GIS baza podataka o postojećem stanju nasipa te je obavljena kategorizacija istih, u okviru čega su dionice nasipa procijenjene kao stabilne, uvjetno stabilne ili nestabilne. U ovom radu se prikazuje koncept ovog dijela istraživanja, prikupljanje i analiza podataka, kao i rezultati istraživanja. Primjena rezultata i svrha preliminarnih istraživanja bila je određivanje prioriteta i planiranje detaljnih terenskih istraživanja kritičnih dionica nasipa, kako bi se procijenili geotehnički uvjeti u nasipu i temeljnom tlu. Rezultati geotehničkih istraživanja omogućit će definiranje smjernica za daljnja postupanja koja se, ovisno o stanju nasipa, sastoje od redovnog i pojačanog održavanja ili sanacije nasipa, a s krajnjom svrhom upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj.

Ključne riječi: hidrotehnički nasip, vodotoci 1. reda, panonska Hrvatska, pregled nasipa, rekognosciranje

Diplomski rad sadrži: 42 stranica, 27 slika, 6 tablica, 2 priloga i 32 referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Diplomski rad pohranjen: knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Pomoć pri izradi: Geokon-Zagreb d.d.

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Izv. prof. dr. sc. Leo Matešić, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Izv. prof. dr. sc. Martin Krkač, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Datum obrane: 11. ožujka 2022.

REVIEW OF THE CONDITION OF THE FIRST ORDER WATERFLOW FLOODBANKS OF
THE PANNONIAN PART OF THE REPUBLIC OF CROATIA

BRUNO MRAVLJA

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

As part of the VEPAR project (Water-ecological monitoring, analysis and solutions), funded by the European Regional Development Fund, and implemented by Hrvatske vode and the Croatian Meteorological and Hydrological Service (DHMZ) with Geokon-Zagreb d.d. as a contractor, in the period from May to October 2021, the condition of the of the 1st order waterflow floodbanks of the pannonian part of the Republic of Croatia was reviewed. The research included floodbanks with a total length of 1,460 km. Based on existing data and data from previous geotechnical expolorations, general geological, engineering geological and hydrogeological characteristics of the observed area were determined through preliminary cabinet research; and a cartographic basis for the field phase of the research was prepared. A reconnaissance of the entire study area (app. 30,000 km²) was carried out, during which all floodbanks were visually inspected and detailed data on hazard indicators in the field were collected. A GIS database on the current condition of the floodbank was developed and categorized, within which the floodbank sections were assessed as stable, conditionally stable or unstable. This paper presents the concept of this part of the research, data collection and analysis, as well as the research results. The application of the results and the purpose of the preliminary research was to set priorities and plan detailed field research of critical sections of the floodbank, in order to assess the geotechnical conditions in the floodbank and the foundation soil. The results of geotechnical research will enable the definition of guidelines for further actions which, depending on the condition of the floodbank, consist of regular and enhanced maintenance or remediation of the floodbank, with the ultimate purpose of flood risk management in the Republic of Croatia.

Keywords: floodbank, first order waterflows, pannonian part od Croatia, floodbank review, reconnaissance

Thesis contains: 42 pages, 27 figures, 6 tables, 2 enclosures and 32 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Professor Snježana Mihalić Arbanas, PhD

Technical support and assistance: Geokon-Zagreb d.d.

Reviewers: Professor Snježana Mihalić Arbanas, PhD

Associate Professor Leo Matešić, PhD

Associate Professor Martin Krkač, PhD

Date of defense: March 11, 2022

SADRŽAJ

POPIS TABLICA.....	II
POPIS SLIKA	II
POPIS PRILOGA.....	III
1 Uvod	1
2 O projektu	3
3 Teorijske i zakonske osnove.....	5
4 Značajke istraživnog područja	9
4.1 Geografski smještaj.....	9
4.2 Klimatološke značajke.....	9
4.3 Hidrološke značajke	11
4.4 Geomorfološke značajke.....	12
4.5 Geološke i hidrogeološke značajke.....	13
4.6 Aktivni geomorfološki i geodinamički procesi i pojave	15
5 Metode istraživanja.....	17
5.1 Prikupljanje i sistematizacija postojećih podataka	17
5.2 Terensko rekognosciranje.....	18
5.3 Kategorizacija nasipa po stanju	22
5.4 Analiza podataka u GIS-u	23
6 Rezultati istraživanja	24
6.1 Preliminarna kabinetska istraživanja	24
6.2 Terensko rekognosciranje s prostornom analizom u GIS-u.....	29
6.3 Kategorizacija nasipa po stanju s GIS analizom	35
7 Zaključak	39
8 Literatura	40

POPIS TABLICA

<i>Tablica 5.1 Kriteriji preliminarnе kategorizacije nasipa; I. skupina – Geometrija (pukotine / slijeganje / klizanje).....</i>	<i>20</i>
<i>Tablica 5.2 Kriteriji preliminarnе kategorizacije nasipa; II. skupina – Utjecaj vode (meandriranje / prelijevanje / procjeđivanje).....</i>	<i>20</i>
<i>Tablica 5.3 Kriteriji preliminarnе kategorizacije nasipa; III. skupina – Utjecaj ekosustava / utjecaj čovjeka</i>	<i>21</i>
<i>Tablica 6.1 Isječak iz tablice podataka o istraživačkim bušotinama vezanim za nasipe, prikupljenih iz postojećih istraživanja.....</i>	<i>27</i>
<i>Tablica 6.2 Količina pojedinih indikatora hazarda opaženih terenskim rekognosciranjem</i>	<i>29</i>
<i>Tablica 6.3 Isječak iz baze podataka terenskog rekognosciranja</i>	<i>30</i>

POPIS SLIKA

<i>Slika 1.1 Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja (Hrvatske vode, 2019)</i>	<i>1</i>
<i>Slika 2.1 Aktivnosti projekta.....</i>	<i>4</i>
<i>Slika 3.1 Kartografski prikaz i popis branjenih područja za obranu od poplava (Hrvatske vode, 2018).....</i>	<i>6</i>
<i>Slika 3.2 Dijelovi hidrotehničkog nasipa (prema Ivšić, 2018)</i>	<i>7</i>
<i>Slika 3.3 Karta relativne inženjerske uporabivosti pojedinih vrsta tla za nasipanje i zbijanje (NAVFAC, 1982).....</i>	<i>8</i>
<i>Slika 4.1 Karta srednjih godišnjih količina oborine za razdoblje 1961.-1990. (Zaninović, et al., 2008).....</i>	<i>10</i>
<i>Slika 4.2 Geomorfološka podjela Panonske Hrvatske na podlozi digitalnog modela reljefa; 1 – Panonski bazen, 1.1. – Istočna Hrvatska ravnica s Gornjom Podravinom, 1.2. – Slavonsko gromadno gorje s Požeškom zavalom i nizinom Save, 1.3. – Zavala SZ Hrvatske, 1.4. – Gorsko – zavalско područje SZ Hrvatske (prema Bognar, 2001; prema www.diva-gis.org, 2022)</i>	<i>12</i>
<i>Slika 4.3 (a) položaj panonske Hrvatske unutar Panonske nizine; (b) geološki prikaz panonske Hrvatske uz detaljniji prikaz pripadajućih rijeka (prema Hrvatski geološki institut, 2009)</i>	<i>13</i>
<i>Slika 4.4 Karta potresnih područja RH, poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla tipa A s vjerojatnosti premašaja 10% u: (a) 10 godina za poredbeno povratno razdoblje 95 godina; (b) 50 godina za poredbeno povratno razdoblje 475 godina (prema Herak, et al.,2011).....</i>	<i>16</i>
<i>Slika 5.1 Regulacijske i zaštitne vodne građevine istraživane u projektu</i>	<i>18</i>
<i>Slika 5.2 Dio sučelja ODK mobilne aplikacije za evidenciju podataka</i>	<i>19</i>
<i>Slika 5.3 Kategorije stanja nasipa i preporučene akcije.....</i>	<i>22</i>
<i>Slika 6.1 Karta istraživanih nasipa vodotoka I. reda panonske Hrvatske, s duljinama nasipa po branjenom području</i>	<i>24</i>
<i>Slika 6.2 Karta lokacija relevantnih postojećih istražnih bušotina</i>	<i>25</i>
<i>Slika 6.3 Isječak iz tablice podataka o nasipima na vodotocima I. reda</i>	<i>26</i>
<i>Slika 6.5 Klizište na nasipu: (a) trenutačno neaktivno rotacijsko klizište; (b) recentno klizište s vidljivom glavnom pukotinom</i>	<i>31</i>
<i>Slika 6.6 Destruktivno djelovanje vozila na: (a) kruni nasipa; (b) pokosu nasipa.....</i>	<i>31</i>

<i>Slika 6.7 Životinjske nastambe na pokosu nasipa: (a) krtičnjaci; (b) jazbina.....</i>	<i>31</i>
<i>Slika 6.8 Jače slijeganje nasipa.....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 6.9 Jače sezonske pukotine na nasipu: (a) lokalno; (b) duž krune nasipa.....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 6.10 Viša vegetacija na: (a) kruni nasipa; (b) pokosu nasipa.....</i>	<i>32</i>
<i>Slika 6.11 Karta lokacija i koncentracije indikatora hazarda koji se očituju promjenom geometrije nasipa.....</i>	<i>33</i>
<i>Slika 6.12 Karta lokacija i koncentracije indikatora hazarda uzrokovanih utjecajem vode.....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 6.13 Karta lokacija i koncentracije indikatora hazarda uzrokovanih utjecajem ekosustava.....</i>	<i>34</i>
<i>Slika 6.14 Karta kategoriziranih pojava: (a) istraživanog područja; (b) segmenta BP Česma-Glogovnica i Zelina-Lonja.....</i>	<i>36</i>
<i>Slika 6.15 Karta lokacija i koncentracije pojava srednjeg i jakog utjecaja; i rezultirajućih dionica uvjetno stabilnih i nestabilnih nasipa.....</i>	<i>37</i>
<i>Slika 6.16 Karta lokacija i koncentracije pojava jakog utjecaja i rezultirajućih dionica nestabilnih nasipa.....</i>	<i>38</i>

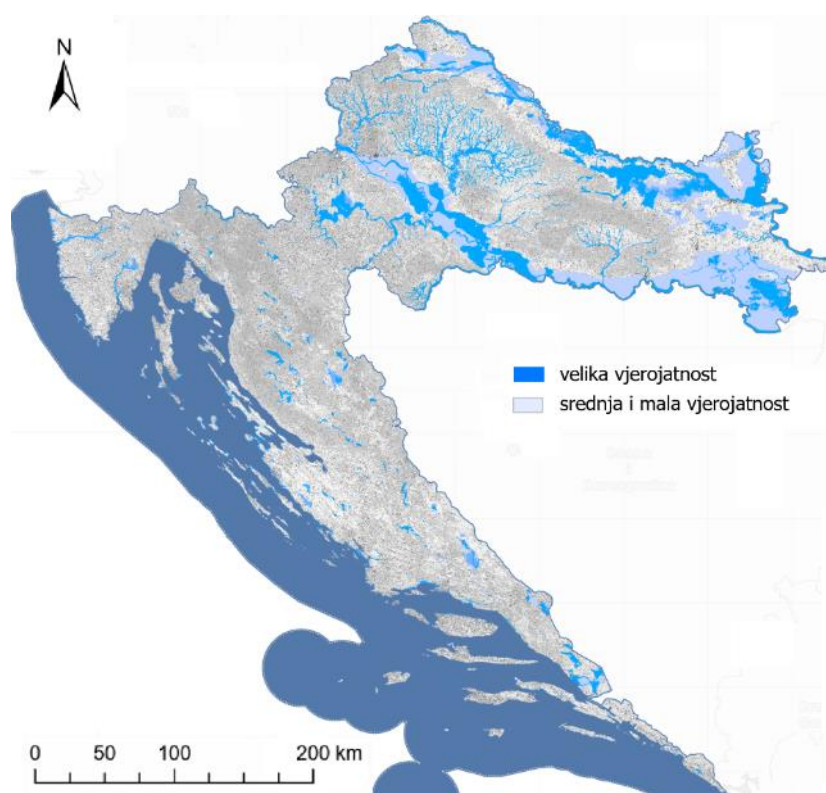
POPIS PRILOGA

Prilog 1 Shematski prikaz obrasca u aplikaciji i metodologija ocjenjivanja pojava (prema Geokon-Zagreb d.d., 2017)

Prilog 2 Tablica kategorizacije nasipa na temelju terenskog pregleda (Geokon-Zagreb d.d., 2017)

1 Uvod

Zahvaljujući povoljnom klimatsko-geografskom položaju, Republika Hrvatska obiluje rijekama. Koristimo ih za navodnjavanje, u industrijske svrhe, pune podzemne vodonosnike koje zatim crpimo. No, njihovo djelovanje katkad dovede do po ljude neželjenih pojava, poplava. Jedan takav događaj novijeg datuma zadesio je istočne dijelove Posavine u svibnju 2014. godine, izazvavši prirodnu katastrofu velikih razmjera. Potencijalni udio katastrofa vezanih uz poplave vrlo je značajan, kako po posljedicama, tako i po izuzetno širokom području koje je njima izloženo. Karta opasnosti od poplava u Republici Hrvatskoj (Slika 1.1; približno mjerilo 1:4.000.000) to i potvrđuje.



Slika 1.1 Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja (Hrvatske vode, 2019)

Navedeno ukazuje na potrebu za sustavom obrane od poplava, kojeg su hidrotehnički nasipi najvažniji dio. Postojeći nasipi su nejednolike kvalitete i neujednačenih visina te zbog toga osiguravaju različite stupnjeve zaštite zaobalja. Uglavnom su izgrađeni od lokalnih materijala s tehnologijom i kontrolom kvalitete koja je bila karakteristična za razdoblja kada su građeni. Iako su nasipi tehnički relativno jednostavne građevine, zbog velikog područja obuhvata, njihovo održavanje, rekonstrukcija i izgradnja iziskuje velika financijska ulaganja. Stoga je pokrenut projekt sveobuhvatne valorizacije stanja svih nasipa vodotoka

1. reda, kao osnovica za određivanje prioriteta i daljnjih postupanja za unapređenje sustava zaštite od poplava.

Ovaj rad izrađen je u okviru projekta Hrvatskih voda, čiji je izvođač tvrtka *Geokon-Zagreb d.d.* Predmetni projekt se provodi u okviru projekta financiranog iz Europskih strukturnih fondova VEPAR (KK.05.2.1.07.0001) sa svrhom upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj. Projekt VEPAR je detaljno opisan u nastavku ovog rada, a dodatne informacije nalaze se na web stranici projekta <https://opzo-opkk.hr/> (opzo-opkk.hr).

Istraživanjem su obuhvaćeni nasipi na vodotocima 1. reda, ukupne duljine 1.460 km. Stvarna duljina nasipa na vodotocima 1. reda iznosi 2.373 km (Hrvatske vode, 2020.), no umanjena je za nasipe na području Gornje i Srednje Save na kojima je isto istraživanje provedeno u sklopu prijašnjih projekata. Fokus istraživanja je na panonskoj Hrvatskoj, na kojoj se nalazi većina spomenutih nasipa i koja pripada Dunavskom slivu. Zbog vrlo različitih hidroloških i hidrogeoloških svojstava, pripadnosti drugome slivu i konačno zbog relativno malog broja nasipa, regije Primorske i Gorske Hrvatske izostavljene su iz ovog istraživanja.

U sklopu preliminarnih kabinetskih istraživanja su, na temelju postojećih podataka te podataka iz provedenih istražnih radova, određene opće geološke, inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke promatranog područja. Temeljem opsežnog rekognosciranja, tj. vizualnog pregleda svih nasipa i prikupljanja podataka na terenu, uspostavljena je GIS (geografski informacijski sustav) baza podataka o postojećem stanju nasipa te je obavljena kategorizacija istih. Navedena istraživanja su provedena od svibnja do listopada 2021. godine. Na osnovi ocjene nasipa, u kombinaciji s podacima dobivenim preliminarnim istraživanjima, isplanirana su detaljna terenska istraživanja kritičnih dionica nasipa, kako bi se procijenili geotehnički uvjeti u nasipu i temeljnom tlu. Naime, s obzirom na veliku površinu nasipa i branjenih područja koja pripadaju sustavu obrane od poplave, geotehnički uvjeti su vrlo različiti što se odražava na sastav tala nasipa i podloge na kojoj su izgrađeni. Temeljem dobivenih podataka definiraju su smjernice za daljnja postupanja koja se, ovisno o stanju nasipa, sastoje od redovnog i pojačanog održavanja ili sanacije nasipa.

2 O projektu

Projekt VEPAR (*Vodno-ekološko praćenje, analize i rješenja*) je projekt unapređenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj. Njime se namjerava postići smanjenje rizika od poplava uz druge pozitivne rezultate vezane na unaprjeđenje u praćenju, analizama i pronalaženju optimalnih rješenja za integralno i održivo upravljanje vodama, vodnim okolišem i rizicima od poplava u RH. U nadležnosti je *Hrvatskih voda* i *Državnog hidrometeorološkog zavoda* (DHMZ) (Hrvatske vode, 2020.).

Projekt se provodi u sklopu Operativnog programa EU Konkurentnost i kohezija 2014.-2020., kao dio Prioritetne osi 5 - Klimatske promjene i upravljanje rizicima, Investicijskog prioriteta 5b - Promicanje ulaganja koja se odnose na posebne rizike, osiguranje otpornosti na katastrofe i razvoj sustava za upravljanje katastrofama, te specifičnog cilja 5b1- Jačanje sustava upravljanja katastrofama.

Kroz provedbu Projekta će se, između ostalog, osigurati i sistematizirati nedostajući podaci vezani na slivove, vodotoke, regulacijske i zaštitne vodne građevine, modernizirati i dograditi mreža hidroloških mjernih postaja, izraditi ili poboljšati prognostički matematički modeli, izraditi ili poboljšati studije upravljanja rizicima od poplava, nabaviti potrebna oprema za učinkovitiju provedbu operativnih mjera obrane od poplava, educirati i informirati javnost o rizicima od poplava te provesti druge aktivnosti kroz koje će se sveobuhvatno unaprijediti negrađevinske mjere upravljanja rizicima od poplava u RH. Implementacija svega navedenog doprinijet će dostizanju strateških ciljeva zacrtanih u Strategiji upravljanja vodama (NN 91/08) i Planu upravljanja rizicima od poplava (NN 66/16).

Naziv elementa projekta
Potprojekt A - Prikupljanje i analiza podataka za upravljanje rizicima od poplava
Potprojekt B - Unapređenje studijskih i modelskih osnova za upravljanje rizicima od poplava
Potprojekt C - Unapređenje sustava za prognoziranje poplava
Potprojekt D - Unapređenje sustava za hidrološko praćenje površinskih voda
Potprojekt E - Unapređenje sustava za praćenje i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina (RIZVG)
Potprojekt F - Oprema za obranu od poplava
Potprojekt G - Unapređenje sustava za informiranje javnosti i educiranje dionika
Potprojekt H - Izgradnja i opremanje centralnog objekta za upravljanje rizicima od poplava
Potprojekt I - Analiza svih provedenih aktivnosti I faze i izrada programa radova za slijedeću fazu Programa

Slika 2.1 Aktivnosti projekta

Od svih aktivnosti obuhvaćenih Projektom (Slika 2.1), u fokusu ovog rada je Podprojekt E – Unapređenje sustava za praćenje i održavanje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina (RIZVG). Osnovne komponente podprojekta su uspostavljanje informacijskog sustava za praćenje i održavanje RIZVG u GIS-u i preliminarna kategorizacija nasipa na vodotocima 1. reda kroz provedbu ograničenih terenskih istraživanja (vizualni pregled), kojima se prikupljaju osnovni podaci o stanju ovih RIZVG i temeljem kojih se provodi prioritizacija i plan detaljnih istraživanja na prioritetnim dionicama. Zatim se pristupa detaljnoj kategorizaciji kroz geotehničke istražne radove.

Ovim istraživanjem obuhvaćeni su nasipi na vodotocima 1. reda, ukupne duljine 1.748 km. Stvarna duljina nasipa na vodotocima 1. reda iznosi 2.373 km, no umanjena je za 625 km nasipa na području Gornje i Srednje Save na kojima je provedena preliminarna kategorizacija u sklopu projekata „Analiza postojećih savskih nasipa u svrhu definiranja njihove stabilnosti na području Vodnogospodarskog odjela (VGO) za gornju Savu“ (2014.) te „Sustav zaštite od poplave na rijeci Savi od granice s Republikom Slovenijom do ušća Trnave“ (2017.)

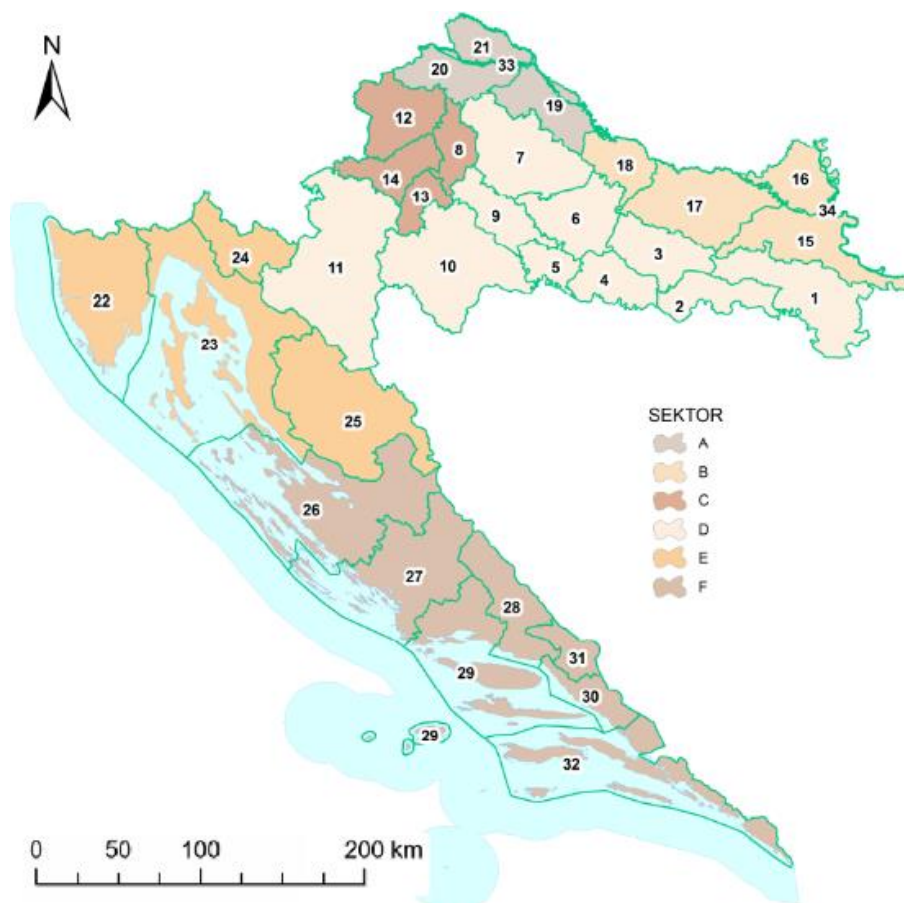
Izvođač svih navedenih radova u ovom dijelu istraživanja je tvrtka *Geokon-Zagreb d.d.* Istraživanje je započelo početkom 2021. godine, s očekivanim završetkom svih radova tokom 2023. godine.

3 Teorijske i zakonske osnove

Na temelju Zakona o vodama RH (NN 66/2019), popis voda I. reda uključuje: međudržavne vode, priobalne vode, druge veće vode i kanale te bujične vode veće snage (Odluka o popisu voda I. reda, NN 79/2010). Sve ostale površinske vode su vode II. reda.

Obrana od poplava provodi se na teritorijalnim jedinicama za obranu od poplava: vodnim područjima, sektorima, branjenim područjima i dionicama. Republika Hrvatska je na taj način podijeljena na 2 vodna područja, 6 sektora i 34 branjena područja (Slika 3.1; približno mjerilo 1:4.000.000). Njihove granice određene su Zakonom o vodama (NN 66/2019). Vodna područja su oko rijeke Dunav i jadransko vodno područje. Podslivovi su teritorijalne jedinice za planiranje na slivu rijeke Dunav, a to su podsliv rijeke Save i podsliv rijeke Drave i Dunava. Branjeno područje ili područje maloga sliva je osnovna teritorijalna jedinica za obavljanje operativnih poslova u upravljanju vodama. Nadalje, sektor čini više susjednih branjenih područja za koje se, zbog povezanosti vodne problematike, osigurava jedinstveno upravljanje vodama, a osobito provedba obrane od poplava (Pravilnik o granicama područja podslivova, malih slivova i sektora, NN 97/2010). Dionice su najniže teritorijalne jedinice unutar branjenih područja, na kojima se kod pojave opasnosti od poplava prate stanja i izravno provodi obrana od poplava na zaštitnim vodnim građevinama (Hrvatske vode, 2018).

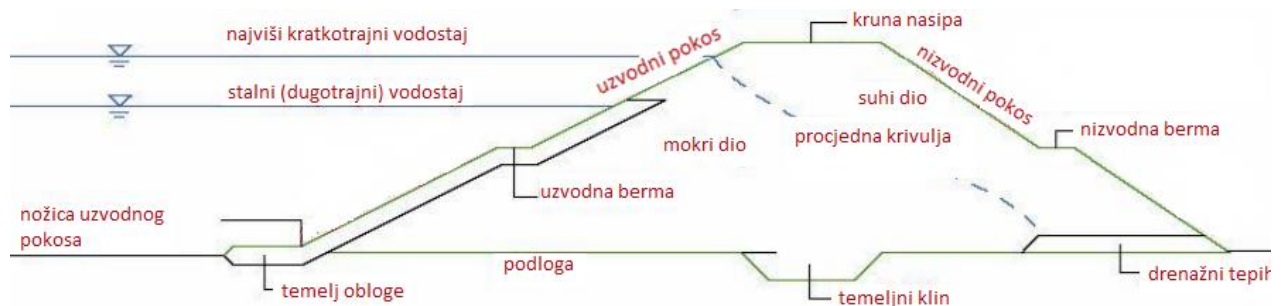
Operativno upravljanje rizicima od poplava i neposredna provedba mjera obrane od poplava utvrđeni su Državnim planom obrane od poplava (NN 84/2010) i Glavnim provedbenim planom obrane od poplava (Hrvatske vode, 2018). Državni plan obrane od poplava sukladno Zakonu o vodama (NN 66/2019) uređuje teritorijalne jedinice, stupnjeve i mjere obrane od poplava (uključivo i preventivne mjere, koje su predmet ovog rada). Glavni provedbeni plan obrane od poplava, koji donose Hrvatske vode, sadrži pregled teritorijalnih jedinica za izravnu provedbu mjera obrane od poplava (dionica) po branjenim područjima sektora i pripadajućih zaštitnih vodnih građevina na kojima se provode mjere obrane od poplava.



- | | |
|--|---|
| <p>1. područje maloga sliva Biđ-Bosut</p> <p>2. područje maloga sliva Brodska Posavina</p> <p>3. područje maloga sliva Orpljava-Londža</p> <p>4. područje maloga sliva Šumetlica-Crnac</p> <p>5. područje maloga sliva Subocka-Strug</p> <p>6. područje maloga sliva Ilova- Pakra</p> <p>7. područje maloga sliva Česma-Glogovnica</p> <p>8. područje maloga sliva Zelina-Lonja i područje općine Rugvica</p> <p>9. područje maloga sliva Lonja-Trebež</p> <p>10. područje maloga sliva Banovina</p> <p>11. područje maloga sliva Kupa</p> <p>12. područje maloga sliva Krapina-Sutla i sjeverni dio područja maloga sliva "Zagrebačko prisavlje", što uključuje: Grad Zaprešić i općine Brdovec, Marija Gorica, Dubravica, Pušća, Luka, Jakovlje i Bistra</p> <p>13. južni dio područja maloga sliva "Zagrebačko prisavlje", što uključuje: Grad Veliku Goricu i općine Orle, Kravarsko i Pokupsko</p> <p>14. središnji dio područja maloga sliva "Zagrebačko prisavlje", što uključuje: gradove Zagreb, Samobor i Svetu Nedelju; te općinu Stupnik</p> <p>15. područje maloga sliva Vuka, osim međudržavnih rijeka Drave i Dunava</p> <p>16. područje maloga sliva Baranja, osim međudržavnih rijeka Drave i Dunava</p> <p>17. područje maloga sliva Karašica-Vučica, osim međudržavne rijeke Drave</p> | <p>18. područje maloga sliva Županijski kanal, osim međudržavne rijeke Drave</p> <p>19. područje maloga sliva Bistra, osim međudržavne rijeke Drave</p> <p>20. područje maloga sliva Plitvica-Bednja, osim međudržavne rijeke Drave</p> <p>21. područje maloga sliva Trnava, osim međudržavnih rijeka Mure i Drave</p> <p>22. područja malih slivova Mirna-Dragonja i Raša-Boljunčica</p> <p>23. područja malih slivova: Kvarnersko primorje i otoci i Podvelebitsko primorje i otoci</p> <p>24. područje maloga sliva Gorski Kotar</p> <p>25. područje maloga sliva Lika</p> <p>26. područje maloga sliva Zrmanja - zadarsko primorje</p> <p>27. područje maloga sliva Krka - šibensko primorje</p> <p>28. područje maloga sliva Cetina</p> <p>29. područje maloga sliva Srednjodalmatinsko primorje i otoci</p> <p>30. područje maloga sliva Matica</p> <p>31. područje maloga sliva Vrljika</p> <p>32. područja malih slivova Neretva - Korčula i Dubrovačko primorje i otoci</p> <p>33. međudržavne rijeke Mura i Drava na područjima malih slivova Plitvica-Bednja, Trnava i Bistra</p> <p>34. međudržavne rijeke Drava i Dunav na područjima malih slivova Baranja, Vuka, Karašica-Vučica i Županijski kanal</p> |
|--|---|

Slika 3.1 Kartografski prikaz i popis branjenih područja za obranu od poplava (Hrvatske vode, 2018)

Obrana od poplava može biti preventivna, redovna i izvanredna. Preventivnu obranu od poplava čine radovi redovnog održavanja voda i zaštitnih vodnih građevina u cilju smanjenja rizika od pojave poplava. Regulacijske i zaštitne vodne građevine obuhvaćaju nasipe, brane s akumulacijama, retencije i druge pripadajuće im građevine. Vodne građevine izgrađene na javnom vodnom dobru pripadnost su javnog vodnog dobra i time u vlasništvu Republike Hrvatske, pa je i njihovo građenje i održavanje u njenom interesu. Javnim vodnim dobrom upravljaju Hrvatske vode, prema Planu upravljanja vodama (Zakon o vodama, NN 66/2019).



Slika 3.2 Dijelovi hidrotehničkog nasipa (prema Ivšić, 2018)

Sprječavanje poplava postiže se odabirom sustava, prostornim rasporedom te oblikovanjem geometrije pojedinih građevina sustava. Tako se grad Zagreb štiti od poplavnih voda rijeke Save sustavom s građevinama odteretnog kanala i hidrotehničkih nasipa uzduž korita.

Hidrotehnički nasip je nasuta geotehnička građevina opterećena jednostrano hidrostatskim tlakom, koja štiti neko poljoprivredno ili urbano područje od poplava. Profil nasipa karakteriziran je širinom i visinom krune i nagibom pokosa, prikazan na Slici 3.2. Širina krune kod glavnih regulacijskih nasipa iznosi 1,5 do 6 m. Nagibi pokosa kreću se u granicama 1:1 do 1:6 (najčešće 1:2), a blaži su s vodne strane. Visina nasipa je funkcija željene sigurnosti obrane od poplave (Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu, 2010). Nasipi su građevine s posebnim naglaskom na javnu sigurnost, pa zadovoljenje odgovarajućih zahtjeva uključuje radove na pripremi podloga za projektiranje, projektiranje, izvedbu i naknadno praćenje stanja građevine. Konstrukcija mora sadržavati sve tehničke elemente zaštite da odoli hidrostatičkom i hidrodinamičkom djelovanju vode, određene propisima za hidrotehničke nasipe (*OTU za radove u vodnom gospodarstvu, 2010*), sukladno europskom propisu *Eurocode 7: Geotehničko projektiranje (EC 7)*, koji je prihvaćen kao hrvatska norma *HRN EN 1997*, uključivo pripadni Nacionalni dodatak. Tlu od kojeg se gradi nasip treba utvrditi fizičko-mehanička svojstva, kako bi se nasip mogao propisno projektirati i izvesti. Stoga je potrebno odrediti čvrstoću na smicanje tla, njegovu stišljivost i vodopropusnost. Popis karakteristika s obzirom na pogodnosti različitih vrsta

tala za navedenu namjenu dana je na Slici 3.3. Sva ova svojstva ovise o zbijenosti tla nakon ugradnje, stoga je istu potrebno propisati, osigurati ispravnom ugradnjom i provjeriti nakon završetka zbijanja (Roje-Bonacci, 2015).

Simbol	Vrsta tla ** erozija kritična *** promjena volumena kritična - neprimjereno	Relativna pogodnost (1 = najbolje, 14 = najlošije)											
		Nasute brane			Kanali		Temelji		Prometnice				
		Homogeni nasip	Jezgra	Potporne zone	Otpornost na eroziju	Zbijena zemljana obloga	Procjeđivanje bitno	Procjeđivanje nije bitno	Nasipi		Površinski sloj		
							Moguće smrzavanje	Nije moguće smrzavanje					
Šljunci	GW	Dobro građirani šljunak, malo sitnih čestica	-	-	1	1	-	-	1	1	1	3	
	GP	Slabo građirani šljunak, malo sitnih čestica	-	-	2	2	-	-	3	3	3	-	
	GM	Prašinasti šljunak	2	4	-	4	4	1	4	4	9	5	
	GC	Zaglinjeni šljunak	1	1	-	3	1	2	6	5	5	1	
Pijesci	SW	Dobro građirani pijesak, malo sitnih čestica	-	-	3	6	-	-	2	2	2	4	
	SP	Slabo građirani pijesak, malo sitnih čestica	-	-	4	7	-	-	5	6	4	-	
	SM	Prašinasti pijesak	4	5	-	8	5**	3	7	6	10	6	
	SC	Zaglinjeni pijesak	3	2	-	5	2	4	8	7	6	2	
Sitnozrna tla	Mršava	ML	Nisko plastične prašine	6	6	-	-	6**	6	9	10	11	-
		CL	Neorganske nisko plastične gline	5	3	-	9	3	5	10	9	7	7
		OL	Organska tla niske plastičnosti	8	8	-	-	7	7	11	11	12	-
	Masna	MH	Visoko plastične prašine	9	9	-	-	-	8	12	12	13	-
		CH	Visoko plastične gline	7	7	-	10	8***	9	13	13	8	-
		OH	Organska tla visoke plastičnosti	10	10	-	-	-	10	14	14	14	-

Slika 3.3 Karta relativne inženjerske uporabivosti pojedinih vrsta tla za nasipanje i zbijanje (NAVFAC, 1982)

Odabir mjerodavnog povratnog razdoblja poplava pri proračunu nasipa vezan je uz način korištenja zemljišta koje se brani, a određuje ih stručna služba Hrvatskih voda. Tako je za zaštitu poljoprivrednog zemljišta uglavnom odabran povratno razdoblje od 25 godina, za zaštitu manjih naselja 100 godina, a za zaštitu gradova i vrijednih područja 1000 godina (Beraković, Kuspilić, & Pršić, 2011).

U daljnjem tekstu će se pod pojmom „nasip“ podrazumijevati hidrotehnički nasip za obranu od poplava.

4 Značajke istraživanog područja

Područje istraživanja ovog rada obuhvaća geografsku regiju panonsku ili nizinsku Hrvatsku, odnosno nizine većih rijeka na kojima se nalaze nasipi. U ovom poglavlju se prikazuju glavne prirodne značajke istraživanog prostora, koje su relevantne za predmetno istraživanje (klimatološke, hidrološke, geomorfološke) kao i geografski smještaj.

4.1 Geografski smještaj

Panonska Hrvatska najveća je od 3 prirodne cjeline Hrvatske, a zauzima njezin sjeverni dio. Sačinjava 55% površine države ili oko 30.000 km², izdužena pravcem Z–I. Glavni grad Hrvatske, Zagreb, smjestio se na zapadnom dijelu regije, a od ostalih važnih središta na njezinom istočnom dijelu nalazi se Osijek. Panonska Hrvatska omeđena je prirodnim granicama, koje velikim dijelom prate one državne granice. Sjevernu granicu čine rijeke Mura i Drava, istočnu Dunav, a južnu Sava. Na zapadu je omeđena rijekom Sutlom i podnožjem Alpa, na jugozapadu rijekom Kupom i Dinaridima (Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021). U upotrebi je i naziv nizinska Hrvatska, a kako sami naziv ukazuje, područje je blagog reljefa, karakterizirano uglavnom aluvijalnim ravninama nadmorske visine do 200 m. Dio je veće europske geografske cjeline, Panonske nizine, koja se pruža do Karpata (Slika 4.3a).

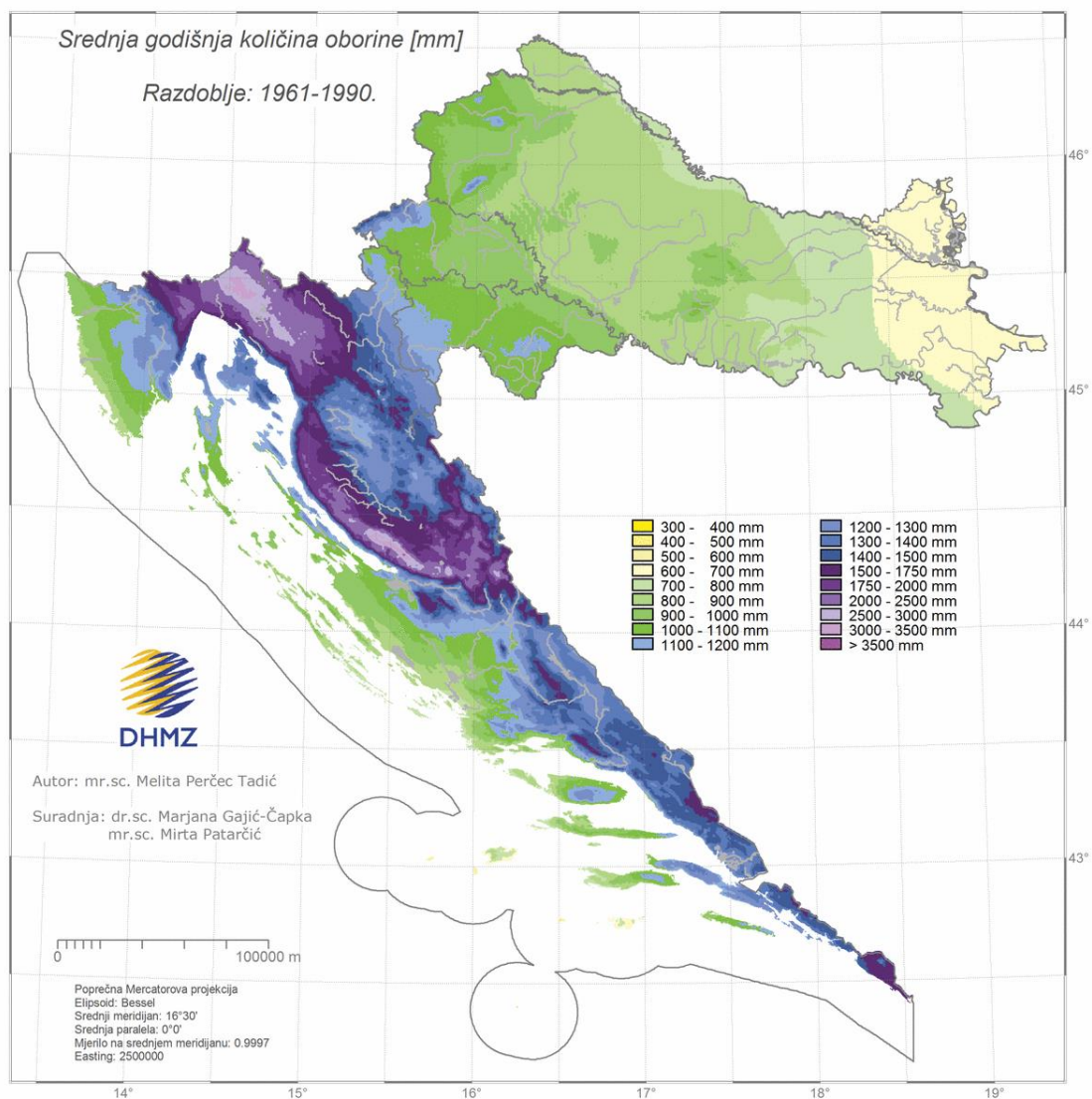
Panonska Hrvatska je važna povijesna i kulturna regija, koja je pod raznim nazivima egzistirala kao kneževina još od početka 8. stoljeća, a kasnije i kao sastavnica raznih kraljevina. Iako se često koristi kao sinonim za kontinentalnu Hrvatsku, panonska Hrvatska ne obuhvaća gorski dio Hrvatske, koji se čija geološka građa se razlikuje geološke građe Panonskog bazena (Hrvatska.eu, 2021).

4.2 Klimatološke značajke

Istraživano područje pripada kontinentalno-panonskom klimatskom području, koje prema Köppenovoj klasifikaciji klime odlikuje umjereno toplu vlažnu klimu s toplim ljetom (*Cfb*). Smješteno je u cirkulacijskom pojasu umjerenih širina, gdje je stanje atmosfere vrlo promjenljivo. Prosječna temperatura najhladnijeg mjeseca (siječanj) je oko 0 °C, dok najtopliji mjesec u godini (srpanj) ima srednju temperaturu od oko 22 °C. Prosječne godišnje temperature rastu idući od zapada prema istoku, a količine padalina se smanjuju. Ta pojava javlja se zbog utjecaja kontinentalnosti.

Detaljnije, uzima se oznaka *Cfwbx*, koja ističe da tijekom godine nema izrazito suhih mjeseci, a mjesec s najmanje oborine je u hladnom dijelu godine, te da se u godišnjem hodu oborine javljaju dva oborinska maksimuma, primarni u svibnju/lipnju, sekundarni u jesen. Prisutan je pravilan raspored padalina tijekom godine, iako je više oborinskih dana u hladnoj polovici godine, a ljetni pljuskovi i dugotrajne jesenske kiše rezultiraju većom količinom padalina u ljetnoj polovici. Snijeg se zadržava na tlu do 40 dana (Zaninović, et al., 2008).

Prema Thornthwaiteovoj klasifikaciji klime, baziranoj na odnosu količine vode potrebne za potencijalnu evapotranspiraciju i oborinske vode, u najvećem dijelu nizinskog kontinentalnog dijela Hrvatske prevladava humidna klima (prosječna godišnja padalina 800 – 1000 mm), a samo u istočnoj Slavoniji subhumidna klima (600 – 800 mm/god; Slika 4.1).



Slika 4.1 Karta srednjih godišnjih količina oborine za razdoblje 1961.-1990. (Zaninović, et al., 2008)

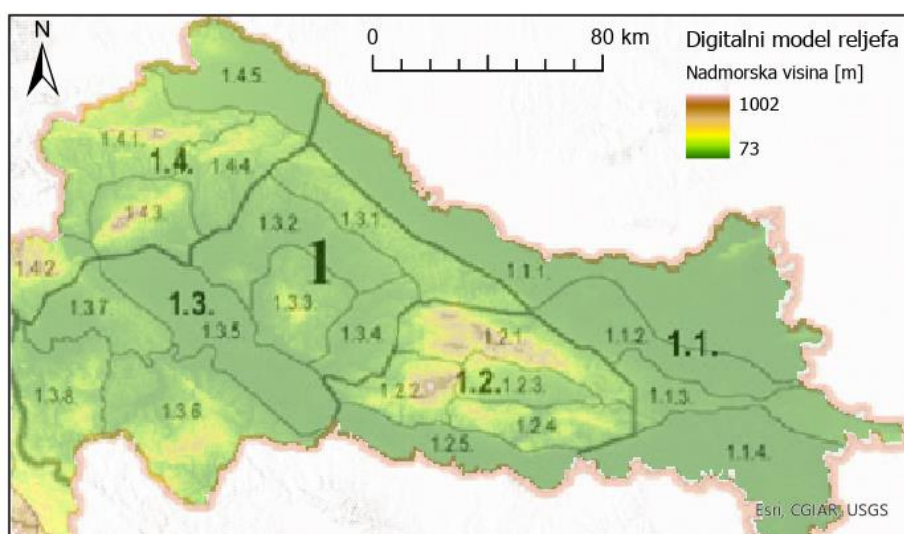
4.3 Hidrološke značajke

Regija obiluje rijekama, uključujući i one s najvećom duljinom državnog toka: Sava (562 km), Drava (505 km), Kupa (296 km) i Dunav (188 km). Sve rijeke su dio Crnomorskog sliva, tj. Dunavskog porječja. Kao rijeke nizinskog toka, meandriraju prostranim ravnicama, periodički plaveći šume i polja. Tečući kroz Hrvatsku, veće rijeke se pune vodom iz brojnih pritoka.

Sava je najdulja i najznačajnija rijeka u Hrvatskoj. Njezin sliv obuhvaća najveći dio istraživanog područja, a značajni dio sliva je i prekogranični (primarno BiH). Prosječan protok na izlasku iz Hrvatske iznosi joj oko 1450 m³/s, a karakterizira je kišni ili pluvijalni riječni režim. Sava ispod Zagreba u prosjeku ima nagib (gradijent) od 0,4 ‰, što rezultira vijugavim tokom kroz široku ravnicu omeđenu močvarama. Desni pritoci na području Hrvatske uključuju Kupu, Unu, Vrbas, Ukrinu i Bosnu, dok lijevi pritoci, manjih gradijenata i vijugaviji, uključuju Sutlu, Krapinu, Lonju, Ilovu, Orljavu i Bosut. Drava, sljedeća po značaju Hrvatska rijeka, jedina je rijeka sa nivalnim (snježnim) režimom u Hrvatskoj, a zaleđena je 15-35 dana godišnje. Prosječan je protok vode na ušću 620 m³/s. Drava je jedna od energetski najiskorištenijih europskih rijeka, a u Hrvatskoj su na njoj sagrađene 3 hidroelektrane, Varaždin, Čakovec i Dubrava. Značajni pritoci su Mura (lijevi), Bednja i Karašica (desni). Kupa je najdulja rijeka s izvorom i ušćem u Hrvatskoj, koja u godišnjem prosjeku rijeci Savi donese 283 m³/s vode. U svom gornjem toku Kupa se probija kroz šumovit kanjon, a kod Ozlja prelazi u ravničarski tok, koji je od interesa za ovaj rad. Glavni pritoci su joj Dobra i Korana (oboje desni). Kupa ukazuje na složenost hidrografske mreže Hrvatske. Izvor joj je na 15-ak km udaljenosti od obale Jadranskog mora, a voda joj teče prema 2000 km udaljenom Crnom moru. Energiju rijeke iskorištava jedna hidroelektrana, MHE Ozalj. Dunav, iako relativno kratkog toka kroz Hrvatsku, obuhvaća slivom cijelo područje istraživanja. Protječe uz istočnu granicu Hrvatske noseći u prosjeku 2600 m³/s vode nakon utjecanja Drave (DHMZ, 2021). Pritoci Dunava na teritoriju Hrvatske su rijeke Drava i Vuka, obje desni pritoci. Prirodna jezera u ovom dijelu Hrvatske nisu zastupljena u značajnoj mjeri, ali zato postoje brojna umjetna (ribnjaci, šljunčare, retencije, akumulacije HE).

4.4 Geomorfološke značajke

Prema Bognaru (2001), područje istraživanja obuhvaća ugrubo cijelu makrogeomorfološku regiju Panonski bazen, označenu brojem 1 na Slici 4.2. Regija je podijeljena na četiri mezogeomorfološke regije, koje odjeljuju brežuljkaste (istočne) od nizinskih (zapadnih) dijelova zemlje, dijeleći time i tokove Save i Drave na gornji i srednji/donji dio. Od najvećeg značaja za ovo istraživanje su subgeomorfološke regije aluvijalnih dolina i nizina većih rijeka: nizina Drave i Dunava (1.1.1.), nizina Bosutske Posavine (1.1.4.), nizina Save (1.2.5.), dolina Save (1.3.5.) i nizina Mure i Drave (1.4.5.).



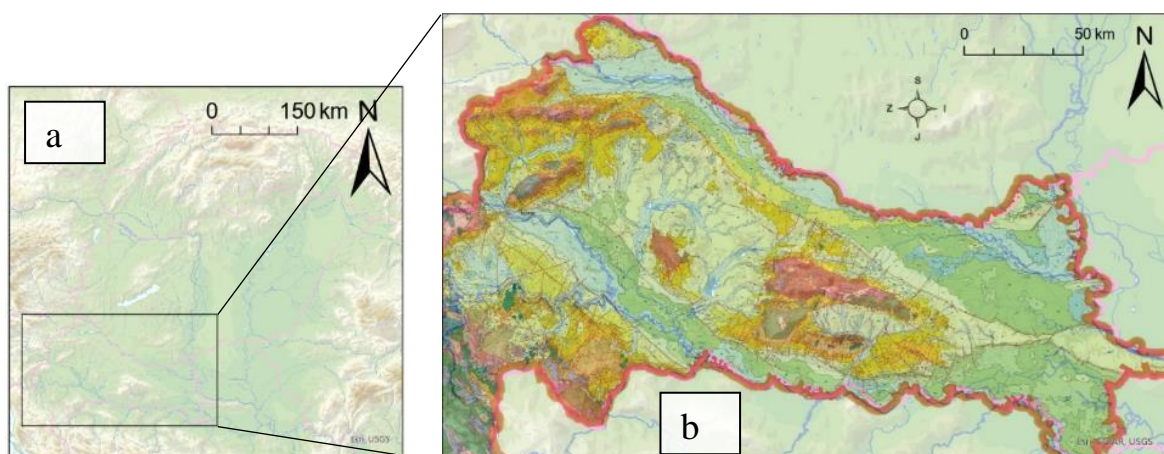
Slika 4.2 Geomorfološka podjela Panonske Hrvatske na podlozi digitalnog modela reljefa; 1 – Panonski bazen, 1.1. – Istočna Hrvatska ravnica s Gornjom Podravinom, 1.2. – Slavonsko gromadno gorje s Požeškom zavalom i nizinom Save, 1.3. – Zavala SZ Hrvatske, 1.4. – Gorsko – zavalsko područje SZ Hrvatske (prema Bognar, 2001; prema www.diva-gis.org, 2022)

Na Slici 4.2 kao podloga je prikazan digitalni model reljefa s prostornom raspodjelom nadmorskih visina na istraživanom području. Područje istraživanja odlikuje blagi reljef, većinom s nadmorskim visinama do 200 m. Najniži dijelovi nalaze se u istočnom dijelu zemlje, gdje se smjenjuju aluvijalne ravnice rijeka Save, Drave i Dunava s lesnim zaravnima Baranje i Srijema, nadmorske visine oko 85 m. Na uzvodnim dijelovima toka kroz Hrvatsku, Sava i Drava nalaze se na nadmorskoj visini od oko 120, odnosno 150 m. Zapadnije se iz nizine izdižu šumovita gorja s visinama nižim od 1000 m (Papuk, Psunj, Požeška gora itd.). Rubni dio Panonske nizine prelazi u brežuljkast peripanonski prostor sa znatnijim udjelom gorja, koja ponegdje premašuju 1000 m (Medvednica, Ivanščica, Žumberačka gora). Prijelaz prema planinskomu području čine pobrđa i zaravni vapnenačke građe u Pokuplju i Kordunu.

Nagib terena kojim teku ove rijeke je vrlo blag, pa one nerijetko tvore zamršenu mrežu meandara, močvara, rukavaca i mrtvaja. Tamo gdje korito nije umjetno usmjereno, to može rezultirati i potrebom za duljim dionicama nasipa za obranu od poplava, koji u naseljenim područjima često moraju pratiti korito rijeke.

4.5 Geološke i hidrogeološke značajke

Većinu Panonskog bazena Hrvatske čine nizinski predjeli, izgrađeni dominantno od klastičnih naslaga kvartarne starosti. Radi takve geološke građe, ovaj prostor ima dobro razvijenu mrežu vodotoka i blaži reljef (Slika 4.3b). S obzirom na veliku površinu branjenih područja u sustavu obrane od poplave, geološke značajke pojedinih područja su vrlo raznolike. Neposredno uz korito nalazimo holocenske aluvijalne naslage, no njihova rasprostranjenost od korita rijeke varira od >10 km (uzvodni dijelovi Save i Drave) do jedva prisutnih (nizvodni dijelovi istih rijeka). Na njih se često nastavlja pleistocenski barski les, koji pokriva velike prostore na istoku zemlje. Uz njega se ponegdje javlja njegov holocenski parnjak. Kopneni les prisutan je u području između Save i Drave, no udaljeniji od njih, u blizini manjih rijeka. Također je izražen u nizvodnom dijelu Dunava, gdje prekriva velike površine neposredno uz rijeku. Većinu toka Drave prate holocenske naslage eolskih pijesaka, širine prostiranja do 10 km. Potpuno izostaju u krajnjem dijelu toka Drave, dok uz Savu ne postoje. Tamo gdje rijeke prolaze uz podnožja brda, djelomično su prisutne deluvijalno-proluvijalne holocenske naslage. U podlozi spomenutih kvartarnih naslaga nalaze se dominantno pontske, slatkovodne klastične naslage Panonskog mora, koje izdanjuju u podnožjima obližnjih brda (Hrvatski geološki institut, 2009).



Slika 4.3 (a) položaj panonske Hrvatske unutar Panonske nizine; (b) geološki prikaz panonske Hrvatske uz detaljniji prikaz pripadajućih rijeka (prema Hrvatski geološki institut, 2009)

Hidrogeološki uvjeti i karakteristike Panonskog bazena Hrvatske primarno su definirani međuzrnskom poroznošću debelih aluvijalnih kvartarnih naslaga Save, Drave, Dunava i njihovih pritoka. Vodonosnici spomenutih glavnih rijeka bogatiji su vodom u njihovom gornjem toku, a nizvodno se smanjuje izdašnost s povećanjem sitnozrnate komponente (Strategija upravljanja vodama, NN 91/2008).

Savske sedimente čine naslage pijeska i šljunka, debljine nerijetko i preko 100 m. Dominantan hidrodinamički faktor je rijeka Sava, s time da dominantno *napaja* sustav. Sustav se s površine puni i infiltracijom oborina. Hidraulička vodljivost smanjuje se s povećanjem dubine i od zapada prema istoku, s vrijednostima 1-3000 m/dan. S obzirom na hidrogeološke značajke razlikuju se samoborsko-zagrebačko područje, sisačko-brodsko područje te istočnoslavonsko područje. Samoborsko-zagrebačko područje karakterizira velika prosječna hidraulička vodljivost koja može iznositi i do 2000 m/dan. U krovini su prisutne slabopropusne glinovito-prahovite naslage male debljine (do 3 m) koje ponegdje izostaju. Korito Save je većim dijelom u neposrednoj hidrauličkoj vezi s podzemnom vodom. Do Podsusedskog praga, kod ušća Krapine, debljina aluvijalnog vodonosnika kreće se oko 10 m, no nizvodno naglo raste i doseže 250 m između Petruševca i Oborova. Pojedini vodonosni slojevi međusobno su odvojeni slabopropusnim glinovito-prahovitim slojevima. Nevezani sedimenti sisačko-brodskog područja sadrže više pjeskovite frakcije, zbog čega hidraulična vodljivost pada. Šljunkovita komponenta je prisutnija u konusima ušća pritoka, gdje vodljivosti dosežu 200 m/dan. Prema sjeveru je vodonosnik slabo razvijen i prosječna vodljivost iznosi do 10 m/dan, kao i kod nanosa lijevih savskih pritoka. Ostatak toka Save, u istočnoslavonskom području, sadrži vodonosne naslage debljine preko 90 m. Krovinu čine slabopropusne glinovito-prahovite naslage, uz rijeku debljine oko 5 m, a prema sjeveru i do 40 m. Prihranjivanje je najvećim dijelom iz Save, a kod visokih vodostaja osjeća se utjecaj rijeke i više od 5 km na sjever (Strategija upravljanja vodama, NN 91/2008). Na cijelom slivu prisutna je tendencija sniženja razina podzemne vode od više metara, zbog sniženja vodostaja Save unatrag zadnjih 30-ak godina, uzrokovanog suficitom nanosa rijeke zbog izgradnje hidroelektrana u Sloveniji (Eletkroprojekt d.d., 2013).

Dolinski dio sliva Drave obuhvaća ravničarski dio Međimurja, Podravinu, plato istočne Slavonije i Srijema te Baranju (Parlov, 2018). Uzvodno od ušća Mure smjestio se Varaždinski vodonosnik, građen od pretežito šljunkovitih aluvijalnih kvartarnih naslaga, debljine 5 – 150 m. Glavni izvor prihranjivanja vodonosnika su akumulacije na rijeci, a uz Dravu, u hidrauličkoj je vezi i s Murom. Prosječne vrijednosti hidrauličke vodljivosti iznose

100 – 250 m/dan. Tanka i relativno propusna krovina čini vodonosnik ugroženim površinskim zagađivalima (poljoprivreda, farme). Nizvodno, prema Slatini, debljine šljunkovitih vodonosnih naslaga dosežu i 300 m, pa ovaj vodonosnik pripada strateškim državnim zalihama drugog tipa. Prihranjivanje se vrši primarno infiltracijom oborina, a djelomično i procjeđivanjem iz korita. Tipične hidraulične vodljivosti iznose 50-100 m/dan. Debljina sitnozrnate krovine se povećava prema istoku, da bi u blizini Dunava dosegla debljinu i do 50 m. U hidrogeološkom smislu neposredni sliv Dunava nemoguće je odvojiti od sliva Drave, jer čine jednu cjelinu. U tom predjelu prevladavaju pjeskovite naslage odvojene tankim sitnozrnatim proslojcima. Ukupna debljina kompleksa iznosi do 200 m južno od Drave, a na području Baranje oko 50 m. Prihranjuje se velikim dijelom direktnim procjeđivanjem iz površinskih tokova. Prosječna vodljivost iznosi 10-20 m/dan. Specifični hidrogeološki uvjeti prisutni su na platou istočne Slavonije i Srijema, gdje se ispod debelih slabopropusnih naslaga prapora nalaze propusni slojevi u kojima je voda pod arteškim i subarteškim tlakom (Strategija upravljanja vodama, NN 91/2008).

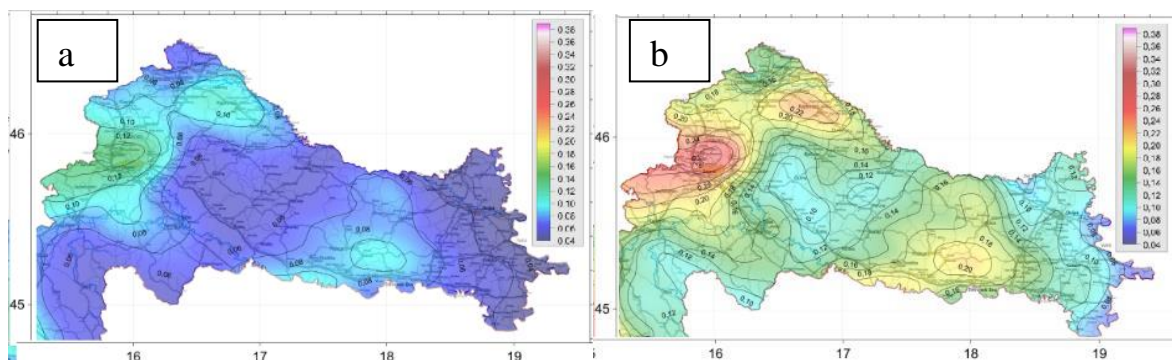
Iako nisu područja od interesa u ovom radu, brežuljkasta i brdovita područja panonske Hrvatske su ipak neizostavni dio hidrogeološke cjeline ove regije zbog velike zastupljenosti nasipa. Građena su dominantno od slabo propusnih i nepropusnih stijena, što uz morfološke karakteristike terena ima za posljedicu izraženije površinsko otjecanje i slabu infiltraciju oborinskih voda. Zalihe podzemnih voda su ograničene. Isto tako, prisutni su i karbonatni vodonosnici pukotinske poroznosti, koji zauzimaju relativno male površine i izgrađuju dijelove gorskih predjela Panonskog bazena.

Različita slojevitost i fizičko-mehaničke značajke nasipa i temeljnog tla u interakciji s vodostajima, koji variraju od ekstremno velikih voda do naglog sniženja vodostaja nakon prolaska vodnog vala, rezultiraju situacijama u kojima dolazi do ugroze mehaničke i/ili hidrauličke stabilnosti nasipa.

4.6 Aktivni geomorfološki i geodinamički procesi i pojave

Na istraživanom području prisutno je više aktivnih geomorfoloških i geodinamičkih pojave, nastalih kao rezultat iste vrste procesa, od kojih većina može ugroziti stabilnost i integritet nasipa. Pojava koja je prisutna konstantno, u manjoj ili većoj mjeri, jest erozija. Erozija korita i naknadna akumulacija materijala dovodi do formiranja meandara i pomicanja korita rijeke. Isto tako, porastom razine vode, može doći i do progresivne erozije samog nasipa, tj. njegove nožice. S druge strane, veoma rijetku, ali iznimno razornu pojavu predstavlja potres.

Jača seizmička aktivnost može dovesti do sloma nasipa u obliku pukotina ili čak relativne promjene visine cijele dionice nasipa, potpuno narušavajući stabilnost nasipa. Na Slici 5.1 prikazane su karte potresnih područja istraživanog područja, približnog mjerila 1:5.000.000 (Herak, et al., 2011). Karte prikazuju vrijednosti horizontalnih vršnih ubrzanja tla tipa A koja se u prosjeku premašuju tijekom povratnog razdoblja od 95 i 475 godina. Vrijednosti su izražene u jedinicama gravitacijskog ubrzanja, g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Povratna razdoblja su dobar pokazatelj za procjenu ukupnog broja potresa koji se mogu očekivati tijekom nekog duljeg razdoblja (Herak, et al., 2011). Vršna ubrzanja za povratno razdoblje 95 godina iznose dosežu najviše vrijednosti od 0,12 g u području gornjeg toka rijeke Save, s umjereno povišenim vrijednostima u srednjem toku Save kod Gradiške i gornjem toku Drave kod Koprivnice, s iznosima 0,08 - 0,10 g. Većina područja, pogotovo krajnji istok zemlje, karakteriziraju slabija ubrzanja, 0,06 g i manja (Slika 4.4a). Kod povratnog razdoblja od 475 godina, relativni odnosi su isti, s time da maksimalne vrijednosti dosežu vrijednosti 0,26 g, umjerene 0,20 g, a one manje, prevladavajuće, 0,08 - 0,16 g (Slika 4.4b).



Slika 4.4 Karta potresnih područja RH, poredbenih vršnih ubrzanja temeljnog tla tipa A s vjerojatnosti premašaja 10% u: (a) 10 godina za poredbeno povratno razdoblje 95 godina; (b) 50 godina za poredbeno povratno razdoblje 475 godina (prema Herak et al., 2011)

Pojava koja je vrlo raširena kao indikator nestabilnosti nasipa jest klizište. Ona mogu nastati kao posljedica potresa ili, češće, fluvijalnom erozijom određenog dijela nasipa. Nakon razornog potresa 2021. godine na Banovini, na ovom području registrirane su brojne pojave likvefakcije sa specifičnim tipom klizišta, tzv. bočnim razmicanjem (Arbanas, et al., 2022). Nadalje, ukoliko je u podlozi nasipa prisutan les, što nije rijetkost u istočnim dijelovima zemlje, može doći do kolapsa, tipičnog za ovu vrstu tla. Suprotno tome, ako su nasip ili njegova podloga građeni od određenih vrsta gline tipičnih za aluvijalne nanose, može doći do procesa bujanja gline, što opet narušava stabilnost nasipa.

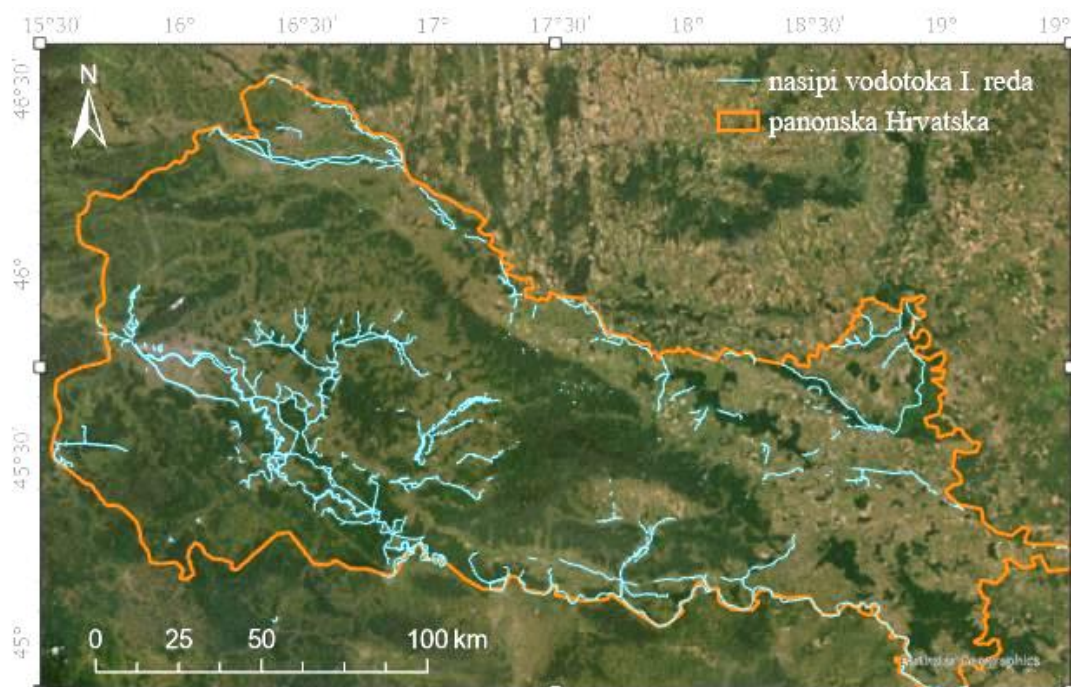
Načini na koje navedeni procesi ugrožavaju stabilnost nasipa detaljno su objašnjeni u poglavlju 5.2 *Metode istraživanja – terensko rekognosciranje*.

5 Metode istraživanja

5.1 Prikupljanje i sistematizacija postojećih podataka

U sklopu preliminarnog istraživanja, prije terenskog istraživanja, prikupljeni su i sistematizirani postojeći podaci o materijalu koji izgrađuje nasipe na vodotocima I. reda. Korištena je dokumentacija iz prethodnih istraživanja tvrtke *Geokon-Zagreb d.d.* te djelomično iz arhive *Hrvatskih voda*. Takvi podaci mogu značajno umanjiti vremenske i financijske izdatke u daljnjem istraživanju, osobito ako su na nekom intervalu nasipa potrebna detaljna istraživanja, a podaci o njemu već postoje. Isti podaci korisni su za bolju pripremu detaljnih istraživanja.

Spomenuti podaci o nasipima prikupljeni su iz istraživačkih bušotina, tj. inženjerskogeološkom determinacijom jezgara bušotina. Od interesa su bile one bušotine s podacima o materijalu samog nasipa i njegove podloge, kao i materijalu inundacije i zaobalja. Lokacije novijih bušotina bile su dostupne u GIS-u, ali bez podataka o provedenim determinacijama materijala jezgre bušotina i geomehaničkim ispitivanjima. No, i same lokacije pokazale su se korisnima, pošto su omogućile jasno odvajanje bušotina od interesa od ostalih na temelju udaljenosti od nasipa. Koordinate bušotina starijih od 2004. godine nisu bile digitalizirane, pa su se najprije trebale ispisati u bazu podataka, koja je zatim unesena u GIS. Da bi podaci o materijalu oko nasipa bili reprezentativni, tj. relevantni za stanje nasipa, uzet je obuhvat od 100 m od nasipa. Prostorni razmještaj samih nasipa dobiven je u digitalnom obliku od strane *Hrvatskih voda* (Slika 5.1; približno mjerilo 1:1.900.000). Nakon što su izdvojene tražene bušotine iz elaborata, prikupljeni su podaci o pripadajućim jezgrama, dugim u prosjeku 10-ak metara. Za svako branjeno područje izrađena je tablica podataka o odgovarajućim bušotinama, specifično litološkim i geomehaničkim svojstvima.



Slika 5.1 Regulacijske i zaštitne vodne građevine istraživane u projektu

5.2 Terensko rekognosciranje

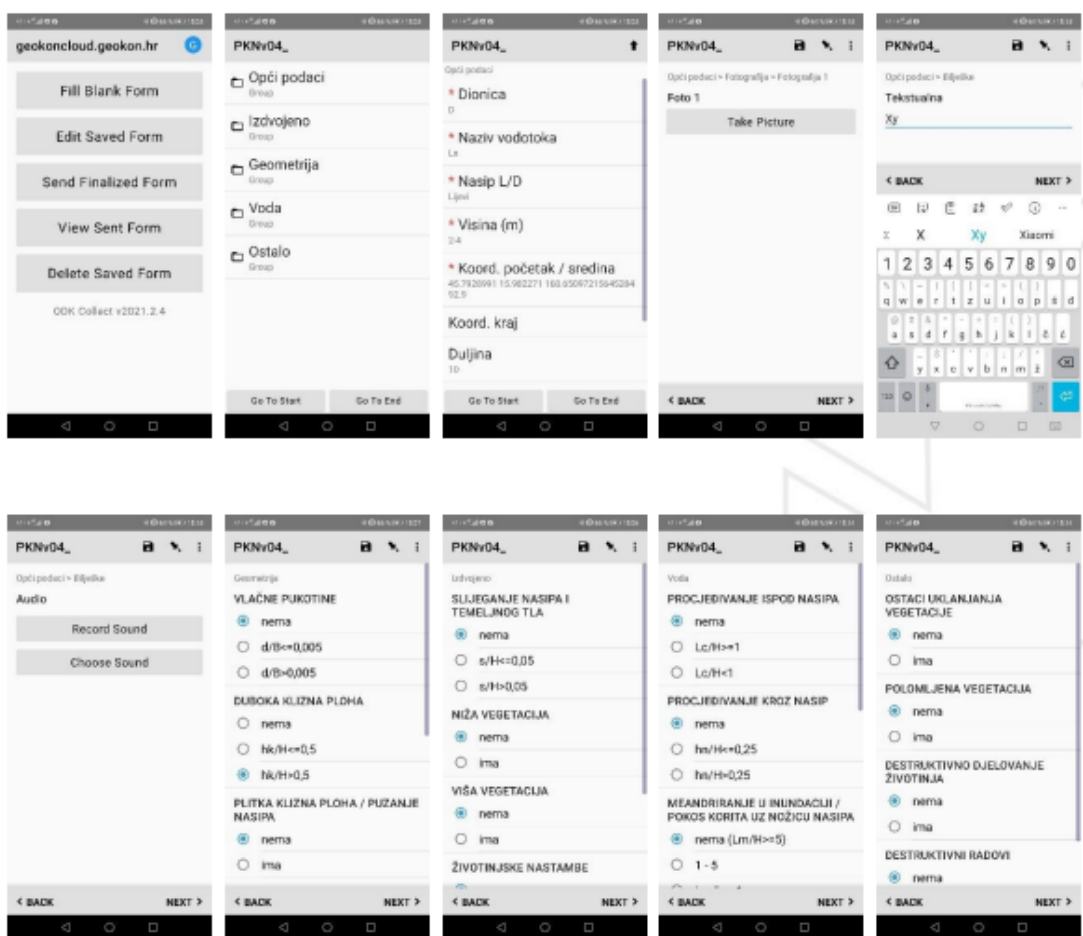
Vizualnim pregledom (rekognosciranjem) obuhvaćeno je 1.460 km nasipa. Rekognosciranje su kontinuirano provodila dva do tri stručna tima od kojih se svaki sastojao od inženjera geologije i geotehnike iz tvrtke *Geokon-Zagreb d.d.* te predstavnika Hrvatskih voda (vodočuvari zaduženi za predmetno područje). Jedan tim je dnevno pregledao u prosjeku 10 km nasipa. Kako bi se nasip sagledao iz različitih perspektiva te kako bi se uočili svi mogući hazardi i indikatori, redovno su se članovi tima kretali po različitim dijelovima nasipa (kruna, inundacija, zaobalje). Informacije o hazardima koji trenutno nisu vidljivi (npr. procjeđivanje, preljevi), dobivene su od vodočuvara ili lokalnog stanovništva. Tijekom trajanja pregleda vladali su različiti vremenski uvjeti i različite visine vodostaja rijeke Save. Nasipi su bili pokošeni.

Svi uočeni hazardi i indikatori evidentirani su prema propisanim kriterijima preliminarne kategorizacije nasipa (Tablica 5.1-3), kako u mobilnoj aplikaciji „ODK Collect“ (Slika 5.2), tako i u fizičkom terenskom dnevniku. Obrazac za terensko prikupljanje podataka prikazan je u Prilogu 1, a omogućio je izravan unos u GIS bazu podataka preko aplikacije. Georeferenciranje hazarda izvršeno je ručnim GPS-om točnosti ± 5 m (E, N / HTRS96/TM), uz fotodokumentiranje svake pojave.

Korištena metodologija i kriteriji preliminarnе kategorizacije nasipa razvijeni su u sklopu projekta *Analize stabilnosti postojećih savskih nasipa u svrhu definiranja njihove sigurnosti na području VGO-a za Gornju Savu* (Geokon-Zagreb d.d., 2014), uz modifikacije implementirane u *Izradi studijske dokumentacije za pripremu projekta unapređenja sustava zaštite od poplave na rijeci Savi od granice s Republikom Slovenijom do ušća Trnave* (Geokon-Zagreb d.d., 2017).

Nasip se ocjenjuje i promatra kroz dvije grupe kriterija. Prva grupa vezana je za fizičko-mehaničku otpornost i stabilnost, podijeljena je na dvije skupine. Skupina I objedinjuje hazarde koji se očituju promjenom geometrije nasipa (pukotine, slijeganje, klizanje), prikazane u Tablici 5.1. Skupina II prikazuje hazarde kod kojih je dominantno vidljiv utjecaj vode (meandriranje, prelijevanje, procjeđivanje i sl. (Tablica 5.2).

Posebna skupina kriterija vezana je za održavanje nasipa, a uključuje hazarde skupine III, utjecaj ekosustava / utjecaj čovjeka (Tablica 5.3).



Slika 5.2 Dio sučelja ODK mobilne aplikacije za evidenciju podataka

Tablica 5.1 Kriteriji preliminarne kategorizacije nasipa; I. skupina – Geometrija (pukotine / slijeganje / klizanje)

SKUPINA HAZARDA	SKICA HAZARDA	VRSTA HAZARDA	INDIKATOR	BODOVNA VRIJEDNOST
PROMJENA GEOMETRIJE NASIPA (I)		1 Slijeganje nasipa i temeljnog tla	nema	100
			$s/H \leq 0,05$	70
			$s/H > 0,05$	50
		2 Vlačne pukotine	nema	100
			$d/B \leq 0,005$	70
			$d/B > 0,005$	40
		3 Duboka klizna ploha	nema	100
			$h_k/H \leq 0,5$	40
			$h_k/H > 0,5$	20

Tablica 5.2 Kriteriji preliminarne kategorizacije nasipa; II. skupina – Utjecaj vode (meandriranje / prelijevanje / procjeđivanje)

UTJECAJ VODE (II)		4 Meandriranje u inundaciji (pokos korita uz nožicu nasipa)	nema ($L_m/H \geq 5$)	100
			$1 < L_m/H < 5$	80
			$L_m/h \leq 1$	50
		5 Procjeđivanje ispod nasipa	nema	100
			$L_c/H \geq 1$	70
			$L_c/H < 1$	40
		6 Procjeđivanje kroz nasip	nema	100
			$h_n/H \leq 0,25$	70
			$h_n/H > 0,25$	30
		7 Prelijevanje preko krune nasipa	nema	100
ima			20	
	8 Proboj nasipa	nema	100	
		privremena sanacija	30	
		ima	10	
	9 Meandriranje u zaobilju (pokos korita uz nožicu nasipa)	nema ($L_m/H \geq 5$)	100	
		$1 < L_m/H < 5$	80	
		$L_m/h \leq 1$	50	
	10 Površinska zamočvarenja	nema	100	
		ima	80	

Tablica 5.3 Kriteriji preliminarnе kategorizacije nasipa; III. skupina – Utjecaj ekosustava / utjecaj čovjeka

SKUPINA HAZARDA	SKICA HAZARDA	VRSTA HAZARDA	INDIKATOR	BODOVNA VRIJEDNOST
UTJECAJ EKOSUSTAVA (III)		11 Plitka klizna ploha / puzanje	nema	100
			ima	70
		12 Pukotine uslijed sezonskih promjena	nema	100
			$A_s/A \leq 0,1$	90
			$A_s/A > 0,1$	70
		13 površinska erozija	nema	100
			$A_e/A \leq 0,1$	90
			$A_e/A > 0,1$	70
		14 Niža vegetacija	nema	100
			ima	90
		15 Viša vegetacija	nema	100
			ima	70
	16 Ostaci uklanjanja vegetacije	nema	100	
		ima	70	
	17 Polomljena vegetacija	nema	100	
		ima	70	
	18 Životinjske nastambe	nema	100	
		ima	80	
	19 Destruktivno djelovanje životinja	nema	100	
		ima	70	
	20 Erozijska - destruktivno djelovanje vozila	nema	100	
		ima	70	
	21 Destruktivni radovi	nema	100	
		$V_r/V_n \leq 0,1$	70	
		$V_r/V_n > 0,1$	10	

Legenda:

H - visina nasipa

s - visina slijeganja krune nasipa

d - širina vlačne pukotine

h_k - visinska razlika od čela do nožice nasipa

L_m - udaljenost ruba meandriranog korita od nožice nasipa

L_t - udaljenost ruba područja procjeđivanja od nožice nasipa

A - površina nasipa u zahvaćenoj širini

A_s - površina nasipa zahvaćena sezonskim pukotinama

A_e - površina nasipa zahvaćena erozijom

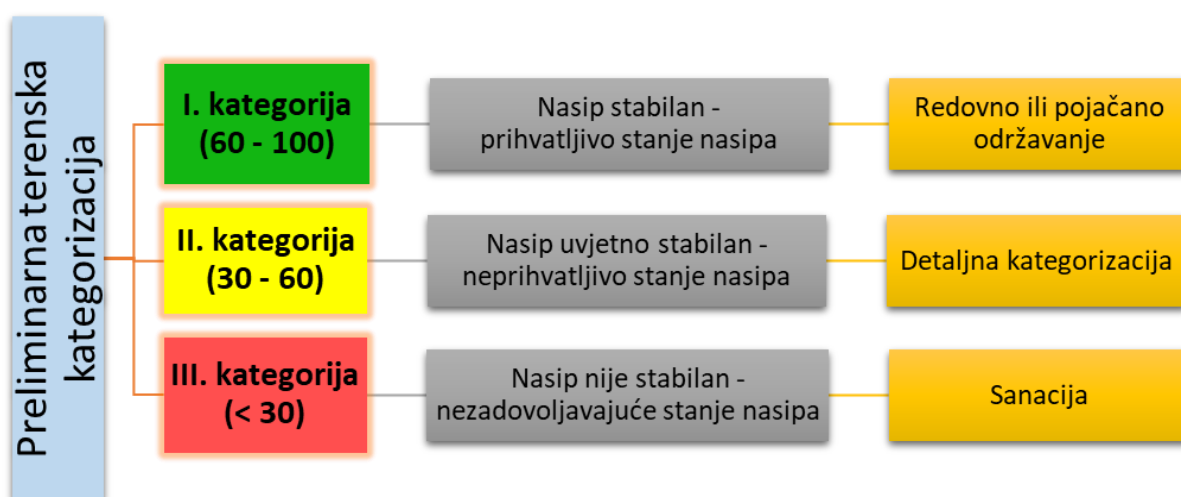
V_r - volumen nasipa nakon destruktivnog djelovanja (na devastiranoj duljini nasipa)

V_n - volumen nasipa

U skupinama (I – III) promatraju se pojedine vrste hazarda (od 1 do 21) koji su iskazani indikatorima s jasno definiranim vrijednostima (parametrima) koje se promatraju na terenu. Kako bi se isključila subjektivnost promatrača, svakom indikatoru pridružena je egzaktna vrijednost boda (0 - 100), ovisno o značaju hazarda na stabilnost nasipa. Ukoliko je na promatranoj poddionici zabilježeno više indikatora po pojedinom hazardu (npr. manje i veće slijeganje tla) usvaja se indikator s najnižom vrijednošću (veće slijeganje). Konačna vrijednost boda za određivanje kategorije nasipa dobiva se na temelju najniže ostvarene vrijednosti boda iz svih skupina odnosno hazarda za promatranu poddionicu. Duljina poddionice, tj. korak pregledavanja je 500 m.

5.3 Kategorizacija nasipa po stanju

Ovisno o ostvarenoj vrijednosti boda, prema priloženim podjelama, poddionica nasipa svrstava se u određenu kategoriju (I, II ili III). Za svaku kategoriju nasipa dana je ocjena stanja nasipa i akcije koje je potrebno poduzeti (Slika 5.3).



Slika 5.3 Kategorije stanja nasipa i preporučene akcije

Nasip se smatra stabilnim, a njegovo stanje prihvatljivim ukoliko ima ocjenu 60 – 100. Bodovi 90 – 100 predstavljaju izvrstan nasip bez vidljivih defekata, dok niže ocjene (60 – 90 bodova) označavaju nasip na kojem su prisutni manji defekti ili oštećenja, koji ne utječu značajno na stabilnost nasipa. Na takvom nasipu provodi se redovno održavanje od strane vodočuvara ili eventualno manje sanacijske mjere u sklopu redovnog održavanja (npr. uklanjanje smeća, nanosa). Takve dionice označavaju se zelenom bojom. Nasip je uvjetno stabilan, a neprihvatljivog stanja kad ima ocjenu 30 – 60 bodova. Kod takvog nasipa neki njegovi dijelovi podložni su nepovoljnim procesima, a uočeni su umjereni do ozbiljni nedostaci u obliku defekata koji utječu na stabilnost, ovisno o specifičnoj ocjeni. U ovom

slučaju potrebno je ukloniti uzroke nestabilnosti. Evidentirani defekti moraju biti istraženi, tj. provode se detaljni istražni radovi i analize nasipa, koji potvrđuju neophodnost sanacije. Ove dionice nasipa označavaju se žutom bojom. Nestabilni nasipi, oni nezadovoljavajućeg stanja, imaju najgoru ocjenu, < 30 bodova. Kod takvog nasipa zabilježeni nedostaci ozbiljno će utjecati na stabilnost nasipa za vrijeme sljedeće visoke vode ili nasip više nema funkciju. Sanacija je obavezna, a prethode joj dodatni istražni radovi i projektno-ekonomske analize nasipa (Prilog 2).

5.4 Analiza podataka u GIS-u

Kroz cijelo istraživanje, a osobito u fazama rekognosciranja i kategorizacije, GIS baza podataka i prostorne analize u GIS-u poslužile su kao ključne za vizualizaciju i planiranje daljnjih faza istraživanja. GIS programi u kojima je rađeno su QGIS (v3.20) i ArcGIS Pro (v2.8). U daljnjem tekstu neće se navoditi GIS programi za pojedine vrste analiza, već samo da se radi o analizi podataka u GIS-u.

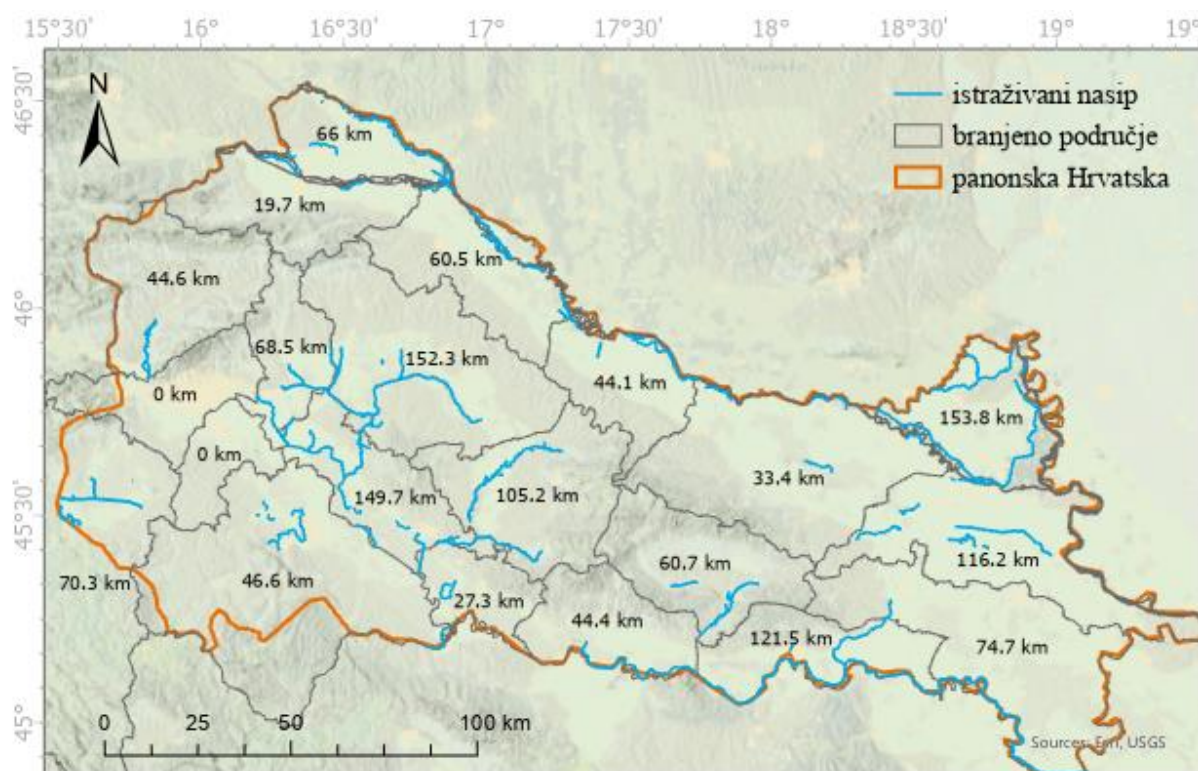
U preliminarnoj fazi su uz pomoć obuhvata definiranog u GIS-u i na temelju prostorne analize određene relevantne postojeće bušotine. Budući da im je u toj fazi pridružen sastav jezgre iz postojeće dokumentacije, moguće je napraviti intuitivne vizualne prikaze na temelju materijala jezgre bušotine (tj. nasipa ili okolice).

U fazi rekognosciranja, velika količina podataka o svakom pojedinom oštećenju omogućava provedbu analize i prikaz gustoće pojedinog oštećenja (ili grupe oštećenja) na npr. sektoru ili branjenom području (po km nasipa). U tu svrhu korištene su GIS analize kao što su *Spatial join*, *Relate* i druge. Konačno, u fazi kategorizacije, osim jednostavnog prikaza karte s dionicama nasipa označenima pripadajućom bojom, napravljena je analiza koncentracije nestabilnih i uvjetno stabilnih nasipa po branjenom području.

6 Rezultati istraživanja

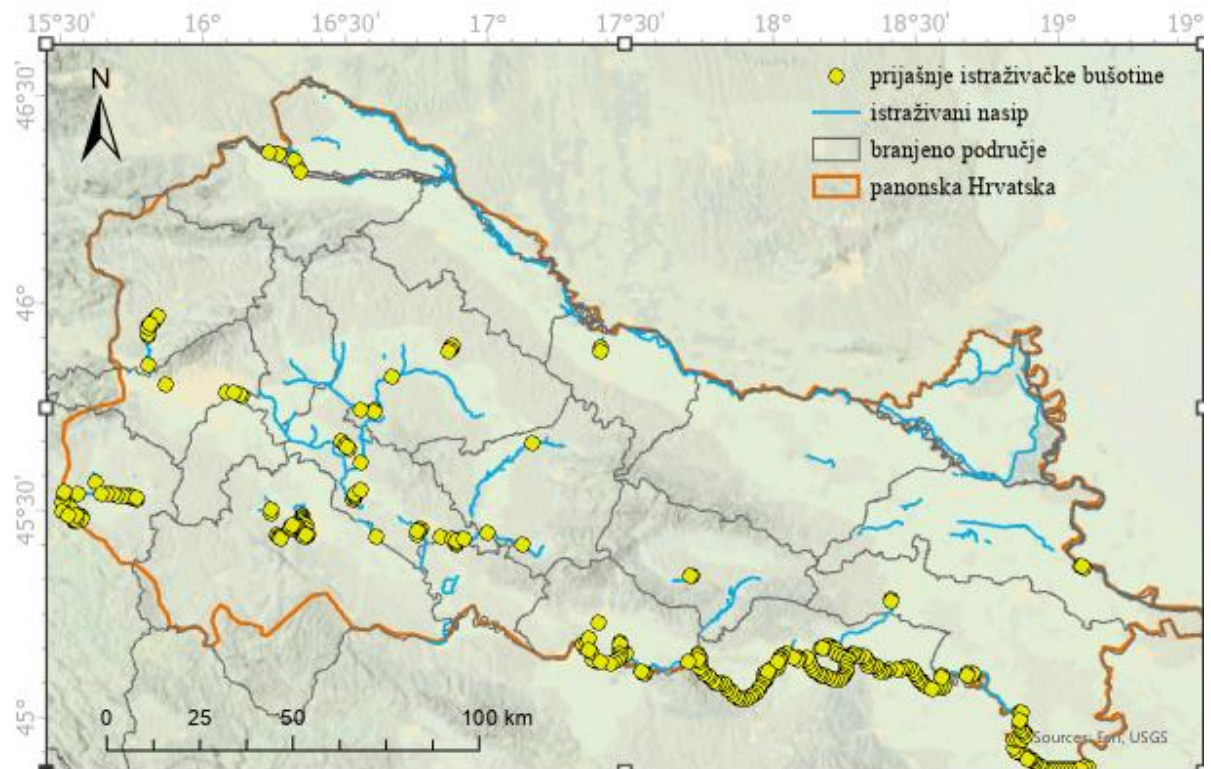
6.1 Preliminarna kabinetska istraživanja

Preliminarna istraživanja trajala su od svibnja do srpnja 2021. godine, a uključivala su prikupljanje i sistematizaciju postojećih podataka: područja VGO-a, branjenih područja, nasipa na vodotocima I. reda, tematskih karata (TK, OGK, IG, HG, Potres) te postojećih bušotina. Kao osnovna podloga za sve daljnje faze istraživanja, bilo je nužno izraditi kartu nasipa koji će biti obuhvaćeni istraživanjem. Sloj karte dobiven u digitalnom obliku od *Hrvatskih voda* obuhvaćao je sve nasipe I. reda u Hrvatskoj, stoga je trebalo izostaviti sve nasipe koji su već istraženi u sklopu prethodnih projekata, kao i ograničiti kartu na istraživano područje. Rezultat je karta na Slici 6.1, uz pripadne informacije o duljini i identifikacijske oznake pojedinih dionica nasipa (Slika 6.2) sadržane u atributnoj tablici GIS sloja. Na karti su prikazane i duljine nasipa unutar pojedinog branjenog područja (ukupno 1.460 km). Ova i sve sljedeće karte ovog područja prikazane su u približnom mjerilu 1:1.900.000.



Slika 6.1 Karta istraživanih nasipa vodotoka I. reda panonske Hrvatske, s duljinama nasipa po branjenom području

Kako bi se sakupili postojeći relevantni podaci o materijalu nasipa i njihove neposredne blizine, pregledani su elaborati o detaljnim istraživanjima provedenim na istraživanom području. Kao što je spomenuto, samo dio elaborata, tj. istraživačkih bušotina bio je pozicioniran na karti u GIS-u, a za dio je to tek trebalo napraviti. Bušotine od značaja za istraživanje izdvojene su prostornom analizom u GIS-u na temelju zadanog obuhvata u (koristeći 100 m), a rezultat su lokacije 653 bušotine prikazane na Slici 6.3.



Slika 6.2 Karta lokacija relevantnih postojećih istražnih bušotina

Osim samih lokacija, svi podaci o bušotinama, tj. pripadajućim analiziranim jezgrama, sistematizirani su u formi Excel tablica (Tablica 6.1) koje su potom povezane s lokacijama kao atributne tablice GIS-u. Podaci uključuju informacije o vrsti nabušenog tla po intervalima dubine, dubini i oznaci bušotine, točnoj horizontalnoj i vertikalnoj lokaciji, lokaciji u odnosu na nasip, pripadnoj dionici nasipa i vodotoka i elaboratu.

Dionica obrane broj	VODOTOK Obala Naziv dionice Stacionaža Dužina Ukupna dužina	OBJEKTI NA KOJIMA SE PROVODE MJERE OBRANE OD POPLAVA Nasipi, Naziv nasipa, Naziv dionice, Stacionaža po vodotoku, Stacionaža po nasipu, Ukupna dužina nasipa	Dužina nasipa (km)
SEKTOR D		SREDNJA I DONJA SAVA	1466
BP1 MALI SLIV BIĐ-BOSUT			74
D.1. 1.	rijeka Sava, I.o.; granica - cestovni most Gunja-Brčko; rkm 212+080 - 230+700 (18,620 km)	Lijevi savski nasip Biđ -bosutskog polja; rkm 212+080 - 230+700 km 0+000 - 17+030 (17,030 km)	17,03
D.1. .2	rijeka Sava, I.o.; cestovni most Gunja-Brčko -rampa Marići; rkm 230+700 -247+700 (17 km)	Lijevi savski nasip Biđ -bosutskog polja; rkm 230+700 - 247+700 km 17+030 - 29+365 (12,335 km)	12,335
D.1. 3.	rijeka Sava, I.o.; Rampa Marići- cestovni most Županja-Orašje; rkm 247+700 -265+650 (17,950 km)	Lijevi savski nasip Biđ -bosutskog polja; rkm 247+700 - 265+650 km 29+365 - 44+790 (15,425 km)	15,425
D.1. 4.	rijeka Sava, I.o.; cestovni most Županja-Orašje - Štitar; rkm 265+650 -288+100 (22,450 km)	Lijevi savski nasip Biđ -bosutskog polja; rkm 265+650 - 288+100 km 44+790 - 56+700 (11,910 km)	11,91
D.1. 5.	rijeka Sava, I.o.; Štitar - Babina Greda; rkm 288+100 -305+600 (17,500 km)	Lijevi savski nasip Biđ -bosutskog polja; rkm 288+100 - 305+600 km 56+700 - 67+720 (11,020 km)	11,02
D.1. 13.	Zapadni lateralni kanal Biđ polja, I.o.; presjecište s Breznicom do presjecišta s Kaznicom kkm 24+250 - 30+975 (6,725 km)	Lijevi nasip ZLK BP od presjecišta s Breznicom do presjecišta s Kaznicom; kkm 24+250 - 30+975 km 23+050 - 29+750 (6,700 km)	6,7
BP2 MALI SLIV BRODSKA POSAVINA			171
D.2. 1.	rijeka Sava, I.o.; Babina Greda - Novi Grad; rkm 305+600 -330+000 (24,400 km)	Lijevi savski nasip Biđ -bosutskog polja; rkm 305+600 - 330+000 km 67+720 - 86+620 (18,900 km)	19,9
D.2. 2.	rijeka Sava, I.o.; Novi Grad - Ušće ZLK Biđ polja; rkm 330+000 -345+200 (15,200 km)	Lijevi savski nasip Biđ -bosutskog polja; rkm 330+000 - 345+200 km 86+620 - 103+350 (16,730 km)	16,73
D.2. 3.	rijeka Sava, I.o.; Ušće ZLK Biđ polja -ušće Glogove (Ruščica); rkm 345+200 -369+000 (23,800 km)	Lijevi savski nasip od spoja s nasipom ZLK Biđ polja do Ruščice; rkm 345+200 - 369+000 km 5+220 - 23+000 (17,780 km)	17,78
D.2. 4.	rijeka Sava, I.o.; ušće Glogove (Ruščica) - silos; rkm 369+000 -370+680 (1,680 km)	Savska visoka obala; rkm 369+000 - 370+680 km 23+000 - 24+410 (1,410 km)	1,41
D.2. 5.	rijeka Sava, I.o.; silos - ušće Istočnog lateralnog kanala Jelas polja; rkm 370+680 -371+450 (0,770 km)	Lijevi savski nasip od visoke obale do spoja s lijevim nasipom Istočnog lateralnog kanala; rkm 370+680 - 371+450 km 24+580 - 25+390 (0,810 km)	0,81
D.2. 6.	rijeka Sava, I.o.; Ušće Istočnog lateralnog kanala Jelas polja - C.S. Migalovci; rkm 371+450 -386+000 (14,550 km)	Lijevi savski nasip Jelas polja od spoja s nasipom ILK JP do CS Migalovci; rkm 371+450 - 386+000 km 1+580 - 14+180 (12,600 km)	12,6
D.2. 7.	rijeka Sava, I.o.; C.S. Migalovci - rampa Dubočac; rkm 386+000 - 396+760 (10,760 km)	Lijevi savski nasip Jelas polja od C.S. Migalovci do rampe Dubočac; rkm 386+000 - 396+760 km 14+180 - 24+290 (10,110 km)	10,11

Slika 6.3 Isječak iz tablice podataka o nasipima na vodotocima I. reda

Tablica 6.1 Isječak iz tablice podataka o istraživačkim bušotinama vezanim za nasipe, prikupljenih iz postojećih istraživanja

R.br.	X	Y	Z bušotine	Dubina	Pozicija bušotine	OZNAKA BUŠOTINE	ID_ELABORATA	GOD.	ELABORAT
			HTRS	bušotine					
			(mn.m.)	(m)					
13	685058.72	685058.72	80.89	5.00	nožica	B-13	E-054-15-01	2015	Geotehnički istražni radovi za modernizaciju lijevoobalnih savskih nasipa na području kazete
14	684252.93	4973663.65	80.97	5.00	nožica	B-14	E-054-15-01	2015	Geotehnički istražni radovi za modernizaciju lijevoobalnih savskih nasipa na području kazete
15	683616.34	4973991.41	81.43	5.00	nožica	B-15	E-054-15-01	2015	Geotehnički istražni radovi za modernizaciju lijevoobalnih savskih nasipa na području kazete
16	682909.48	4974333.75	81.42	5.00	nožica	B-16	E-054-15-01	2015	Geotehnički istražni radovi za modernizaciju lijevoobalnih savskih nasipa na području kazete
17	682194.20	4975060.88		20.00	Kruna	RB-3	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300
18	681344.46	4975552.09		10.00	priobalna nožica	RB-9	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300
19	680447.21	4976042.16		10.00	proboj	RB-13	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300
20	679509.99	4976314.62		11.00	proboj	RB-6	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300
21	679279.65	4977173.06		9.50	zaobalna nožica	RB-8	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300
22	679321.24	4979299.02		14.00	kruna	RB-11	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300
23	680367.77	4979539.28		8.00	priobalna nožica	RB-18	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300
24	681350.73	4979658.34		12.50	kruna	RB-15	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300
25	682101.23	4980321.45		5.00	zaobalna nožica	RB-16	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300
26	681842.45	4981364.32		8.00	zaobalna nožica	RB-17	E-052-14-01	2014	Geotehnički istražni radovi za sanaciju proboja nasipa u Račinovcima km 216+300

Nastavak tablice 6.1 Isječak iz tablice podataka o istraživačkim bušotinama vezanim za nasipe, prikupljenih iz postojećih istraživanja

Dionica obrane	Ime Vodotoka	Lijeva/Desna obala	Visna nasipa	Nasip			Debljina sloja 1	Sloj 1		Debljina sloja 2	Sloj 2		Debljina sloja 3	Sloj 3	
			(m)	mat 01	mat 02	mat 03	(m)	mat 01	mat 02	(m)	mat 01	mat 02	(m)	mat 01	mat 02
D.1.1	Rijeka Sava	Lijeva obala					0.70	CI		3.60	CH		0.70	S	CI
D.1.1	Rijeka Sava	Lijeva obala					0.30	CI		1.80	CH		1.90	CL	
D.1.1	Rijeka Sava	Lijeva obala					0.90	CH		4.10	S	CL			
D.1.1	Rijeka Sava	Lijeva obala					1.80	CH		0.70	CI		2.50	S	CL
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala	3.80	CH	CI		1.20	OH/Pt		0.20	CH		7.50	S	CL
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala					1.80	CI	S	5.80	S	CL	2.40	CH	
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala					0.60	OH/Pt		1.50	CH	CI	6.10	S	CL
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala					0.60	CH		1.90	CI	S	5.60	S	CL
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala					3.60	CI	OH/Pt	3.50	S	CL	2.40	CH	
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala	4.30	CI	CH	S	0.80	CH		1.40	CI	S	6.10	S	CL
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala					2.40	CH		4.00	S	CL	1.60	CH	
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala	5.10	CH	CI	OH/Pt	0.90	CH	CI	4.10	S	CL	2.40	CH	
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala					2.50	CI		2.50	CL	S			
D.1.1.	Rijeka Sava	Lijeva obala					2.70	CI	OH/Pt	4.00	S	CL	1.30	CH	

6.2 Terensko rekognosciranje s prostornom analizom u GIS-u

U razdoblju od srpnja do listopada 2021. godine pregledano je terenskim rekognosciranjem 1.460 km nasipa. Uočeni indikatori hazarda (pojave) trenutno su evidentirani prema propisanim kriterijima preliminarne kategorizacije nasipa (Tablica 5.1-3) u bazi podataka, preko mobilne aplikacije „ODK Collect“ (Slika 5.2). Reducirani isječak iz baze podataka prikazan je na Tablici 6.3.

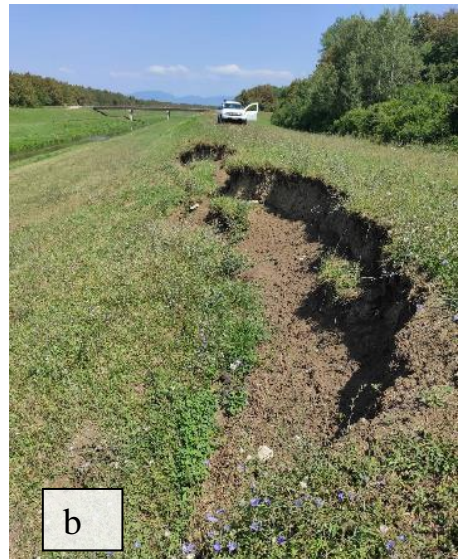
Ukupno je zabilježeno 4813 pojava. Točni udio svakog pojedinog indikatora hazarda u ukupnom broju prikazan je na Tablici 6.2. Na slikama 6.4-6.9 prikazani su uobičajeni indikatori hazarda nasipa: klizište, životinjske nastambe, jako slijeganje, viša vegetacija na tijelu nasipa, destruktivno djelovanje vozila te jače sezonske pukotine.

Tablica 6.2 Količina pojedinih indikatora hazarda opaženih terenskim rekognosciranjem

SKUPINA HAZARDA	VRSTA HAZARDA		KOLIČINA	
			MANJI INTENZITET / IMA	VEĆI INTENZITET
PROMJENA GEOMETRIJE NASIPA (I)	1	Slijeganje nasipa i temeljnog tla	504	1074
	2	Vlačne pukotine	105	63
	3	Duboka klizna ploha	70	72
UTJECAJ VODE (II)	4	Meandriranje u inundaciji	391	315
	5	Procjeđivanje ispod nasipa	12	4
	6	Procjeđivanje kroz nasip	3	3
	7	Prelijevanje preko krune nasipa	16	-
	8	Proboj nasipa	0	0
	9	Menadriranje u zaobalju	178	191
	10	Površinska zamočvarenja	48	-
UTJECAJ EKOSUSTAVA (III)	11	Plitka klizna ploha / puzanje	217	-
	12	Pukotine uslijed sezonskih promjena	119	55
	13	Površinska erozija	106	108
	14	Niža vegetacija	195	-
	15	Viša vegetacija	425	-
	16	Ostaci uklanjanja vegetacije	21	-
	17	Polomljena vegetacija	41	-
	18	Životinjske nastambe	179	-
	19	Destruktivno djelovanje životinja	122	-
	20	Erozija - destruktivno djelovanje vozila	509	-
	21	Destruktivni radovi	136	54

Tablica 6.3 Isječak iz baze podataka terenskog rekognosciranja

A	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N	P	Q	Z	AA	AB	AC	AD
SubmissionDate	DatumMD	Dionica	Vodotok	Nasip_L_D	Visina	StartCoord-Latitud	StartCoord-Longit	StartCoord-Altitud	EndCoord-Latitud	EndCoord-Longitu	EndCoord-Altitude	Dulji	Foto_grp-Foto1_grp-F	Note_grp-Txt_noti	Note_grp-Audio_n	Izdvojeno_grp-SNTT	Izdvojeno_grp-VEG_N	Izdvojeno_grp-VEG_V
1	04.10.2021 05:35:00	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6574266	17,1066243	171,8407848				5	1633089063066.jpg	Kraj trase D.6.6., 1.10.2021.	100	100	100
2	04.10.2021 05:35:00	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6574266	17,1066243	171,8407848				5	1633089063066.jpg	Kraj trase D.6.6., 1.10.2021.	100	100	100
3	04.10.2021 05:34:58	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6570509	17,1053668	172,4956140	45,6574385	17,1066352	168,9197551	1633088837949.jpg	Neprohodno, nasip potpuno obrasta		100	90	70
4	04.10.2021 05:34:54	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6545179	17,1038318	172,4118019	45,6558571	17,1049687	166,3112908	1633088648139.jpg	Neprohodno, nasip potpuno obrasta		100	90	70
5	04.10.2021 05:34:51	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6532794	17,1019032	166,1406658	45,6538717	17,1029657	167,6369298	1633088421759.jpg	Neprohodno, nasip potpuno obrasta		100	100	70
6	04.10.2021 05:34:47	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6531775	17,1004043	159,1845636				10	1633088251059.jpg	Slijeganje i visoka vegetacija	50	100	70
7	04.10.2021 05:34:46	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6527519	17,0978451	168,2512172				15	1633088044772.jpg	Visoka vegetacija na pokosima	100	100	70
8	04.10.2021 05:34:43	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6527375	17,0978663	169,3950176				15	1633087987157.jpg	Kolotrazi i slijeganja	50	100	100
9	04.10.2021 05:34:41	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6520007	17,0966799	167,4270516				10	1633087828547.jpg	Slijeganje	50	100	100
10	04.10.2021 05:34:39	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6515736	17,0960651	168,0919577				5	1633087700172.jpg	Kolotrazi i slijeganja	70	100	100
11	04.10.2021 05:34:38	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6507092	17,0957040	168,6171974	45,6519846	17,0966971	164,6487875	1633087365457.jpg	Visoka vegetacija na pokosima		100	100	70
12	04.10.2021 05:34:37	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6501495	17,0951917	172,9139686	45,6506981	17,0957027	166,0668721	1633087144666.jpg	Slijeganje		50	100	100
13	04.10.2021 05:34:35	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6499989	17,0950239	167,2670568	45,6515811	17,0960384	168,3223769	1633087044464.jpg	Kanal u zaobalju		100	100	100
14	04.10.2021 05:34:32	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6499711	17,0950446	172,1134224	45,6515817	17,0960552	170,6001325	1633086992393.jpg	Kanal u inundaciji		100	100	100
15	04.10.2021 05:34:31	01.10.21	D.6.6.	Ilova	2	1	45,6499913	17,0950368	167,6408922				5	1633086934479.jpg	Pocetak trase D.6.6., 1.10.2021.	100	100	100
16	01.10.2021 15:30:46	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6636148	17,1471325	167,5500020				16	1633088435496.jpg	Kraj dionice D.6.3. 1.10.	100	100	100
17	01.10.2021 15:30:42	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6672879	17,1440293	167,8813184	45,6636128	17,1471364	169,0336682	1633088106276.jpg	Nisko raslinje na pokosu nasipa		100	90	100
18	01.10.2021 15:30:38	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6674196	17,1301766	166,9134178	45,6674061	17,1329418	168,2449009	1633087707719.jpg	Slijeganje		50	100	100
19	01.10.2021 15:30:33	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6664396	17,1218442	167,6299472	45,6636173	17,1471347	167,9287188	1633087507557.jpg	Meandriranje u inundaciji i zamocva		100	100	100
20	01.10.2021 15:30:29	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6664486	17,1218299	164,2931496				20	1633087437863.jpg	Slijeganje	50	100	100
21	01.10.2021 15:30:19	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6559560	17,1055603	168,2022371				15	1633086806607.jpg	Slijeganje	70	100	100
22	01.10.2021 15:30:14	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6492568	17,0963075	166,9977643				40	1633084232570.jpg	Kliziste	100	100	100
23	01.10.2021 15:29:59	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6486506	17,0952206	161,8777846				15	1633083851054.jpg	Procijedivanje ispod nasipa, kliziste	100	100	100
24	01.10.2021 15:29:45	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6482293	17,0948208	171,1097335				15	1633083569356.jpg	Prevmut korijen dva sa probalne st	100	100	100
25	01.10.2021 15:29:35	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6469817	17,0897336	175,6177596				50	1633082773501.jpg	?? Procijedivanje i odron ??	100	100	100
26	01.10.2021 15:29:24	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6462748	17,0872444	173,4805861	45,6539447	17,1042263	168,633624	1633082305071.jpg	Niska i visoka vegetacija		100	90	70
27	01.10.2021 15:29:19	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6455213	17,0867847	170,0364234	45,6662345	17,1209108	168,020318	1633082098094.jpg	Meandriranje u zaobalju		100	100	100
28	01.10.2021 15:29:14	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6452992	17,0865597	169,2016603	45,6662211	17,1209208	169,0548577	1633081760770.jpg	Erozija obale ribnjaka (pokosa nasip		100	100	100
29	01.10.2021 15:28:55	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6448921	17,0865673	169,3671804				10	1633081599176.jpg	Erozija/Odron	100	100	100
30	01.10.2021 15:28:44	01.10.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6420415	17,0893141	166,1059307				1633081062995.jpg	Pocetak dionice D.6.3. 1.10.		100	100	100
31	01.10.2021 15:28:39	30.09.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6407671	17,0888649	168,2437581				1633000668134.jpg	Kraj dionice D.6.3. 30.9.		100	100	100
32	01.10.2021 15:28:34	30.09.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6361383	17,0806771	162,3134930				70	1633000393940.jpg	Visoka vegetacija	100	100	70
33	01.10.2021 15:28:28	30.09.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6297552	17,0723048	164,5943238	45,6407984	17,088805	163,7100424	1632999809348.jpg	Erozija pokosa nasipa		100	100	100
34	01.10.2021 15:28:24	30.09.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6273886	17,0717212	165,1265392				1632999611507.jpg	Meandriranje		100	100	100
35	01.10.2021 15:28:20	30.09.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6257008	17,0608452	160,7809590				1632998649940.jpg	Meandriranje u inundaciji		100	100	100
36	01.10.2021 15:28:15	30.09.21	D.6.3.	Voštanica	2	1	45,6227850	17,0611137	159,1077707	45,6257066	17,0608857	164,1931071	1632998410449.jpg	Meandriranje u inundaciji		100	100	100
37	01.10.2021 15:28:11	30.09.21	D.6.3.	Voštanica	1	1	45,6256126	17,0604140	160,2222776	45,622674	17,0609807	168,2333475	1632997843602.jpg	Meandriranje u inundaciji		100	100	100
38	01.10.2021 15:28:07	30.09.21	D.6.3.	Voštanica	1	1	45,6226581	17,0610641	163,4598163				1632997590607.jpg	Kraj dionice D.6.3. 30.9.		100	100	100
39	01.10.2021 15:28:03	30.09.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6255994	17,0567525	166,0624343	45,6257101	17,0603423	170,0881062	1632997406657.jpg	Meandriranje u inundaciji		100	100	100
40	01.10.2021 15:27:58	30.09.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6256315	17,0565694	160,7575789	45,6256945	17,0603372	161,4080547	1632997218469.jpg	Vlacne pukotine		100	100	100
41	01.10.2021 15:27:48	30.09.21	D.6.3.	Ilova	1	1	45,6261680	17,0468559	161,3290773				1632996720271.jpg	Pocetak dionice D.6.3. 30.9.		100	100	100
42	01.10.2021 15:27:44	30.09.21	D.6.2.	Ilova	1	1	45,6261775	17,0468874	164,2124491				1632996651357.jpg	Kraj dionice D.6.2.		100	100	100
43	01.10.2021 15:27:40	30.09.21	D.6.2.	Ilova	1	1	45,6218488	17,0411107	159,9959345	45,6244651	17,0411829	160,2680026	1632995639522.jpg	Slijeganje		70	100	100
44	01.10.2021 15:27:30	30.09.21	D.6.2.	Ilova	1	1	45,6184445	17,0400965	157,4201607				10	1632995408592.jpg	Slijeganje	70	100	100
45	01.10.2021 15:27:22	30.09.21	D.6.2.	Ilova	1	1	45,6179141	17,0395129	160,8690431				10	1632995299228.jpg	Slijeganje	70	100	100



Slika 6.4 Klizište na nasipu: (a) trenutno neaktivno rotacijsko klizište; (b) recentno klizište s vidljivom glavnom pukotinom



Slika 6.5 Destruktivno djelovanje vozila na: (a) kruni nasipa; (b) pokosu nasipa



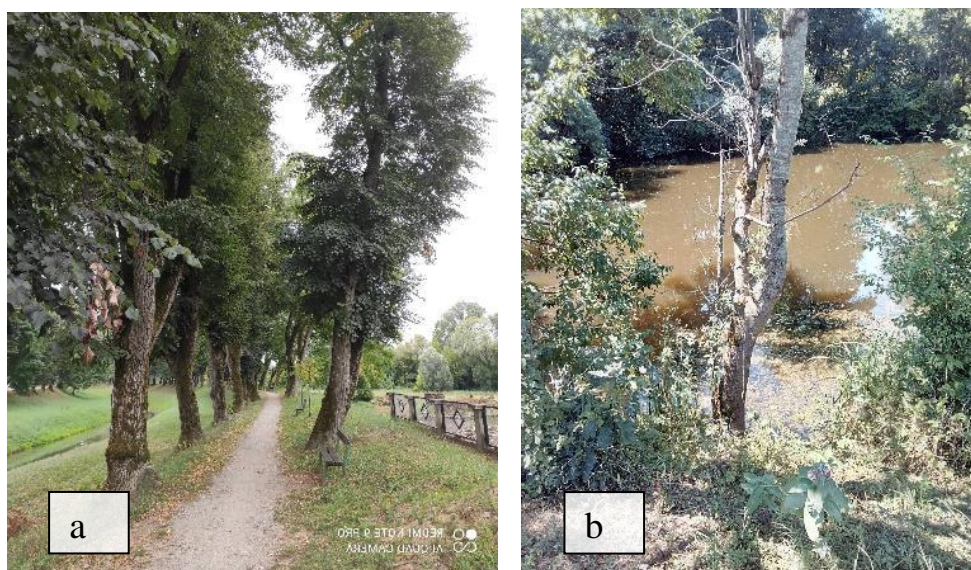
Slika 6.6 Životinjske nastambe na pokosu nasipa: (a) krtičnjaci; (b) jazbina



Slika 6.7 Jače slijeganje nasipa

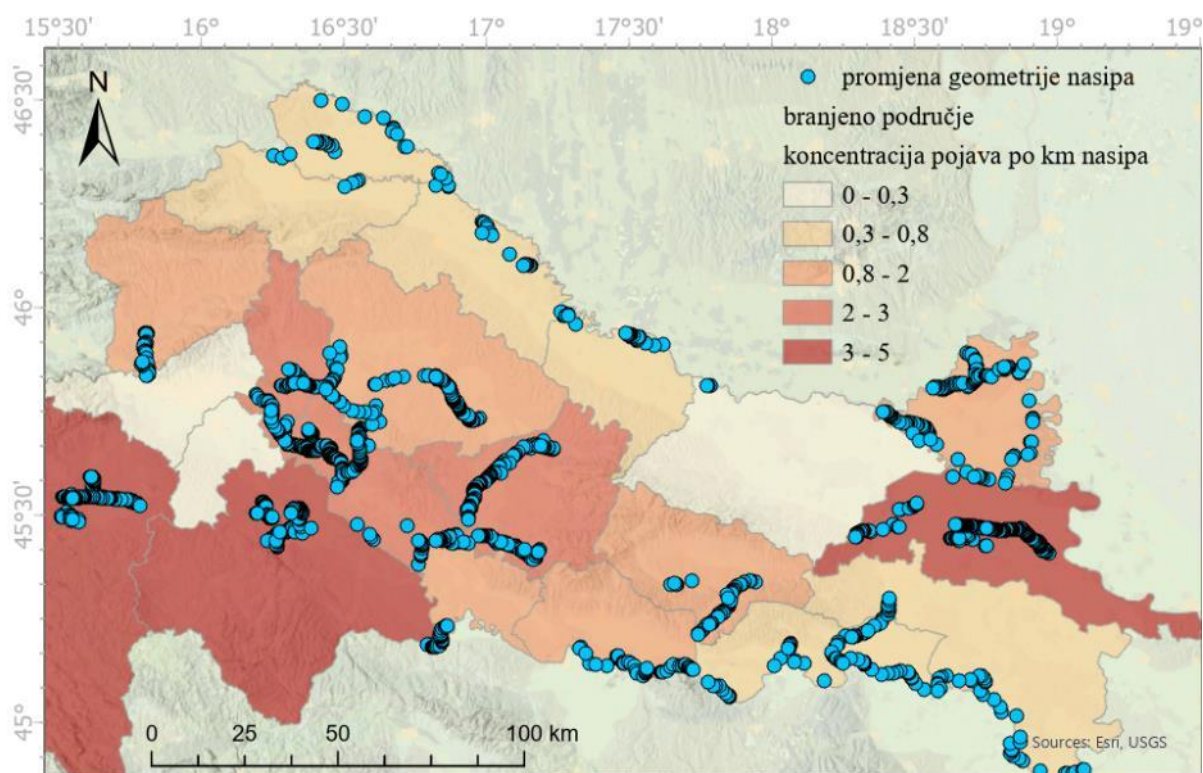


Slika 6.8 Jače sezonske pukotine na nasipu: (a) lokalno; (b) duž krune nasipa



Slika 6.9 Viša vegetacija na: (a) kruni nasipa; (b) pokosu nasipa

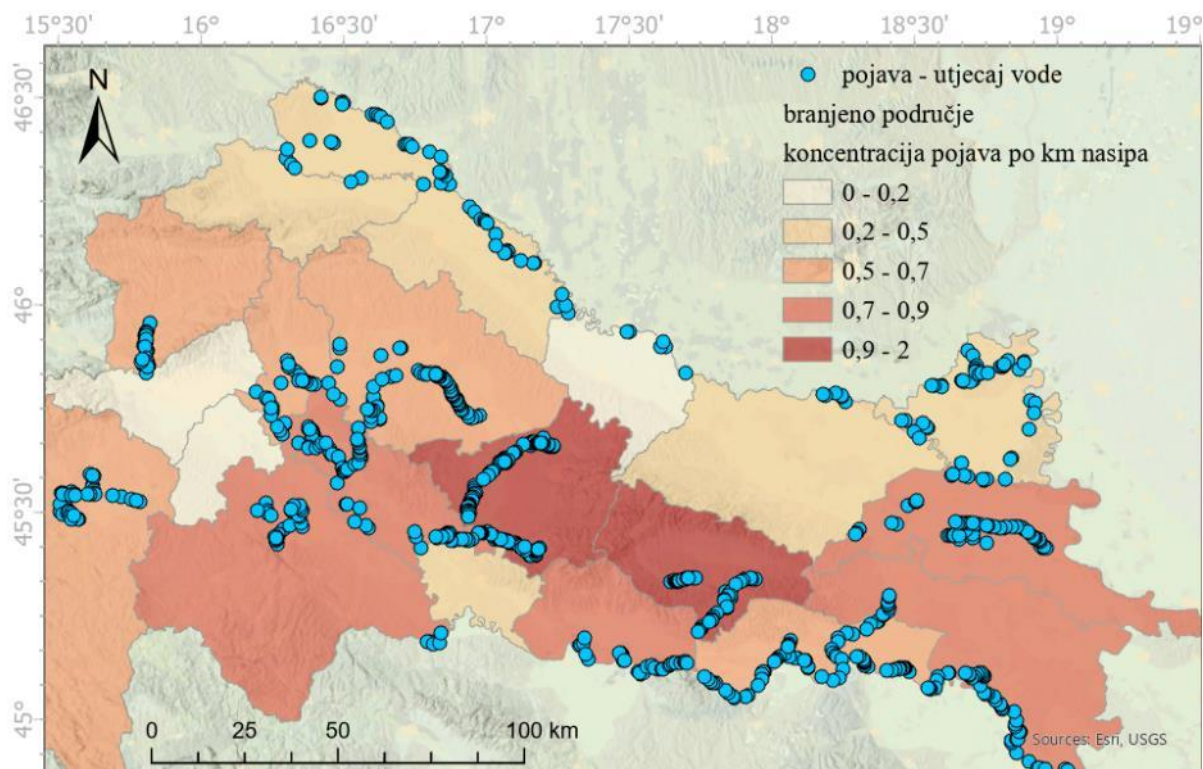
Podaci iz Excel baze podataka uneseni su zatim u GIS bazu podataka. Na sljedećim kartama prikazan je prostorni raspored pojava, razdijeljen po skupinama hazarda, kao i njihova koncentracija po branjenim područjima (broj pojava po km dužnom nasipa). Slika 6.10 prikazuje lokacije i koncentraciju pojava koje se očituju promjenom geometrije nasipa. Najmanja koncentracija pojava prisutna je na nasipima uz Dravu i donji to Save (<0,3 kom/km), dok su najveće koncentracije uz Dunav i gornje pritoke Save (>3 kom/km; BP slivova Banovina i Vuka). Slijeganje nasipa i temeljnog tla ističe se kao najbrojnija pojava registrirana tijekom 1579 opažanja. Ova pojava je daleko najčešća, ne samo unutar ove skupine, nego uopće (Tablica 6.2). S druge strane, pojava klizišta je najrjeđa u ovoj skupini (141).



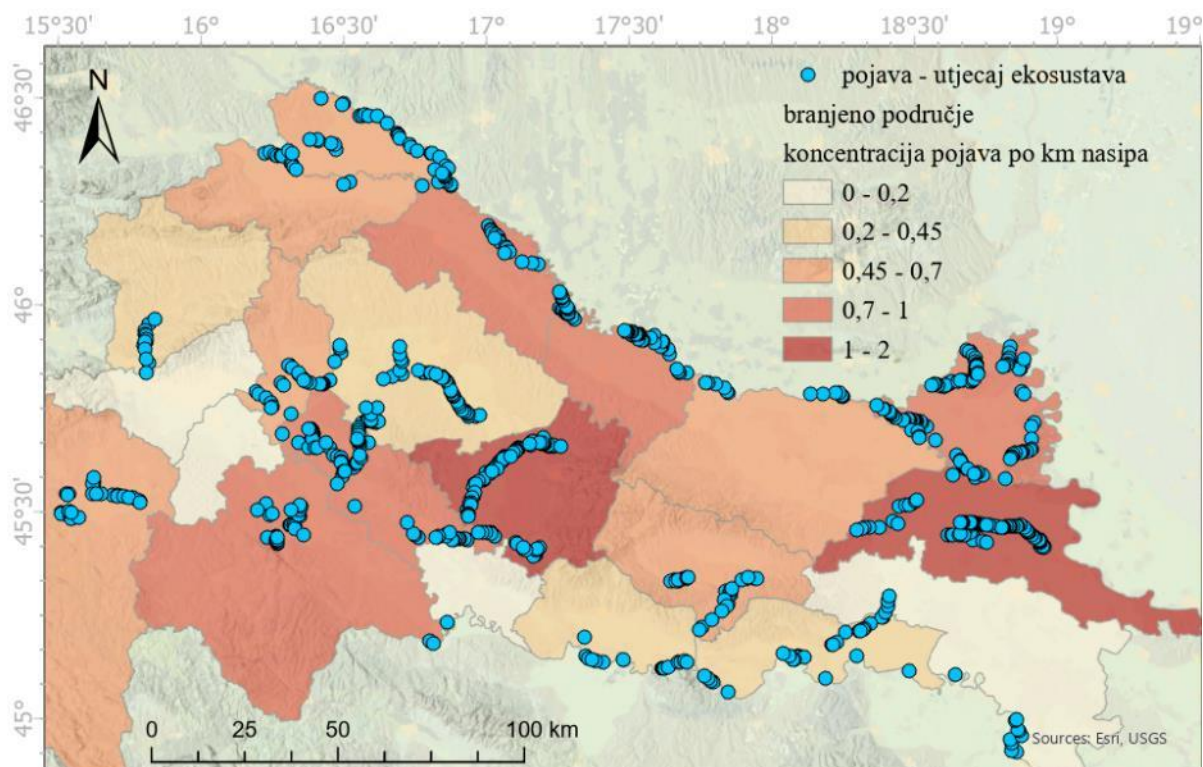
Slika 6.10 Karta lokacija i koncentracije indikatora hazarda koji se očituju promjenom geometrije nasipa

Slika 6.11 prikazuje lokacije i koncentraciju pojava uzrokovanih utjecajem vode. I ovdje je najmanja koncentracija pojava prisutna na nasipima uz Dravu (<0,2 kom/km), dok su najveće koncentracije vezane uz nasipe pritoka srednjeg toka Save (>0,9 kom/km; BP slivova Orljava-Londža i Ilova-Pakra). Meandriranje u inundaciji je sa 706 opažanja najčešća pojava ove skupine, dok je proboj nasipa jedina pojava koja nije opažena u cijelom istraživanju. Slika 6.12 prikazuje lokacije i koncentraciju pojava uzrokovanih utjecajem ekosustava. Najmanja koncentracija pojava je uz donji tok Save (<0,2 kom/km), a najveća

uz nasipe Vuke i pritoka srednjeg toka Save (>1 kom/km; BP slivova Vuka i Ilova-Pakra). Destruktivno djelovanje vozila je s 509 opažanja najčešća pojava skupine.



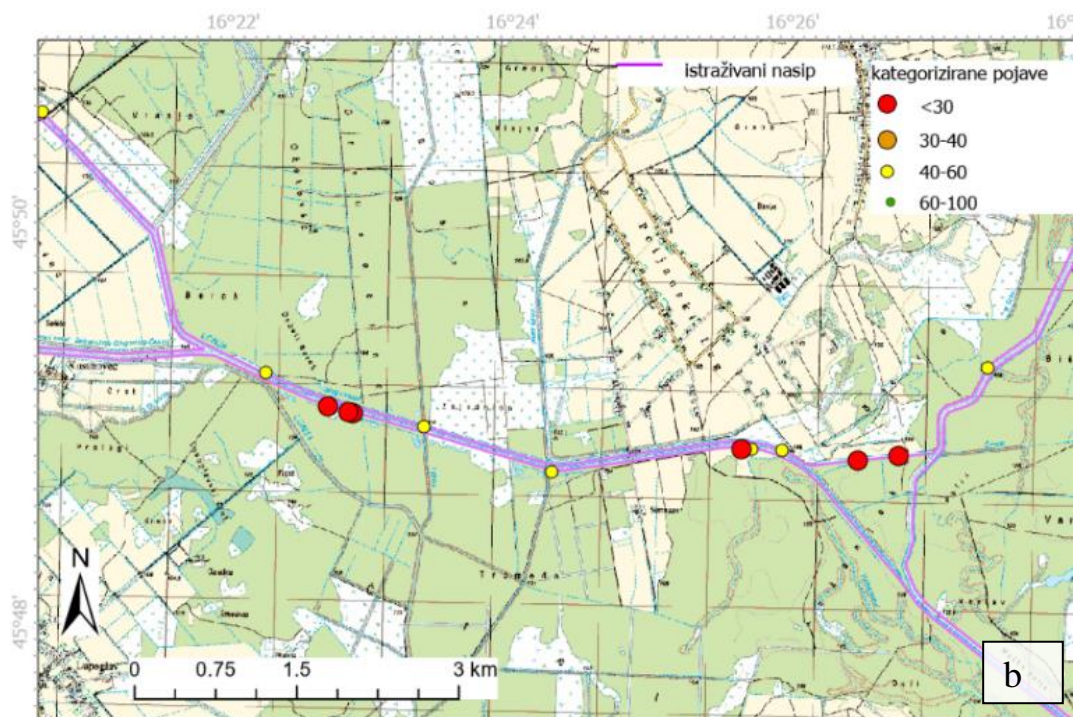
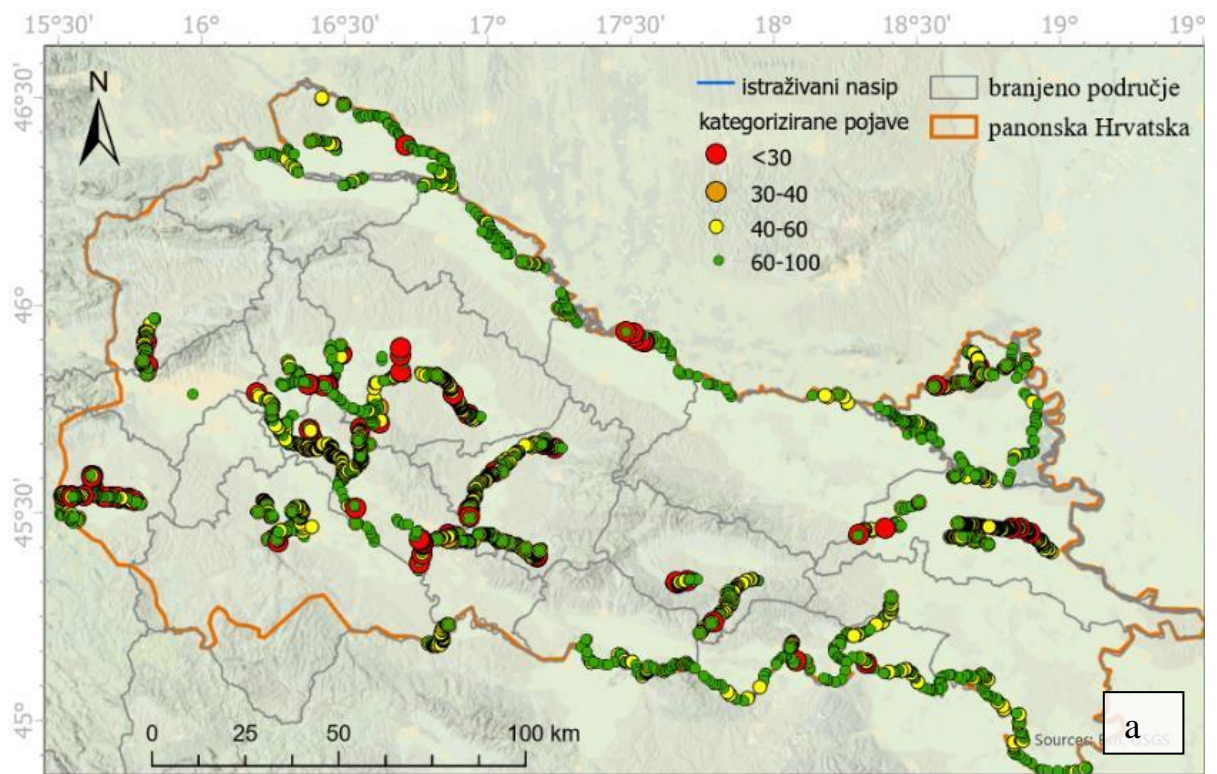
Slika 6.11 Karta lokacija i koncentracije indikatora hazarda uzrokovanih utjecajem vode



Slika 6.12 Karta lokacija i koncentracije indikatora hazarda uzrokovanih utjecajem ekosustava

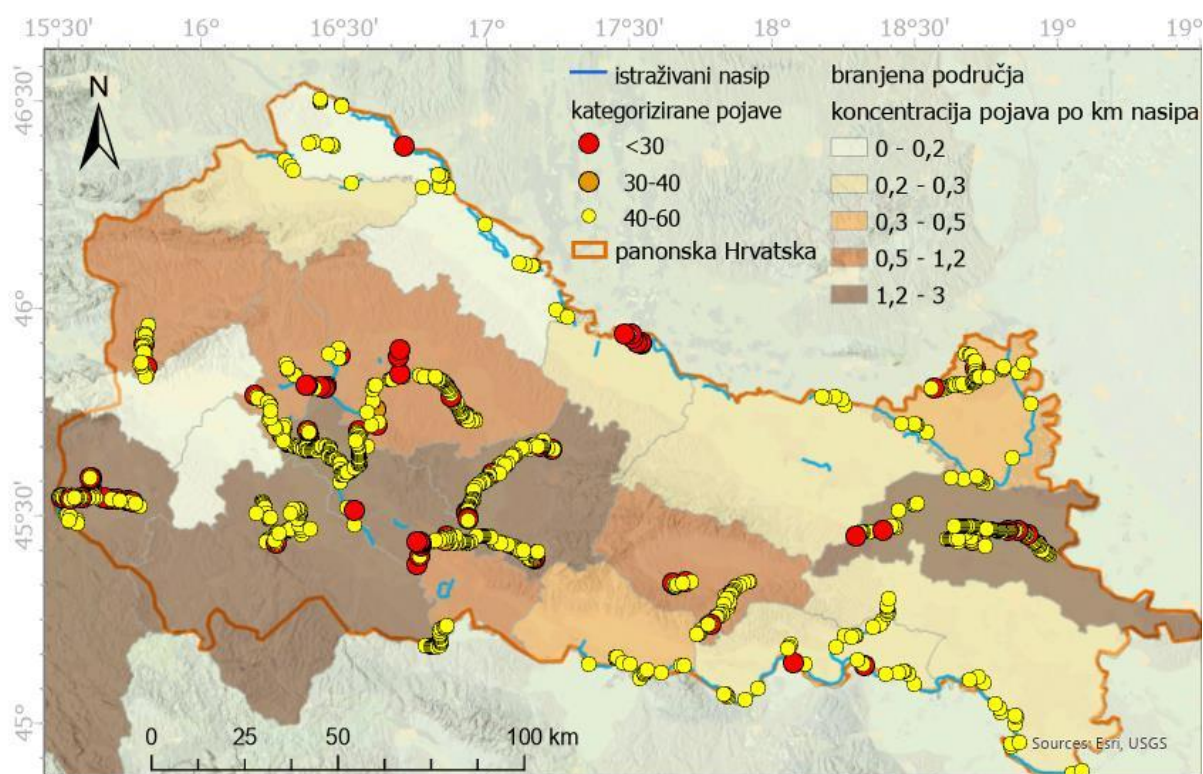
6.3 Kategorizacija nasipa po stanju s GIS analizom

Nakon prikupljanja podataka u GIS bazu podataka, provedena je kategorizacija. Kao što je opisano, opažene pojave su bodovane na način da ukazuju na jedno od tri moguća stanja nasipa – stabilan, uvjetno stabilan i nestabilan (obojano zelenom, žutom ili crvenom bojom). Konačno kategorizirana opažanja (njih 4813) prikazana su na Slici 6.13a. Radi bolje vizualizacije i planiranja istražnih radova, uvedena je narančasta boja. Interval koji obuhvaća žuta boja je velik i ovime se htjelo naglasiti kad pojava ukazuje na vrlo loš uvjetno stabilni nasip (30 – 40 bod.). Zbog velike gustoće točaka na karti, zasebnom slikom 6.13b prikazani su uvećani isječci.



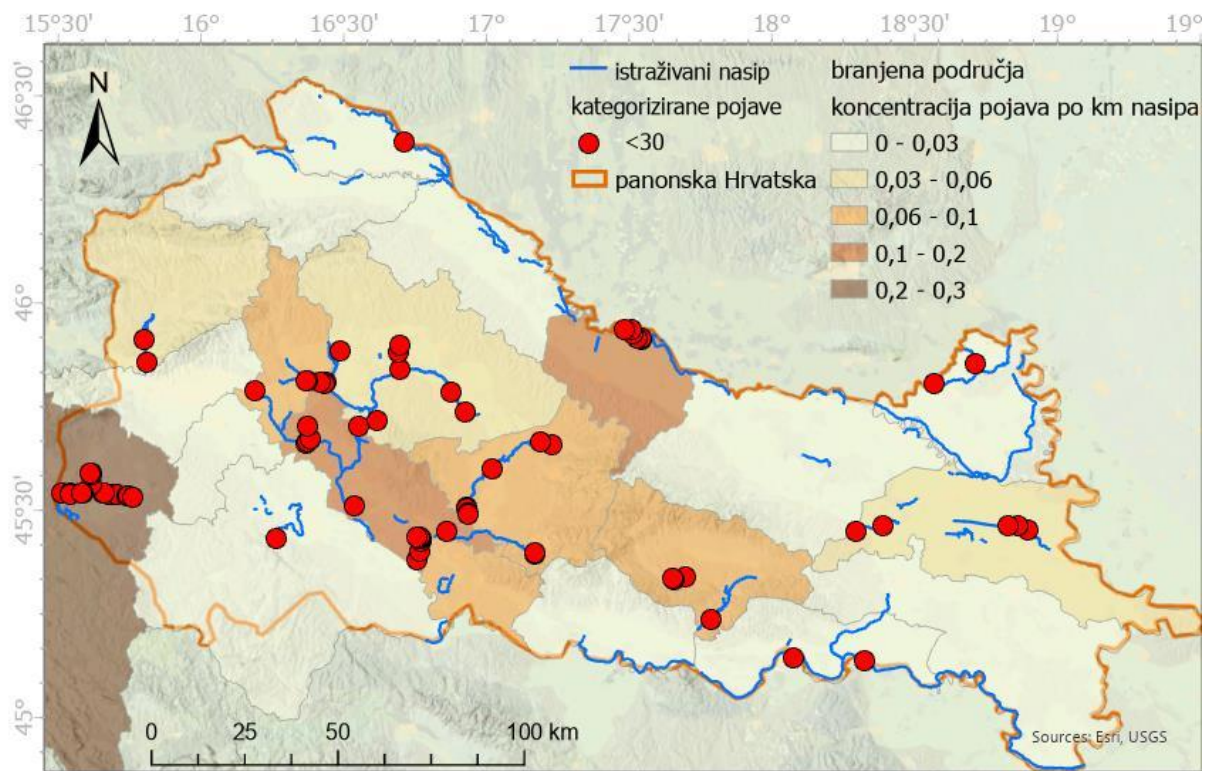
Slika 6.13 Karta kategoriziranih pojava: (a) istraživanog područja; (b) segmenta BP Česma-Glogovnica i Zelina-Lonja

Na Slici 6.14 prikazana je karta lokacija i koncentracija pojava srednjeg i jakog utjecaja (njih 1785) na stanje nasipa (žute, narančaste i crvene točke po klasifikaciji). Koncentracije su izražene u broju pojava po kilometru, a uspoređena su branjena područja. Kao područja s najmanjom koncentracijom spomenutih pojava ističu se gornji tok i djelomice donji tok Drave i donji tok Save ($<0,3$ kom/km). Najveća koncentracija (>1 kom/km) javlja se u blizini Dunava te pritoka gornjeg toka Save.



Slika 6.14 Karta lokacija i koncentracije pojava srednjeg i jakog utjecaja; i rezultirajućih dionica uvjetno stabilnih i nestabilnih nasipa

Zabilježeno je 143 pojava jakog utjecaja (crveno po kategorizaciji) koje uzrokuju nestabilno stanje nasipa. Malo je pojava koje su kategorizirane kao takve, samo 3 pojave su jača duboka klizišta, jači destruktivni radovi ili prelijevanje preko nasipa. Njihove lokacije i koncentracija po branjenim područjima prikazani su na Slici 6.15. Kao što je vidljivo, koncentracije u većini BP-a kreću se do $0,03$ kom/km, a izražene koncentracije prisutne su u BP sliva Kupe te djelomično BP sliva Županijski kanal i Lonja-Trebež. Sve prikazane karte su izrađene prostornim analizama u GIS-u.



Slika 6.15 Karta lokacija i koncentracije pojava jakog utjecaja i rezultirajućih dionica nestabilnih nasipa

7 Zaključak

Ovim radom provedena je kategorizacija stanja nasipa vodotoka 1. reda u panonskom dijelu Republike Hrvatske gdje se nalazi većina spomenutih nasipa i koji pripada Dunavskom slivu. Istraživanje je obuhvatilo nasipe ukupne duljine 1.460 km, izostavljajući one Gornje i Donje Save, koji su istraženi u sklopu prijašnjih istraživanja 2014. i 2017. godine. Rad je izrađen u okviru projekta VEPAR (Vodno-ekološko praćenje, analize i rješenja) *Hrvatskih voda*, s tvrtkom *Geokon-Zagreb d.d.* kao izvođačem. Projekt se provodi u sklopu Operativnog programa EU Konkurentnost i kohezija 2014.-2020., kao dio specifičnog cilja 5b1- Jačanje sustava upravljanja katastrofama.

Kroz preliminarna kabinetska istraživanja su, na temelju postojećih podataka te podataka iz prijašnjih istražnih radova, određene opće geološke, inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke promatranog područja te je je pripremljena kartografska podloga za terensku fazu istraživanja. Provedeno je opsežno rekognosciranje, tj. vizualni pregled svih nasipa i prikupljanje detaljnih podataka o indikatorima hazarda na terenu, koristeći metodologiju i kriterije preliminarne kategorizacije nasipa razvijene kroz prethodna istraživanja. Zabilježeno je 4813 opasnih pojava (cca 3/km nasipa), koje su svrstane u tri skupine s obzirom na genezu: promjena geometrije, utjecaj vode i utjecaj ekosustava. Kao vodna područja s najviše zabilježenih neželjenih pojava, ističu se mali slivovi Vuka, Banovina, Ilova-Pakra i Lonja-Trebež, dok najmanje pojava bilježe područja uz Dravu te djelomično donji tok Save. Temeljem prikupljenih podataka izrađena je GIS baza podataka o postojećem stanju nasipa te je obavljena kategorizacija istih, prikazavši dionice nasipa kao stabilne, uvjetno stabilne ili nestabilne. Konačno je provedena GIS analiza koncentracija pojava po duljini nasipa unutar pojedinog branjenog područja, fokusirajući se na indikatore srednjeg i jakog intenziteta. Navedena istraživanja su provedena od svibnja do listopada 2021. godine.

Rezultati ovog istraživanja, tj. ocjene nasipa u kombinaciji s podacima dobivenim preliminarnim istraživanjima, koristit će se u svrhu provedbe prioritizacije i plana detaljnih terenskih istraživanja kritičnih dionica nasipa, kako bi se procijenili geotehnički uvjeti u nasipu i temeljnom tlu. Time će se definiraju smjernice za daljnja postupanja koja se, ovisno o stanju nasipa, sastoje od redovnog i pojačanog održavanja ili sanacije nasipa; s krajnjom svrhom upravljanja rizicima od poplava u Republici Hrvatskoj.

8 Literatura

- Arbanas, Ž., Damjanović, V., Krkač, M., Peranić, J., Jagodnik, V., Gazibara, S. B., . . .
Arbanas, S. M. (2022). Lateral Spreading Caused by 2020 Petrinja Earthquake 6.4 MW. *Abstract Proceedings of the 5th Regional Symposium on Landslides in the Adriatic-Balkan Region, Croatian Landslide Group*, (p. 48).
- Beraković, B., Kuspilić, N. & Pršić, M. (2011). *Hidrotehničke građevine*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu.
- Bognar, A. (2001). Geomorfološka regionalizacija Hrvatske. *Acta geographica Croatica*, str. 7-29.
- Eletkroprojekt d.d. (2013). *Višenamjenski hidrotehnički sustav uređenja, zaštite i korištenja rijeke Save i zaobalja od granice sa R. Slovenijom do Siska*. Zagreb.
- EN 1997-2:2008. (2008). *Eurocode 7: Geotechnical Design*. Luxembourg.
- Geokon-Zagreb d.d. (2014). *Analiza postojećih savskih nasipa u svrhu definiranja njihove stabilnosti na području Vodnogospodarskog odjela (VGO) za gornju Savu*. Zagreb.
- Geokon-Zagreb d.d. (2017). *Sustav zaštite od poplave na rijeci Savi od granice s Republikom Slovenijom do ušća Trnave*. Zagreb.
- Herak, M., Allegretti, I., Herak, D., Ivančić, I., Kuk, K., Marić, K., . . . Sović, I. (2011). *Karte potresnih područja Republike Hrvatske za povratna razdoblja $T_p = 95$ i 475 godina*. Zagreb: Geofizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- Hrvatske vode. (2018). *Glavni provedbeni plan obrane od poplava*. Zagreb.
- Hrvatske vode. (2020.). *Preliminarna kategorizacija nasipa na vodotocima 1. reda (Vepar)*. Zagreb.
- Hrvatski geološki institut. (2009). *Geološka karta Republike Hrvatske M 1:300.000*. Zagreb: Hrvatski geološki institut.
- ISO 14688-2:2017. (2017). *Geotechnical investigation and testing — Identification and classification of soil — Part 2: Principles for a classification*. Geneva, Switzerland.
- Ivšić, T. (2018). *Nasipi i brane*. Zagreb: Građevinski fakultet.

- Kvasnička, P. & Domitrović, D. (2007). *Mehanika tla - interna skripta Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu.*
- Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu. (2010).
- Parlov, J. (2018). *Hidrogeologija II, interna skripta Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu.*
- Roje-Bonacci, T. (2015). *Nasute građevine.* Split: Sveučilište u Splitu.
- Sanglerat, G. (1972). *The penetration and soil exploration; Development in geotechnical engineering.* New York: Elsevier Scientific Publishing.
- Vučenović, H. (2018). *Mehanika tla I - vježbe; Fizikalna svojstva tla - Indeksni pokazatelji.*
- Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Perčec Tadić, M., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., . . . Kaučić, D. (2008). *Klimatski atlas Hrvatske, Climate atlas of Croatia: 1961. - 1990. : 1971. - 2000.* Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod.
- Zaninović, K., Gajić-Čapka, M., Tadić, M. P., Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., . . . Cvitan, L. (2008). *Klimatski atlas Hrvatske 1961. - 1990.* Zagreb: Državni hidrometeorološki zavod.

Elektronički izvori

- DHMZ. (2021). Preuzeto 12. 12. 2021 iz DHMZ - Sektor za hidrologiju: <https://hidro.dhz.hr/>
- DIVA-GIS. (2022). Preuzeto 13. 1 2022 iz DIVA-GIS: <https://www.diva-gis.org/datadown>
- Hrvatska.eu. (2021). Preuzeto 15. 12 2021 iz Zemlja i ljudi: <https://hrvatska.eu>
- Hrvatske vode. (2019). *Karta opasnosti od poplava po vjerojatnosti pojavljivanja.* Preuzeto 03. 01 2021 iz Geoportal: <https://preglednik.voda.hr/>
- Leksikografski zavod Miroslav Krleža. (2021). *Panonska Hrvatska.* Preuzeto 5. 1 2022 iz Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=46450>

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. (n.d.). *Projekt “Unaprjeđenje negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava – VEPAR”*. Preuzeto 23. 2 2022 iz Operativni program Konkurentnost i kohezija 2014.-2020: https://opzopk.hr/projekti_post/kk-05-2-1-07-0001-projekt-unaprjedenje-negrađevinskih-mjera-upravljanja-rizicima-od-poplava-vepar/

Dokumentacija

Državni plan obrane od poplava, NN 84/2010

Odluka o popisu voda I. reda, NN 79/2010

Pravilnik o granicama područja podslivova, malih slivova i sektora, NN 97/2010

Strategija upravljanja vodama, NN 91/2008

Zakon o vodama, NN 66/2019

PRILOZI

Prilog 1 Shematski prikaz obrasca u aplikaciji i metodologija ocjenjivanja pojava (prema Geokon-Zagreb d.d., 2017)

Tabovi	R.br.	Naziv podatka ili grupe podataka	Vrsta hazarda / podatka	Kontrolna lista			Opis
Opći podaci	1	Naziv vodotoka	Naziv vodotoka	Sava			Obvezno
	2	Nasip L/D	Nasip L/D	lijevi	desni		Obvezno
	3	Visina	Visina (m)	0-2	2-4	4+	Obvezno
	4	Datum	Datum				Obvezno
	5	Korisnik	Korisnik				Obvezno
	6	Koordinate početak	Koordinate početak	GPS			Obvezno
	7	Koordinate kraj	Koordinate kraj	GPS			ili duljina
	8	Duljina	Duljina	procjena u m			ili koordinata kraj
Izdvojeno	9	GEOMETRIJA / STABILNOST / EROZIJA	SLIJEKANJE NASIPA I TEMELJNOG TLA	nema 100	s/H<=0,05 70	s/H>0,05 50	Indikator Pripadna vrijednost
	10	VEGETACIJA	NIŽA VEGETACIJA	nema 100	ima 90		Indikator Pripadna vrijednost
	11		VIŠA VEGETACIJA	nema 100	ima 70		Indikator Pripadna vrijednost
	12	ŽIVOTINJE	ŽIVOTINJSKE NASTAMBE	nema 100	ima 80		Indikator Pripadna vrijednost
	13	DESTRUKTIVNO	EROZIJA - DESTRUKTIVNO DJELOVANJE VOZILA	nema oštećenja 100	ima oštećenja 70		Indikator Pripadna vrijednost
	14	Foto	FOTO 1-5 kom				Obavezno 1 kom
	Geometrija	15	GEOMETRIJA / STABILNOST / EROZIJA	VLAČNE PUKOTINE	nema 100	d/B<=0,005 70	d/B>0,005 40
16		DUBOKA KLIZNA PLOHA		nema 100	hk/H<=0,5 40	hk/H>0,5 20	Indikator Pripadna vrijednost
17		PLITKA KLIZNA PLOHA / PUZANJE NASIPA		nema 100	ima 70		Indikator Pripadna vrijednost
18		PUKOTINE USLIJED SEZONSKIH PROMJENA		nema 100	As/A<=0,1 90	As/A>0,1 70	Indikator Pripadna vrijednost
19		POVRŠINSKA EROZIJA		nema 100	Ae/A<=0,1 90	Ae/A>0,1 70	Indikator Pripadna vrijednost
20		SANACIJA Da/Ne		nema 100	ima 80		Indikator Pripadna vrijednost
Voda		21		VODA	PROCJEĐIVANJE ISPOD NASIPA	nema 100	Lc/H>=1 70
	22	PROCJEĐIVANJE KROZ NASIP	nema 100		hn/H<=0,25 70	hn/H>0,25 30	Indikator Pripadna vrijednost
	23	MEANDRIRANJE U INUNDACIJI / POKOS KORITA UZ NOŽICU	nema (Lm/H>=5) 100		1<Lm/H>5 80	Lm/h<=1 50	Indikator Pripadna vrijednost
	24	PRELJEVANJE PREKO KRUNE NASIPA	nema preljevanja 100		ima preljevanja 20		Indikator Pripadna vrijednost
	25	PROBOJ NASIPA	nema proboja 100		privremena sanacija 30	ima proboja 10	Indikator Pripadna vrijednost
	26	MEANDRIRANJE U ZAOTALJU	nema (Lm/H>=5) 100		1<Lm/H>5 80	Lm/h<=1 50	Indikator Pripadna vrijednost
	27	POVRŠINSKA ZAMOČVARENJA	nema 100		ima 80		Indikator Pripadna vrijednost
	Ostalo	28	VEGETACIJA		OSTACI UKLANJANJA VEGETACIJE	nema 100	ima 70
29		POLOMLJENA VEGETACIJA		nema 100	ima 70		Indikator Pripadna vrijednost
30		ŽIVOTINJE	DESTRUKTIVNO DJELOVANJE ŽIVOTINJA	nema 100	ima 70		Indikator Pripadna vrijednost
31		DESTRUKTIVNO	DESTRUKTIVNI RADOVI	nema 100	Vr/Vn<=0,1 70	Vr/Vn>0,1 10	Indikator Pripadna vrijednost
32		Bilješka	Bilješka				nije obvezno
33		Audio	Audio bilješka				nije obvezno

Prilog 2 Tablica kategorizacije nasipa na temelju terenskog pregleda (Geokon-Zagreb d.d., 2017)

PRELIMNARNA TERENSKA KATEGORIZACIJA NASIPA				
Kategorija		Područje vrijednosti	Opis stanja nasipa	Preporučena akcija
I	NASIP JE STABILAN - PRIHVATLJIVO STANJE NASIPA -	>90 do 100	Izvršno: Nema vidljivih defekata.	REDOVNO ODRŽAVANJE NASIPA Provode se pregledi nasipa od strane vodočuvara prema kontrolnim listama za pregled nasipa. Sanacija nije potrebna.
		>70 do 90	Vrlo dobro: Samo manja pogoršanja ili defekti su vidljivi. Neke posljedice uporabe i starosti mogu biti vidljive.	
		> 60 do 70	Dobro: Dijelovi nasipa podložni nepovoljnim procesima. Defekti jesu vidljivi no ne utječu značajno na stabilnost nasipa.	POJAČANO ODRŽAVANJE NASIPA Provode se pregledi nasipa od strane vodočuvara prema kontrolnim listama za pregled nasipa. Potrebno je provesti manje sanacione mjere u sklopu redovnog održavanja (uklanjanja smeća, uklanjanja nanosa zaostalog od visoke vode, građevinskog otpada, visokog raslinja, korjenja, saniranje manjih oštećenja i sl.)
II	NASIP JE STABILAN - NEPRIHVATLJIVO STANJE NASIPA -	> 40 do 60	Dovoljno: Dijelovi nasipa podložni nepovoljnim procesima. Umjerena pogoršanja odnosno vidljivi su defekti na nasipu koji utječu na stabilnost nasipa.	DETALJNA KATEGORIZACIJA Potrebno je ukloniti uzroke nestabilnosti. Vidljivi ili evidentirani defekti moraju biti istraženi. Potrebno je provesti detaljnu kategorizaciju nasipa od strane stručne osobe. U sklopu detaljne kategorizacija nasipa za potvrđivanje neophodnosti sanacije, utvrđivanja prioriteta i redosljeda radova na sanaciji nasipa provode se detaljni istražni radovi i analize stabilnosti nasipa.
		30 do 40	Loše: Dijelovi nasipa podložni nepovoljnim procesima. Zabilježeni nedostaci ozbiljno može utjecati na stabilnosti nasipa.	
III	NASIP NIJE STABILAN - NEZADOVOLJAVAJUĆE STANJE NASIPA -	<30	Nezadovoljavajuće: Nasip u stanju sloma odnosno zabilježeni nedostaci ozbiljno će utjecati na stabilnost nasipa za vrijeme slijedeće visoke vode ili nasip više nema funkciju.	SANACIJA Sanacije nasipa uz dodatne istražne radove i projektno-ekonomske analize načina sanacije nasipa.