



INSTITUT ZA
ELEKTROPRIVREDU
ENERGY
INSTITUTE

Naslov: **PROJEKT DANUBE SEDIMENT - OKVIRNA PROCJENA
SEDIMENTA RIJEKE DUNAV I VEĆIH PRITOKA**

Naručilj: **Hrvatske vode
Ulica grada Vukovara 220, 10 000 Zagreb**

Ugovor: **KLASA: 325-01/17-10/176,
URBROJ: 374-1-2-17-10 (Hrvatske vode),
6/96-5/18 (IE)**

Voditelj izrade
studije: **Tanja Lubura Matković, dipl.ing.građ.**

Suradnici: **Renata Vidaković Šutić, dipl.ing.građ.
Marta Jerković, mag.ing.aedif.
Boris Vrcelj, dipl. ing. geol.
Đurđica Cahun Sabolić, građ.teh.**

IOD: **6/96-11/18**

Interna kontrola:

Vedrana Ričković, dipl.ing.građ.

Direktor Sektora za građevinarstvo:

Direktor:

Krešimir Galić, dipl.ing.građ.

Marijana Kotaran Munda, dipl.ing.građ.

Zagreb, veljača 2019.

PROJEKTNI ZADATAK



HRVATSKE VODE

pravna osoba za upravljanje vodama
ZAGREB, Ulica grada Vukovara 220

Centrala: 01/ 63 07-333
Telefax: 01/ 61 55 910

PROJEKTNI ZADATAK

PROJEKT DANUBE SEDIMENT - OKVIRNA PROCJENA SEDIMENTA RIJEKE DUNAV I VEĆIH PRITOKA

Zagreb

listopad, 2017.

1 UVOD

Nanos je integralni, prirodni dio akvatičnih sustava, bitan u odvijanju hidroloških, geomorfoloških i ekoloških procesa. Morfodinamički status prirodnih vodotoka očituje se u ravnoteži ulaznih i izlaznih količina nanosa, no ta je ravnoteža bitno narušena djelovanjem čovjeka u vidu brojnih zahvata u slivu ili na samom vodotoku koji utječu na količinu i transport nanosa. Posljedice toga su mnogostruke, a najčešće se očituju u degradaciji kakvoće vode i staništa, povećanom riziku od poplava i sl. Unapređenje spoznaja o nanosu i relevantnim procesima (taloženje, transport i eksploatacija nanosa) nužno je za postizanje održivog upravljanja nanosom koje je posljednjih godine u sve većem fokusu.

Na slivu rijeke Dunav sve su veće razlike u taloženju nanosa (npr. sedimentacija u akumulacijama) i ispiranju (erozija riječnog korita te obalna erozija) nanosa. Posljedica toga je povećani rizik od poplava, smanjenje mogućnosti plovidbe i proizvodnje električne energije na hidroelektranama, narušavanje ekoloških uvjeta na Dunavu te snižavanje razine podzemnih voda. Nedostatak koordiniranog transnacionalnog upravljanja nanosom prepoznat je u Planovima upravljanja slivom rijeke Dunav. Jasno je da transport nanosa duž rijeke Dunav ima neposredan utjecaj na aktivnosti upravljanja vodama i na rizik od poplava te postoji velika potreba za dodatnim istraživanjem i produblivanjem znanja, a sve sa ciljem poboljšanja upravljanja nanosom što direktno doprinosi jačanju transnacionalnog upravljanja vodama i prevencije rizika od poplava. U sklopu međunarodnog projekta „*Upravljanje dunavskim nanosom – Obnova bilance nanosa u Dunavu*“ (Danube Sediment Management – Restoration of the Sediment Balance in the Danube River; Interreg DanubeTransnational Programme) izradit će se prve transnacionalne Smjernice za upravljanje nanosom na slivu rijeke Dunav, projekt će pružiti konkretne preporuke, objašnjavajući kakve se mjere moraju primijeniti, da bi došlo do poboljšanja upravljanja nanosom, u trećem Planu upravljanja slivom rijeke Dunav kao i u drugom Planu upravljanja rizikom od poplava na slivu rijeke Dunav. Na ovaj način, osigurat će se održivost rezultata ovog projekta. Također će u sklopu projekta Danube Sediment biti napravljen Priručnik o nanosu za dionike koji će pojasniti kako implementirati mjere koje su navedene u smjernicama te će također predstaviti dobru praksu za upravljanje nanosom.

2 OSNOVNI PODACI

Predmet ovog projektnog zadatka je izrada studije koja će obuhvatiti četiri cjeline i shodno tome će se odvijati u četiri faze: prikupljanje, ocjena i analiza postojećih podataka o nanosu,

izrada bilance nanosa, analiza učinaka i mjera te, na temelju svega navedenog, prijedlog smjernica za upravljanje nanosom odnosno formulacija prijedloga smjernica za izradu dva dokumenta: smjernice za izradu Vodiča upravljanja nanosom na rijeci Dunav te smjernice za izradu Priručnika o nanosu za dionike. Područje istraživanja obuhvaća rijeke Dunav, Dravu i Savu u Republici Hrvatskoj.

Prikupljanje svih potrebnih podataka vezanih za problematiku nanosa prva je i početna faza izrade studije. Pružit će neophodne informacije za analizu podataka o nanosu te će poslužiti i za davanje smjernica za dobre metode praćenja nanosa na analiziranim vodotocima. Bilanca nanosa provest će se u drugoj fazi studije te će kvantificirati pojedine komponente bilance i biti temelj za iznalaženje objašnjenja za probleme koji nastaju zbog poremećaja u bilanci nanosa koji negativno utječu na rizik od poplava, unutarnju plovidbu, ekologiju i proizvodnju energije na hidroelektranama. Mogući odgovori na te probleme bit će navedeni u trećoj fazi studije u sklopu analize utjecaja i prijedloge praktičnih mjera i preporuka za poboljšanje režima nanosa. Na analizama i ocjenama provedenim kroz sve tri faze studije temeljit će se posljednja, četvrta faza studije, a riječ je o izradi prijedloga i smjernica za poboljšanje upravljanja nanosom na području dunavskog sliva u Republici Hrvatskoj. Studija će, dakle, dati hrvatske prijedloge međunarodnom projektu Danube Sediment za rijeku Dunav i to kao partnerski doprinos za izradu Vodiča upravljanja nanosom i Priručnika o nanosu za dionike.

3 CILJ PROJEKTA

Osnovni cilj projekta je izrada studije koja će dati cjeloviti pregled i analizu postojećih podataka o nanosu za rijeke Dunav, Dravu i Savu na području Hrvatske. U studiji će se dati smjernice za upravljanje nanosom i za priručnik o nanosu za dionike kao hrvatski doprinos izradi međunarodnog projekta Danube Sediment.

Specifični ciljevi koje Studija treba ispuniti su sljedeći:

1. Unapređenje spoznaja o količini nanosa i problemima koji iz toga proizlaze;
2. Razvoj inovativnog pristupa upravljanju nanosom;
3. Jačanje međuinstitucionalne suradnje u upravljanju nanosom.

4 OPSEG I ZADACI PROJEKTA

U okviru ove Studije potrebno je za rijeke Dunav, Dravu i Savu izraditi sljedeće:

I. PRIKUPLJANJE, ANALIZA I OCJENA POSTOJEĆIH PODATAKA O NANOSU

U sklopu studije prvenstveno treba provesti *detaljno prikupljanje postojećih podataka* i informacija o analiziranom području i nanosu te dati *pregled primjenjivanih metoda monitoringa*. U ovoj fazi, zadatak treba obuhvatiti sljedeće:

- pregled do sad provedenih studija o pronosu nanosa za analizirane rijeke u Republici Hrvatskoj;
- pregled primjenjivanih metoda monitoringa (metode koje su se koristile u prošlosti i suvremene metode);
- detaljno prikupljanje postojećih podataka o nanosu uz ocjenu njihove dostupnosti, analiza postojećih nizova u svrhu evidentiranja podataka koji nedostaju i, shodno tome, davanje preporuka za popunjavanje postojećih podatkovnih setova;
- sistematizacija i digitalizacija dostupnih arhivskih podataka o: mjerenjima sedimenta, poprečnim profilima, kartografskim prikazima korita rijeka, te njihovo unošenje u odgovarajuće numeričke i prostorne baze podataka prema formatima koje će tijekom projekta definirati Naručitelj i koje omogućuju daljnju analizu podataka;
- u slučaju većih praznina u podatkovnim setovima, treba provesti modeliranje na kraćim, ali bitnim dionicama kako bi se popunile te praznine;
- izvještaj o kvaliteti i količini postojećih podataka o nanosu.

Uz prostorne podatke o monitoringu treba u formi tablice priložiti podatke o tome što se mjeri – fini/grubi sediment, početak provođenja monitoringa, učestalost mjerenja, tko je proveo mjerenja, gdje su pohranjeni rezultati monitoringa itd. Kartografski prikaz prostornih podataka (vodotoci, geografska lokacija monitoringa) sastavni je dio ovog dijela studije.

Komparativna analiza ključna je u harmonizaciji prikupljenih podataka. U tom smislu treba usporediti podatke kako bi se naglasile eventualne različitosti u podacima o nanosu (nastale uslijed primjene različitih metoda mjerenja ili mjernih instrumenata i sl.).

Na temelju postojećih podataka i komparativne analize treba dati *kvalitativnu ocjenu karakteristika pronosa nanosa*. Riječ je o kvantitativnim podacima o pronosu nanosa kao što su pronos i specifični pronos nanosa (suspendiranog i vučenog), granulometrija nanosa (suspendiranog i vučenog), pokretanje nanosa, prostorno-vremenska varijabilnost, materijal dna (veličina zrna i njegova raspodjela) i geometrija korita.

Grafički prilozi:

- kartografski prikaz vodotoka, područja monitoringa i područja istraživanja,
- kartografski prikaz količine pronosa nanosa duž Dunava, Drave i Save u Republici Hrvatskoj te povijesne karte,
- grafovi geometrije korita, protoka, pronosa suspendiranog i vučenog nanosa, granulometrija suspendiranog i vučenog nanosa te granulometrija nanosa s dna.

II. BILANCA NANOSA

Ovaj je dio studije fokusiran na kvantifikaciju glavnih komponenti bilance nanosa duž rijeka Dunav, Drava i Sava u Republici Hrvatskoj, uzevši u obzir različite vremenske jedinice. U tu svrhu treba izraditi sljedeće:

- Analiza i grafički prikaz hidroloških i batimetrijskih podataka te podataka o jaružanju riječnog korita i drugih odlaganja nanosa s obzirom na količine pronosa nanosa za odabrane lokacije;
- Analiza karakteristika suspendiranog i vučenog riječnog nanosa, te nanosa s dna;
- Kvantitativna ocjena promjena u riječnom koritu/inundaciji u odnosu na pronos nanosa uključujući i promjene u fizičkim karakteristikama;
- Ocjena bilance nanosa za Dunav, Dravu i Savu: tekstualni i grafički prikaz primijenjenih metoda, sažetak ishoda bilance (izvor, pronos i redistribucija nanosa) s tekstualnim i grafičkim prikazima u formi grafova, karata;
- Dugoročni morfološki razvoj rijeke Dunav, Drave i Save u odnosu na bilancu nanosa tj. glavne komponente bilance uključujući i varijabilnost morfoloških obilježja, ključni rezultati povijesnog razvoja uzdužnog profila rijeke Dunav, Drave i Save s naglaskom na ljudske aktivnosti i njihov utjecaj te ocjena dugoročnog razvoja morfologije korita/inundacije (lateralne i uzdužne) u odnosu na promjene u bilanci nanosa.

Grafički prilozi:

- grafovi, slike i karte s prikazom rezultata kvantifikacije pronosa nanosa: koncentracije/protoci suspendiranog nanosa, fizičke karakteristike suspendiranog nanosa, vučenog nanosa i nanosa s dna,
- grafovi, slike i karte s prikazom rezultata ocjene glavnih komponenti bilance nanosa,

- grafovi, slike i karte s prikazom rezultata bilance nanosa: izvori, pronos i redistribucija nanosa,
- grafovi i karte s prikazom dugoročnog morfološkog razvoja riječnog toka u odnosu na glavne komponente bilance nanosa uključujući i varijabilnost morfoloških obilježja,
- grafovi i karte s prikazom ocjene dugoročnog razvoja morfologije korita/inundacije (lateralne i uzdužne) u odnosu na promjene u bilanci nanosa.

III. UČINCI I MJERE

Cilj ovog dijela studije je prikazati potencijalne mjere za uspostavu dinamičkog, održivog kontinuiteta nanosa u svrhu poboljšanja upravljanja sedimentom na rijekama Dunav, Drava i Sava. Na temelju prethodno opisanih zadataka treba revidirati ključne pokretače i učinke pritiska na količinu nanosa u Dunavu, Dravi i Savi te ocijeniti rizike vezane za režim nanosa (kontinuitet i količina). S tim u svezi treba opisati interakciju između režima nanosa i ključnih pokretača (kao što su energija vode, rizik od poplava, riječna ili unutarnja plovidba) te navesti značajne pritiske na pronos nanosa u Dunavu, Dravi i Savi. Rezultat značajnih pritiska i ocjene učinka će biti analiza rizika o kontinuitetu i količini nanosa u formi izvještaja o ocjeni rizika.

U sklopu ovog dijela studije treba dati prijedlog mjera i dobre prakse za poboljšanje režima nanosa u formi:

- kataloga mjera koji sadrži informacije o potencijalnim mjerama/rješenjima uključujući i njihovu učinkovitost i izvedivost;
- informativnog dokumenta o dobroj praksi koja se će razviti na temelju analize mjera za poboljšanje kontinuiteta nanosa na istraživanom području;
- izvještaja o održivim, praktičnim mjerama i preporukama za poboljšanje upravljanja nanosom na Dunavu radi ublažavanja učinaka značajnih pritiska;
- geo-prostornih podataka koji će pokazati teritorijalnu raspodjelu nanosa duž rijeke Dunav, Drave i Save.

IV. UPRAVLJANJE NANOSOM

Na temelju prethodno opisanih zadataka treba dati smjernice za upravljanje nanosom na hrvatskom dijelu sliva rijeke Dunav vodeći računa o četiri glavna tematska područja: energija vode, riječna ili unutarnja plovidba, upravljanje riječnim slivom (uključujući ekološki aspekt) i

upravljanje poplavnim rizicima. Treba izraditi matricu s detaljnim ključnim rezultatima monitoringa i pronosa nanosa te upravljanja nanosom.

Smjernice bi trebale biti relevantne i za druge sektore poput poljoprivrede, vodoopskrbe i jaružanja. Tako dane smjernice i preporuke služit će za izradu vodiča za upravljanje nanosom te opće preporuke za održivo upravljanje nanosom na rijeci Dunav, Dravi i Savi u Republici Hrvatskoj.

U konačnici, na temelju danih smjernica će biti dan prijedlog ostalim partnerima na projektu za izradu dva dokumenta predviđena međunarodnim projektom Danube Sediment za rijeku Dunav:

- smjernice za izradu Vodiča upravljanja sedimentom na rijeci Dunav koji će predstavljati priručnik o održivom upravljanju nanosom na rijeci Dunav u Republici Hrvatskoj, uključujući i podatke i tablice za donositelje odluka,
- smjernice za izradu Priručnika o sedimentu za dionike u Republici Hrvatskoj koji će se sastojati od različitih pristupa primjeni predloženih mjera.

5 SADRŽAJ STUDIJE

Studija mora obuhvatiti sve prethodno opisane faze provedenog istraživanja na rijekama Dunav, Drava i Sava u Republici Hrvatskoj s detaljno opisanim elementima i grafičkim priložima u formi slika, grafova i karata.

1. UVOD

2. PODACI O NANOSU ZA RIJEKE DUNAV, DRAVA I SAVA

2.1 Postojeći podaci o nanosu

2.1.1 Metode monitoringa nanosa

2.1.2 Prikaz postojećih podataka

2.1.3 Kvaliteta i kvantiteta podataka o nanosu

2.2 Usporedna analiza

2.2.1 Izvještaj o dobrim praksama monitoringa pronosa nanosa

2.2.2 Prijedlog za pragmatičnu kvantitativnu mrežu monitoringa nanosa i program, vezano za potrebe i ograničene raspoložive resurse

2.3 Ocjena podataka o nanosu

2.3.1 Analiza podataka

2.3.2 Kvantificirani pronos nanosa duž Dunava, Drave i Save

3 BILANCA NANOSA RIJEKE DUNAV TE RIJEKA DRAVE I SAVE

3.1 Analize podataka za bilancu nanosa

3.2 Kvantitativna ocjena promjene u riječnom koritu/inundaciji

3.3 Ocjena bilance nanosa za Dunav, Dravu i Savu

3.2.1 Metode i pristupi konačne ocjene glavnih komponenti bilance nanosa

3.2.2 Rezultat bilance nanosa: izvori, ponori i redistribucija nanosa

3.3 Dugoročni morfološki razvoj rijeke Dunav, Dravu i Savu u odnosu na bilancu nanosa

4 UČINCI I MJERE

4.1 Revizija ključnih pokretača i učinaka značajnih pritisaka na kvantitetu sedimenta za rijeku Dunav, Dravu i Savu

4.1.1. Izvještaj s opisom interakcija između režima nanosa i ključnih pokretača kao što su hidroenergija, rizik od poplava, plovidba

4.1.2. Izvještaj o značajnim pritiscima na pronos nanosa u rijeci Dunav, Drava i Sava

4.2 Ocjena rizika vezano za režim nanosa (kontinuitet i količina)

4.2.1. Rezultat značajnih pritisaka i ocjene učinka će biti analiza rizika o kontinuitetu i količini nanosa u obliku izvještaja o ocjeni rizika

4.3 Mjere i dobra praksa za poboljšanje režima nanosa

4.3.1. Katalog mjera s informacijama o potencijalnim mjerama/rješenjima uključujući i njihovu učinkovitost i izvedivost.

4.3.2. Informativni dokumenti o dobroj praksi koja će se razviti na temelju analize mjera za poboljšanje kontinuiteta sedimenta na područjima istraživanja

4.3.3. Izvještaj o održivim, praktičnim mjerama i preporukama za poboljšanje upravljanja nanosom na rijeci Dunav radi ublažavanja učinka značajnih pritisaka

5 UPRAVLJANJE NANOSOM

5.1. Sinteza rezultata po prethodnim fazama

5.1.1 Integracija prikupljanja podataka o nanosu, bilance nanosa rijeke Dunav, Drava i Sava te učinaka i mjera

5.1.2 Izvještaj o postojećem stanju

5.2 Smjernice za izradu Vodiča za upravljanje nanosom na rijeci Dunav u Republici Hrvatskoj

5.3 Smjernice za izradu Priručnika o sedimentu za dionike u Republici Hrvatskoj

6 RASPOLOŽIVE PODLOGE I DOKUMENTACIJA

Izvršitelju će za izradu zadatka na raspolaganju biti stavljena sva raspoloživa prethodna dokumentacija vezana uz tematiku predmetnog zadatka, a koja je u vlasništvu Naručitelja.

7 ROKOVI

Krajnji rok za dovršenje svih aktivnosti po ovome projektu je **12 mjeseci** od dana potpisa ugovora. Osim osiguranja krajnjeg roka, Izvršitelj je dužan osigurati završetak svake prethodno navedene faze po sljedećoj vremenskoj dinamici:

	Faza	Predvideni završetak od dana potpisa ugovora (u mjesecima)
1.	Prvo privremeno izvješće (prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka o nanosu)	3
2.	Drugo privremeno izvješće (bilanca nanosa)	7
3.	Treće privremeno izvješće (učinci i mjere)	8
4.	Četvrto privremeno izvješće (upravljanje nanosom)	9
5.	Nacrt konačne studije	10
6.	Primjedbe i komentari na Nacrt studije od strane Naručitelja	11
7.	Konačna studija	12

Sva Izvješća se dostavljaju ovlašteniku Hrvatskih voda zaduženom za praćenje realizacije zadatka koji je obvezan u roku od 15 dana dostaviti Izvršitelju eventualne primjedbe ili komentare u pisanom obliku, a za izradu Nacrta konačne studije u roku od 30 dana.

8 OSTALI UVJETI

Tijekom izrade studije, Izvršitelj je dužan Naručitelju predati preliminarna izvješća za izvršeni dio naloga u skladu s vremenskom dinamikom koju odredi Naručitelj. Izvršitelj na zahtjev treba predati detaljno preliminarno izvješće i priložiti traženu dokumentaciju u tekstualnom obliku s grafičkim priložima. Izvršitelj se obvezuje u okviru ugovorenog iznosa izvršiti korekcije sukladno primjedbama Naručitelja. Ugovorene usluge smatrati će se u potpunosti izvršene nakon što izvršitelj preda naručitelju dorađenu Studiju.

Konačnu Studiju treba predati u 6 (šest) uvezenih primjeraka s priloženim CD-om na kojem moraju biti digitalni podaci u sljedećem obliku:

- Izvještaj u *.pdf* formatu (nezaključan) koji sadrži tekstualni i grafički dio formatiran kao u uvezenom primjeru;
- Tekstualni dio izvještaja predan kao word dokument (u *.doc* ili *.docx* formatu);
- Prostorni podaci predani u digitalnom obliku i georeferencirani u novi projekcijski koordinatni sustav HTRS96/TM. Moraju biti u GIS formatu (*.shp* i ostalo) s pridruženim atributnim podacima (po potrebi, a ovisno o vrsti radova, Hrvatske vode će dati izvođaču *.xls* ili *.xlsx* tablicu s popisom traženih atributa);
- Grafički dio predan u digitalnom obliku (u odgovarajućim formatima za slike i grafove) sa svim podacima.

SADRŽAJ

Naslovnica

Potpisna stranica

Projektni zadatak

Sadržaj

1.	UVOD	1
2.	PODACI O NANOSU ZA RIJEKE DRAVA, SAVA I DUNAV	3
2.1	Prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka o nanosu na rijeci Dravi	3
2.1.1	<i>Opći podaci o području istraživanja</i>	4
2.1.2	<i>Hidrološke podloge - osnovni podaci, zapisi o hidrološkim stanicama, krivulje protoka i podaci o poprečnim presjecima u profilima hidroloških stanica na Dravi</i>	5
2.1.3	<i>Postojeći podaci o nanosu</i>	12
2.1.3-1	<i>Opća razmatranja o riječnom nanosu</i>	12
2.1.3-2	<i>Suspendirani nanos</i>	14
2.1.3-3	<i>Vučeni nanos</i>	18
2.1.4	<i>Podaci i informacije o eksploataciji riječnog nanosa iz dravskog korita</i>	21
2.2	Prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka o nanosu na rijeci Savi	24
2.2.1	<i>Opći podaci o području istraživanja</i>	24
2.2.2	<i>Hidrološke podloge - osnovni podaci, zapisi o hidrološkim stanicama, krivulje protoka i podaci o poprečnim presjecima u profilima hidroloških stanica na Savi</i>	26
2.2.3	<i>Postojeći podaci o nanosu</i>	34
2.2.3-1	<i>Opća razmatranja o riječnom nanosu</i>	34
2.2.3-2	<i>Suspendirani nanos</i>	34
2.2.3-3	<i>Vučeni nanos</i>	39
2.2.4	<i>Podaci i informacije o eksploataciji riječnog nanosa iz savskog korita</i>	41
2.3	Prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka o nanosu na rijeci Dunav	43
2.3.1	<i>Opći podaci o području istraživanja</i>	43
2.3.2	<i>Hidrološke podloge - osnovni podaci, zapisi o hidrološkim stanicama, krivulje protoka i podaci o poprečnim presjecima u profilima hidroloških stanica na Dunavu</i>	43
2.3.3	<i>Postojeći podaci o nanosu</i>	46
2.4	Ocjena podataka o nanosu	48
2.5	Povijesni kartografski prikazi	48
3.	BILANCA NANOSA RIJEKA DUNAV, DRAVA I SAVA	57
3.1	Analize podataka za bilancu nanosa na rijeci Dravi	57
3.1.1	<i>Morfološke promjene riječnog korita Drave na lokacijama hidroloških stanica</i>	57
3.1.2	<i>Analiza nizova minimalnih godišnjih vodostaja i protoka na hidrološkim stanicama na Dravi</i>	69

3.1.3	<i>Analiza vremenskih nizova podataka o mjerenju nanosa na hidrološkim stanicama na Dravi - svakodnevna mjerenja u jednoj točki presjeka i profilska mjerenja</i>	75
3.2	Analize podataka za bilancu nanosa na rijeci Savi	91
3.2.1	<i>Morfološke promjene riječnog korita Save na lokacijama hidroloških stanica</i>	91
3.2.2	<i>Analiza nizova minimalnih godišnjih vodostaja i protoka na hidrološkim stanicama na Savi</i>	101
3.2.3	<i>Analiza vremenskih nizova podataka o mjerenju nanosa na hidrološkim stanicama na Savi - svakodnevna mjerenja u jednoj točki presjeka i profilska mjerenja</i>	104
3.3	Analize podataka za bilancu nanosa na Dunavu	124
3.3.1	<i>Morfološke promjene riječnog korita Dunava na lokacijama hidroloških stanica</i>	124
3.3.2	<i>Analiza nizova minimalnih i srednjih godišnjih vodostaja i protoka na hidrološkim stanicama na Dunavu</i>	131
3.3.3	<i>Raspoloživi podaci o mjerenju nanosa</i>	135
3.4	Ocjena bilance nanosa za Dunav, Dravu i Savu	136
3.4.1	<i>Metode i pristupi konačne ocjene glavnih komponenti bilance nanosa</i>	136
3.4.2	<i>Rezultat bilance nanosa na Dravi i Savi</i>	137
3.5	Zaključna razmatranja i morfološki razvoj rijeke Dunav, Drava i Sava u odnosu na bilancu nanosa	142
3.5.1	<i>Morfološki razvoj rijeke Drave u odnosu na bilancu nanosa</i>	142
3.5.2	<i>Morfološki razvoj rijeke Save u odnosu na bilancu nanosa</i>	144
3.5.3	<i>Morfološki razvoj rijeke Dunav u odnosu na bilancu nanosa</i>	146
4.	UČINCI I MJERE	147
4.1	Revizija ključnih pokretača i značajnih pritisaka na kvantitetu sedimenta za rijeku Dunav, Dravu i Savu	147
4.1.1	<i>Interakcija između režima nanosa i ključnih pokretača</i>	147
4.1.2	<i>Značajni pritisci na pronos nanosa u rijeci Dunav, Drava i Sava</i>	151
4.2	Ocjena rizika vezano za kontinuitet i količine nanosa	166
4.3	Mjere i dobra praksa za poboljšanje režima nanosa	173
4.3.1	<i>Katalog mjera i rješenja s informacijama o potencijalnim mjerama/rješenjima uključujući njihovu učinkovitost i izvedivost</i>	174
5.	UPRAVLJANJE NANOSOM	182
5.1	Sinteza rezultata po prethodnim fazama	182
5.1.1	<i>Integracija prikupljanja podataka o nanosu</i>	182
5.1.2	<i>Izvještaj o postojećem stanju</i>	183
5.2	Smjernice za izradu Vodiča za upravljanje nanosom na rijeci Dunav u Republici Hrvatskoj	184
5.3	Smjernice za izradu Priručnika o nanosu na rijeci Dunav u Republici Hrvatskoj za dionike	188
	KORIŠTENA DOKUMENTACIJA I LITERATURA	197

Popis slika u tekstu

Slika 2.1-1:	Prikaz lokacija hidroloških stanica na razmatranoj dionici rijeke Drave	7
Slika 2.1-2:	Grafički prikaz teorijske granice vučenog i suspendiranog nanosa po Kresseru	13
Slika 2.1-3:	Grafički prikaz ukupnih godišnjih pronosa vučenog nanosa na Dravi u Hrvatskoj dobivenih na osnovi regresijskih zavisnosti i srednjih dnevnih protoka (preuzeto iz lit. 72)	20
Slika 2.2-1:	Prikaz razmatranih lokacija hidroloških stanica na rijeci Savi	27
Slika 2.2-2:	Godišnji pronos vučenog nanosa na h. s. Podsused ž. (1968. – 1986.), preuzet iz (lit. 75)	40
Slika 2.3-1:	Prikaz lokacija razmatranih hidroloških stanica na rijeci Dunav	44
Slika 2.5-1:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa tokovima Save, Drave i Dunava	48
Slika 2.5-2:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od slovenske granice do Hrušćice	49
Slika 2.5-3:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Hrušćice do Dubrovčaka Lijevo	49
Slika 2.5-4:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Dubrovčaka Lijevo do Gušća	49
Slika 2.5-5:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Gušća do Jasenovca	50
Slika 2.5-6:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Jasenovca do Mačkovca	50
Slika 2.5-7:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Mačkovca do Slavanskog Kobaša	50
Slika 2.5-8:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Slavanskog Kobaša do Oprisavaca	51
Slika 2.5-9:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Oprisavaca do Županje	51
Slika 2.5-10:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Županje do Gunje	51
Slika 2.5-11:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Gunje do ušća Bosuta	52
Slika 2.5-12:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Drave od slovenske granice do akumulacijskog jezera HE Dubrava	52
Slika 2.5-13:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Drave od akumulacijskog jezera HE Dubrava do Novačke	52
Slika 2.5-14:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Drave od Novačke do Terezinog Polja	53
Slika 2.5-15:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Drave od Terezinog Polja do Noskovaca	53
Slika 2.5-16:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Drave – Noskovci – Podravski Podgajci	53
Slika 2.5-17:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Drave – Podravski Podgajci-Osijek	54
Slika 2.5-18:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Drave od Osijeka do ušća u Dunav i dionice Dunava od ušća Drave do Vukovara	54
Slika 2.5-19:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Dunava od mađarske granice do ušća Drave	54
Slika 2.5-20:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Dunava ušća Drave do Vukovara	55
Slika 2.5-21:	Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Dunava od Vukovara do Iloka	55
Slika 2.5-22:	Prikaz današnje i povijesne karte na istom prikazu dijela toka Save uzvodno od Zagreba	56

Slika 3.1-1:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Varaždin	58
Slika 3.1-2:	Protočne krivulje za h. s. Varaždin	59
Slika 3.1-3:	Poprečni presjeci korita na lokaciji stare h. s. Botovo	60
Slika 3.1-4:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Botovo	60
Slika 3.1-5:	Protočne krivulje za h. s. Botovo za razdoblje 1961-1990. godine	61
Slika 3.1-6:	Protočne krivulje za h. s. Botovo za razdoblje 1991-2016. godine	61
Slika 3.1-7:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Novo Virje Skela	62
Slika 3.1-8:	Protočne krivulje za h. s. Novo Virje Skela za razdoblje 1977-1990. godine	63
Slika 3.1-9:	Protočne krivulje za h. s. Novo Virje Skela za razdoblje 1991-2017. godine	63
Slika 3.1-10:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Terezino Polje	64
Slika 3.1-11:	Protočne krivulje za h. s. Terezino Polje za razdoblje 1961-1990. godine	65
Slika 3.1-12:	Protočne krivulje za h. s. Terezino Polje za razdoblje 1991-2017. godine	65
Slika 3.1-13:	Poprečni presjeci korita na staroj lokaciji h. s. Donji Miholjac	66
Slika 3.1-14:	Poprečni presjeci korita na novoj lokaciji h. s. Donji Miholjac c.s.	67
Slika 3.1-15:	Protočne krivulje za h. s. Donji Miholjac za razdoblje 1926-1992. godine	67
Slika 3.1-16:	Protočne krivulje za h. s. Donji Miholjac c.s. za razdoblje 1993-2017. godine	68
Slika 3.1-17:	Minimalni godišnji vodostaji i protoci na hidrološkim stanicama na Dravi u razdoblju 1926-2016. godina	71
Slika 3.1-18:	Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Novo Virje Skela na Dravi u razdoblju 1977-2016. godina	72
Slika 3.1-19:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Varaždin na Dravi s ucrtanim prosječnim vrijednostima ukupnog pronosa nanosa po razdobljima vezano za početak rada HE Varaždin	76
Slika 3.1-20:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Botovo na Dravi s ucrtanim prosječnim vrijednostima ukupnog pronosa nanosa po razdobljima vezano za početak rada uzvodnih hidroelektrana na Dravi	76
Slika 3.1-21:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Terezino Polje na Dravi s ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razdoblje 1991-2016.	77
Slika 3.1-22:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Donji Miholjac na Dravi s ucrtanim prosječnim vrijednostima ukupnog pronosa nanosa po razdobljima vezano za početak rada uzvodnih hidroelektrana na Dravi	77
Slika 3.1-23:	Srednja godišnja koncentracija suspendiranog nanosa i srednji godišnji protok s iskazanim trendom na h. s. Varaždin na Dravi	78
Slika 3.1-24:	Srednja godišnja koncentracija suspendiranog nanosa i srednji godišnji protok s iskazanim trendom na h. s. Botovo na Dravi	79
Slika 3.1-25:	Srednja godišnja koncentracija suspendiranog nanosa i srednji godišnji protok s iskazanim trendom na h. s. Donji Miholjac na Dravi	79
Slika 3.1-26:	Srednja godišnja koncentracija suspendiranog nanosa i srednji godišnji protok s iskazanim trendom na h. s. Terezino Polje na Dravi	79
Slika 3.1-27:	Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Drave u profilu Botovo	81
Slika 3.1-28:	Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Drave u profilu Botovo	81
Slika 3.1-29:	Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Drave u profilu Terezino Polje	82
Slika 3.1-30:	Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Drave u profilu Terezino Polje	83
Slika 3.1-31:	Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Drave u profilu Donji Miholjac	84
Slika 3.1-32:	Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Drave u profilu Donji Miholjac	84
Slika 3.1-33:	Definirani korelacijski odnos između srednje profilске i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Drave u profilu Botovo	85
Slika 3.1-34:	Definirani korelacijski odnos između srednje profilске i površinske	

	koncentracije suspendiranog nanosa Drave u profilu Terezino Polje	86
Slika 3.1-35:	Definirani korelacijski odnos između srednje profilske i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Drave u profilu Donji Miholjac	87
Slika 3.1-36:	Granulometrijske krivulje nanosa sa dna na kanalu HE u profilu Hrženica iz 2014. godine	88
Slika 3.1-37:	Granulometrijske krivulje nanosa sa dna na Dravi u profilu Botovo iz 2014. godine	88
Slika 3.1-38:	Granulometrijske krivulje nanosa sa dna na Dravi u profilu Terezino Polje iz 2014. godine	89
Slika 3.1-39:	Granulometrijske krivulje nanosa sa dna na Dravi u profilu Donji Miholjac iz 2014. godine	89
Slika 3.2-1:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Podsused žičara u razdoblju 1953-1967.	92
Slika 3.2-2:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Podsused žičara u razdoblju 1969-2014.	92
Slika 3.2-3:	Protočne krivulje za h. s. Podsused žičara za razdoblje 1949-1990. godine	93
Slika 3.2-4:	Protočne krivulje za h. s. Podsused žičara za razdoblje 1991-2017. godine	93
Slika 3.2-5:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Rugvica u razdoblju 2000-2014.	94
Slika 3.2-6:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Jasenovac u razdoblju 1999.-2014.	95
Slika 3.2-7:	Protočne krivulje za h. s. Jasenovac za razdoblje 1926-1991. godine	96
Slika 3.2-8:	Protočne krivulje za h. s. Jasenovac za razdoblje 1996-2017. godine	96
Slika 3.2-9:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Stara Gradiška u razdoblju 2008.-2015.	97
Slika 3.2-10:	Protočne krivulje za h. s. Stara Gradiška za razdoblje 1937-1990. godine	98
Slika 3.2-11:	Protočne krivulje za h. s. Stara Gradiška za razdoblje 1990-2017. godine	98
Slika 3.2-12:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Slavonski Brod u razdoblju 1983.-2010.	99
Slika 3.2-13:	Protočne krivulje za h. s. Slavonski Brod za razdoblje 1926-1989. godine	100
Slika 3.2-14:	Protočne krivulje za h. s. Slavonski Brod za razdoblje 1990-2018. godine	100
Slika 3.2-15:	Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Podsused žičara na Savi	102
Slika 3.2-16:	Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Rugvica na Savi	103
Slika 3.2-17:	Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Jasenovac na Savi	103
Slika 3.2-18:	Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Stara Gradiška na Savi	103
Slika 3.2-19:	Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Slavonski Brod na Savi	103
Slika 3.2-20:	Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Podsused žičara s iskazanim trendom	105
Slika 3.2-21:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa u Podsusedu s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje	105
Slika 3.2-22:	Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Rugvica s iskazanim trendom	106
Slika 3.2-23:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa u Rugvici s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje	106
Slika 3.2-24:	Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Jasenovac	107
Slika 3.2-25:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa u Jasenovcu za razmatrano razdoblje	107
Slika 3.2-26:	Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Slavonski Brod s iskazanim trendom	108
Slika 3.2-27:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Slavonski Brod s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje	109
Slika 3.2-28:	Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Stara Gradiška s iskazanim trendom	109

Slika 3.2-29:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Stara Gradiška s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje	110
Slika 3.2-30:	Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Save u profilu Podsused žičara	112
Slika 3.2-31:	Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Save u profilu Podsused žičara	112
Slika 3.2-32:	Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Save u profilu Rugvica	113
Slika 3.2-33:	Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Save u profilu Rugvica	114
Slika 3.2-34:	Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Save u profilu Jasenovac	115
Slika 3.2-35:	Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Save u profilu Jasenovac	115
Slika 3.2-36:	Definirani korelacijski odnos između srednje profilске i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Save u profilu Podsused	116
Slika 3.2-37:	Definirani korelacijski odnos između srednje profilске i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Save u profilu Rugvica	117
Slika 3.2-38:	Definirani korelacijski odnos između srednje profilске i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Save u profilu Jasenovac	118
Slika 3.2-39:	Granulometrijske krivulje suspendiranog nanosa u Podsusedu	119
Slika 3.2-40:	Granulometrijske krivulje suspendiranog nanosa u Rugvici	120
Slika 3.2-41:	Granulometrijske krivulje suspendiranog nanosa u Jasenovcu	121
Slika 3.2-42:	Granulometrijske krivulje nanosa sa dna u Rugvici	122
Slika 3.2-43:	Granulometrijske krivulje nanosa sa dna u Jasenovcu	123
Slika 3.3-1:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Batina za 2010. i 2015. godinu	125
Slika 3.3-2:	Protočne krivulje za h. s. Batina u razdoblju 2006.-2017. godine	125
Slika 3.3-3:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Aljmaš za 2010. i 2014. godinu	126
Slika 3.3-4:	Protočne krivulje za h. s. Aljmaš u razdoblju 2006.-2017. godine	126
Slika 3.3-5:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Dalj za razdoblje 2010. do 2015. godine	127
Slika 3.3-6:	Protočne krivulje za h. s. Dalj u razdoblju 2007.-2017. godine	127
Slika 3.3-7:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Vukovar za 2010. i 2014.	128
Slika 3.3-8:	Protočne krivulje za h. s. Vukovar u razdoblju 2009.-2017. godine	128
Slika 3.3-9:	Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Ilok za razdoblje 2010. do 2015. godine	129
Slika 3.3-10:	Protočne krivulje za h. s. Ilok u razdoblju 2007.-2017. godine	129
Slika 3.3-11:	Nizovi minimalnih godišnjih vodostaja na hidrološkim stanicama duž rijeke Dunav	132
Slika 3.3-12:	Nizovi srednjih godišnjih vodostaja na hidrološkim stanicama duž rijeke Dunav	133
Slika 3.3-13:	Nizovi minimalnih godišnjih protoka na hidrološkim stanicama duž rijeke Dunav	134
Slika 3.3-14:	Nizovi srednjih godišnjih protoka na hidrološkim stanicama duž rijeke Dunav	134
Slika 4.1-1:	Prikaz dionika na riječnom slivu vezano za režim nanosa	150
Slika 4.1-2-:	Praćenje širine i dubine plovnog puta na Dunavu od strane Agencije za vodne puteve	153
Slika 4.1.2-3:	Presječeni stari meandri nakon izgradnje hidroelektrana na Dravi	159
Slika 4.1.2-4:	Izmjenjeno ušće pritoke u Dravu nakon izgradnje akumulacije HE Dubrava	159
Slika 4.1.2-5:	Rezultati analize zapunjavanja nanosom akumulacijskog jezera HE Varaždin	160
Slika 4.1.2-6:	Pogled na područje repa akumulacijskog jezera HE Varaždin sa desnog uspornog nasipa u kolovozu 2009.	161
Slika 4.2-1:	Povijesne promjene u obliku korita Drave od Osijeka do ušća u Dunav	168
Slika 4.2-7:	Prikaz ukupne količine pronosa nanosa od Radovljice do ušća u Dunav (izvor: Priručnik: Međunarodna komisija za rijeku Savu)	172

Slika 4.3.-1:	Shematski prikaz kritične analize i prijedloga mjera i rješenja	173
Slika 5.3-2:	Sediment na desnoj obali Dunava nizvodno od Batine za vrijeme malih voda (snimljeno 22.11.18.)	196

Popis tablica u tekstu:

Tablica 2.1-1:	Osnovni podaci o hidrološkim stanicama na rijeci Dravi (podaci su preuzeti od DHMZ-a i odnose se na današnje stanje mjerenja)	6
Tablica 2.1-3:	Pregled mjernih mjesta za mjerenje koncentracije i pronosa suspendiranog nanosa na Dravi u Hrvatskoj	17
Tablica 2.1-4:	Pregled mjernih mjesta za mjerenje pronosa vučenog nanosa na Dravi u Hrvatskoj, preuzeto iz lit. 72	20
Tablica 2.1-5:	Tablični prikaz podataka o izvađenim količinama šljunka i pijeska iz Dravskog korita (m ³) (preuzeto iz lit. 74)	23
Tablica 2.2-1:	Osnovni podaci o razmatranim hidrološkim stanicama na rijeci Savi (podaci su preuzeti od DHMZ-a i odnose se na današnje stanje)	26
Tablica 2.2-2:	Prikaz u HIS-u raspoloživih podataka o vodostaju i protoku na razmatranim hidrološkim stanicama na Savi	33
Tablica 2.2-3:	Pregled mjernih mjesta za mjerenje koncentracije i pronosa suspendiranog nanosa na Savi u Hrvatskoj	39
Tablica 2.2-4:	Tablični prikaz lokacija za eksploataciju šljunka preuzet iz elaborata „Eksploatacija šljunka na potezu od Rugvice do Jesenica na Dolenjskem“, VRO za vodno područje sliva Save, OOUR „Vodoprivreda Zagreb“, Zagreb, 1985.	42
Tablica 2.3-1:	Osnovni podaci o hidrološkim stanicama na rijeci Dunav (podaci su preuzeti od DHMZ-a i odnose se na današnje stanje)	43
Tablica 3.1-1:	Pregled karakterističnih godišnjih vodostaja Drave na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 1926-2016. godina, iskazani u relativnim visinama (cm)	69
Tablica 3.1-2:	Pregled karakterističnih godišnjih protoka Drave na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 1926-2016. godina	70
Tablica 3.2-1:	Pregled karakterističnih godišnjih vodostaja Save na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 1926-2016. godina, dani u relativnim visinama (cm)	101
Tablica 3.2-2:	Pregled karakterističnih godišnjih protoka Save na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 1926-2016. godina	102
Tablica 3.3-1:	Pregled karakterističnih godišnjih vodostaja Dunava na analiziranim hidrološkim postajama	131
Tablica 3.3-2:	Pregled karakterističnih godišnjih protoka Dunava na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 2006.-2016. godina	132
Tablica 3.4-1:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa za razmatrane profile na Dravi u raspoloživom razdoblju obrade 1960-2016 godine.	138
Tablica 3.4-2:	Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa za razmatrane profile na Savi u raspoloživom razdoblju obrade 1960-2016 godine.	140
Tablica 5.2-1:	Ključne smjernice za izradu vodiča za upravljanje nanosom na Dunavu u RH	187
Tablica 5.3.1:	Prijedlog lokacija za monitoring nanosa na rijekama Dunav, Drava i Sava	190

Popis kartografskih priloga:

- Prilog 1: Situacija područja monitoringa nanosa na Dravi, Savi i Dunavu u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 2: Kartografski prikaz količina pronosa suspendiranog nanosa duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 3: Kartografski prikaz koncentracije suspendiranog nanosa duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 4: Kartografski prikaz fizičkih karakteristika nanosa duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 5: Kartografski prikaz bilance nanosa duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 6: Kartografski prikaz morfoloških značajki duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 7: Kartografski prikaz količina pronosa suspendiranog nanosa duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 8: Kartografski prikaz koncentracije suspendiranog nanosa duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 9: Kartografski prikaz fizičkih karakteristika nanosa duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 10: Kartografski prikaz bilance nanosa duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 11: Kartografski prikaz morfoloških značajki duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 12: Kartografski prikaz morfoloških značajki duž rijeke Dunav u Republici Hrvatskoj*

Prilozi na CD-u: PRILOZI TEKSTU DANI U .XLS FORMATU

Prilog poglavlju 2.1 - podaci na Dravi:

Prilog poglavlju 2.1.2-1 Tablični iskazi karakterističnih mjesečnih i godišnjih vodostaja i odgovarajući protoci Drave:

H_ISKAZI Drava.xls

Q_ISKAZI Drava.xls

Prilog poglavlju 2.1.2-2 Grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka

VARAZDIN_Qh.xls

BOTOVO_Qh.xls

NOVO VIRJE SKELA_Qh.xls

TEREZINO POLJE_Qh.xls

Donji Miholjac_Qh.xls

Prilog poglavlju 2.1.2-3 Tablični i grafički prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dravi.

Varazdin profili.xls

D Dubrava profili.xls

Botovo profili.xls

N Virje profili.xls

Terezino P profili.xls

Donji M profili.xls

Prilog poglavlju 2.1.3. Podaci o provedenim mjernjima nanosa na rijeci Dunav i analizama granulometrijskih krivulja

granulometrijske_suspendirani_Drava.xls

granulometrijske_nanos s dna_Botovo.xls

granulometrijske_nanos s dna_Drava.xls

granulometrijske_nanos s dna_Hrzenica.xls

granulometrijske_nanos s dna_N.V.xls

granulometrijske_nanos s dna_Terezino P.xls

granulometrijske_vuceni_Drava.xls

PROFILSKO MJERENJE SUSPENDIRANOG NANOSA NA DRAVI.xls

SUSPENDIRANI NANOS-KONCENTRACIJA_Drava.xls

SUSPENDIRANI NANOS-PRONOS_Drava.xls

Prilog poglavlju 2.2 - podaci na Savi:

Prilog poglavlju 2.2.2-1 Tablični iskazi karakterističnih mjesečnih i godišnjih vodostaja i odgovarajući protoci Save

H_ISKAZI Sava.xls

Q_ISKAZI_Sava.xls

Prilog poglavlju 2.2.2-2 Grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka

Podsused_Qh.xls

Jasenovac_Qh.xls
S Gradiska_Qh.xls
Slavonski B_Qh.xls

Prilog poglavlju 2.2.2-3 Tablični i grafički prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Savi

Podsused profili.xls
Rugvica profili.xls
Jasenovac profili.xls

Prilog poglavlju 2.2.3. Podaci o provedenim mjernjima nanosa na rijeci Savi i analizama granulometrijskih krivulja

gr_kr_nanos_sa_dna_Sava.xls
gr_kr_suspen_nanos_Jasenovac.xls
gr_kr_suspen_nanos_Sava_Podsused.xls
gr_kr_suspen_nanos_Sava_Rugvica.xls
gr_kr_suspendirani_nanos_S Gradiska.xls
gr_kr_vuceni_nanos_Sava_Podsused.xls
PROFILSKO MJERENJE SUSPENDIRANOG NANOSA NA SAVI.xls
SUSPENDIRANI NANOS-KONCENTRACIJA_Sava.xls
SUSPENDIRANI NANOS-PRONOS_Sava.xls

Prilog poglavlju 2.3 - podaci na Dunavu:

Prilog poglavlju 2.3.2-1 Tablični iskazi karakterističnih mjesečnih i godišnjih vodostaja i odgovarajući protoci Dunava

H_ISKAZI Dunav.xls
Q_ISKAZI Dunav.xls

Prilog poglavlju 2.3.2-2 Grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka

Batina_QH.xls
Aljmas_QH.xls
Dalj_QH.xls
Vukovar_QH.xls
Ilok_QH.xls

Prilog poglavlju 2.3.2-3 Tablični i grafički prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dunavu

Batina profili.xls
Aljmaš profili.xls
Dalj profili.xls
Vukovar profili.xls
Ilok profili.xls

Prilog poglavlju 2.3.3. Podaci o provedenim mjernjima nanosa na rijeci Dunav i analizama granulometrijskih krivulja

granulometrijske_suspendirani_Dalj.xls
granulometrijske_nanos_s dna_Dalj.xls
PROFILSKO MJERENJE SUSPENDIRANOG NANOSA NA DUNAVU.xls

1. UVOD

Na temelju ugovora br KLASA: 325-01/17-10/176, URBROJ: 374-1-2-17-10 (Hrvatske vode), 6/96-5/18 (IE), od 21.02.2018., Hrvatske vode povjerile su Institutu za elektroprivredu d.d.d iz Zagreba izradu studije **Okvirna procjena sedimenta rijeke Dunav i većih pritoka**.

Transport riječnog nanosa je vitalna komponenta prirodnog hidromorfološkog režima svakog otvorenog vodotoka. Međutim, uslijed antropogenih utjecaja kod većine europskih rijeka prirodni procesi u transportu nanosa su znatno izmijenjeni, ponekad uz značajne posljedice za stabilnost rijeka i obala, uz znatno smanjenu funkcionalnost izgrađenih hidrotehničkih objekata. Posljedice toga su mnogostruke, a najčešće se očituju u degradaciji kakvoće vode i staništa, povećanom riziku od poplava i sl. Unapređenje spoznaja o nanosu i relevantnim procesima (taloženje, transport i eksploatacija nanosa) nužno je za postizanje održivog upravljanja nanosom koje je posljednjih godina u sve većem fokusu.

Nanos je integralni, prirodni dio akvatičnih sustava, bitan u odvijanju hidroloških, geomorfoloških i ekoloških procesa. Morfodinamički status prirodnih vodotoka očituje se u ravnoteži ulaznih i izlaznih količina nanosa, no ta je ravnoteža bitno narušena djelovanjem čovjeka u vidu brojnih zahvata u slivu ili na samom vodotoku koji utječu na količinu i transport nanosa.

Na slivu rijeke Dunav sve su veće razlike u taloženju nanosa (npr. sedimentacija u akumulacijama) i ispiranju (erozija riječnog korita te obalna erozija) nanosa. Posljedica toga je povećani rizik od poplava, smanjenje mogućnosti plovidbe i proizvodnje električne energije na hidroelektranama, narušavanje ekoloških uvjeta na Dunavu te snižavanje razine podzemnih voda. Nedostatak koordiniranog transnacionalnog upravljanja nanosom prepoznat je u Planovima upravljanja slivom rijeke Dunav. Jasno je da transport nanosa duž rijeke Dunav ima neposredan utjecaj na aktivnosti upravljanja vodama i na rizik od poplava te postoji velika potreba za dodatnim istraživanjem i produbljivanjem znanja, a sve sa ciljem poboljšanja upravljanja nanosom što direktno doprinosi jačanju transnacionalnog upravljanja vodama i prevencije rizika od poplava.

U sklopu međunarodnog projekta „Upravljanje dunavskim nanosom - Obnova bilance nanosa u Dunavu" (Danube Sediment Management - Restoration of the Sediment Balance in the Danube River; Interreg Danube Transnational Programme) izradit će se prve transnacionalne Smjernice za upravljanje nanosom na slivu rijeke Dunav, projekt će pružiti konkretne preporuke, objašnjavajući kakve se mjere moraju primijeniti, da bi došlo do poboljšanja upravljanja nanosom, u trećem Planu upravljanja slivom rijeke Dunav kao i u drugom Planu upravljanja rizikom od poplava na slivu rijeke Dunav. Na ovaj način, osigurat će se održivost rezultata ovog projekta. U sklopu projekta Danube Sediment biti će napravljen Priručnik o nanosu za dionike koji će pojasniti kako implementirati mjere koje su navedene u smjernicama te će također predstaviti dobru praksu za upravljanje nanosom.

Predmet ovog projektnog zadatka je izrada Studije koja obuhvaća četiri cjeline: prikupljanje, ocjena i analiza postojećih podataka o nanosu, izrada bilance nanosa, analiza učinaka i mjera te, na temelju svega navedenog, prijedlog smjernica za upravljanje nanosom

odnosno formulacija prijedloga smjernica za izradu dva dokumenta: smjernice za izradu Vodiča upravljanja nanosom na rijeci Dunav te smjernice za izradu Priručnika o nanosu za dionike.

Područje istraživanja obuhvaća rijeke Dunav, Dravu i Savu u Republici Hrvatskoj.

Prikupljanje svih potrebnih podataka vezanih za problematiku nanosa provedeno je i prikazano u poglavlju 2 ove Studije. Sadrži neophodne informacije za analizu podataka o nanosu te služi i za davanje smjernica za dobre metode praćenja nanosa na analiziranim vodotocima.

Bilanca nanosa provedena je i prikazana u poglavlju 3 studije i kvantificira pojedine komponente bilance nanosa. Ona je temelj za iznalaženje objašnjenja za probleme koji nastaju zbog poremećaja u bilanci nanosa koji negativno utječu na rizik od poplava, unutarnju plovidbu, ekologiju i proizvodnju energije na hidroelektranama.

Mogući odgovori na te probleme navedeni su u poglavlju 4 studije u sklopu analize utjecaja i prijedloge praktičnih mjera i preporuka za poboljšanje režima nanosa.

Na analizama i ocjenama provedenim kroz sve prethodno provedene korake studije temelji se posljednje poglavlje 5, a riječ je o izradi prijedloga i smjernica za poboljšanje upravljanja nanosom na području dunavskog sliva u Republici Hrvatskoj. Ova Studija će, dakle, dati hrvatske prijedloge međunarodnom projektu Danube Sediment za rijeku Dunav i to kao partnerski doprinos za izradu Vodiča upravljanja nanosom i Priručnika o nanosu za dionike.

Studija se sastoji od dvije cjeline: Tekst studije sa svim pripadnim tablicama, slikama i kartografskim prikazima i baza podataka izrađena za potrebe ove studije u .xls formatu, koja je zbog svoje veličine pohranjena na CD nosaču podataka i priložena na koricama tiskane studije.

Referenciranje na priloge koji se nalaze na CD-u označeno je u tekstu sivom bojom (npr. *Prilog poglavlju 2.1*)

Baza podataka sadrži sve raspoložive podatke prikupljene i upisane za potrebe analiza u okviru ove studije kao i pripadne obrade podataka; numeričke i grafičke. Zbog jednostavnosti, prikladna je za ciljne analize i prikaze te dopunjavanje novim ili novoprikupljenim podacima u budućnosti.

2. PODACI O NANOSU ZA RIJEKE DRAVA, SAVA I DUNAV

Prikupljanjem, sistematizacijom i analizom prikupljenih podataka ustanovljeno je da je od hrvatskih rijeka, na rijeci Dravi provedeno najviše istraživanja, mjerenja i analiza riječnog nanosa. Za rijeku Savu raspolaže se također sa određenim fondom podataka koji su u ovoj studiji sistematizirani i analizirani. Za rijeku Dunav ne postoje podaci niti su provođena mjerenja nanosa. Zbog tog razloga u poglavljima 2 i 3, u obradama koje slijede, prva je obrađivana rijeka Drava, potom rijeka Sava a na kraju rijeka Dunav.

2.1 Prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka o nanosu na rijeci Dravi

Prikupljanjem i sistematizacijom podataka za potrebe izrade studije, obuhvaćene su i analizirane sljedeće podloge:

- Opći podaci o području istraživanja: osnovni podaci o predmetnim slivovima Dunava, Drave i Save,
- Topografske podloge,
- Hidrološke podloge: pregled postojećih i ukinutih vodomjernih stanica na predmetnim slivovima, pregled raspoloživih protočnih krivulja s vodomjernih stanica, vremenske serije srednjih dnevnih vodostaja i protoka na vodomjernim stanicama predmetnog područja;
- Pregled morfoloških promjena riječnog korita temeljem raspoloživih poprečnih presjeka u profilima hidroloških stanica, geodetski snimljeni u različitim razdobljima;
- Psamološke podloge: pregled postojećih i ukinutih mjernih mjesta za mjerenje riječnog nanosa na predmetnim potezima Drave, Save i Dunava;
- Detaljno prikupljanje postojećih podataka o nanosu uz ocjenu njihove dostupnosti, analiza postojećih nizova u svrhu evidentiranja podataka koji nedostaju,
- Pregled primjenjivanih metoda monitoringa (metode koje su se koristile u prošlosti i suvremene metode);
- Sistematizacija i digitalizacija dostupnih arhivskih podataka o: mjerenjima sedimenta, te njihovo unošenje u odgovarajuće numeričke i prostorne baze podataka prema formatima koje je tijekom projekta definirao Naručitelj i koje omogućuju daljnju analizu podataka;
- Podaci i informacije o eksploataciji šljunka iz riječnog korita na predmetnom području: lokacije, način eksploatacije šljunka na pojedinim lokacijama, vremenske serije količina izvađenog šljunka na pojedinim lokacijama,
- Pregled do sad provedenih studija o pronosu nanosa za analizirane rijeke u Republici Hrvatskoj;
- Izvještaj o kvaliteti i količini postojećih podataka o nanosu.

2.1.1 Opći podaci o području istraživanja

Rijeka Drava od svog izvora u južnom Tirolu u Italiji, pa do ušća u Dunav teče kroz Austriju, Sloveniju, Hrvatsku i Mađarsku u ukupnoj duljini od 733 km. Sliv joj obuhvaća područje ukupne površine od 43.238 km² od čega se 0,2% nalazi u Italiji, 52,3% u Austriji, 11,5% u Sloveniji, 16,5% u Hrvatskoj i 19,5% u Mađarskoj. Na području Hrvatske prima svoj najveći prtok Muru i dalje teče prema Dunavu kroz široku aluvijalnu dolinu tvoreći hrvatsko-mađarsku državnu granicu.

Vodni režim Drave je kišno-ledenjački i karakterizira ga mala vodnost zimi, a velika u drugoj polovici proljeća i ljeti. Srednji protok Drave u Hrvatskoj kreće se od 315 m³/s na granici sa Slovenijom, pa sve do 555 m³/s na ušću u Dunav. Srednji protok najveće pritoke Mure na njenom ušću u Dravu iznosi oko 180 m³/s. Prosječna godišnja visina oborina na slivu iznosi oko 900 mm, s tim da su najveće oborine u alpskom dijelu sliva, a prema istoku postupno opadaju.

Kvartarne šljunčano-pjeskovite naslage koje izgrađuju dravsku depresiju čine vodonosni kompleks sa značajnim zalihama podzemnih voda. Ukupno uskladištena količina podzemne vode u naslagama debljine od desetak do nekoliko stotina metara, iznosi oko 110.000 hm³ vode. Prirodno obnavljanje podzemne vode odvija se infiltracijom oborina koja se ovisno o hidrogeološkim uvjetima vodonosnika regionalno procjenjuje u iznosu od 10- 30% ukupnih godišnjih oborina. Regionalni tok podzemne vode u dravskoj depresiji paralelan je rijeci Dravi (lit. 72).

Tijekom devetnaestog i dvadesetog stoljeća na donjem toku Drave prokopani su brojni meandri čime je duljina riječnog toka između ušća Mure i ušća u Dunav svedena gotovo na polovicu ranije dužine (lit. 72), a početkom dvadesetog stoljeća započelo je građenje obrambenih nasipa i ostalih regulacijskih građevina koje je intenzivirano sredinom sedamdesetih godina nakon poplava. Uzvodno od ušća Mure na Dravi su izgrađene 22 hidroelektrane od čega 11 u Austriji, 8 u Sloveniji i 3 u Hrvatskoj, a u Austriji su izgrađena i četiri hidroenergetska sustava na gornjim horizontima sliva.

Građenje hidroelektrana na Dravi u Hrvatskoj (lit. 72) započelo je početkom sedamdesetih godina i rezultiralo je puštanjem u pogon HE Varaždin 1975. godine, HE Čakovec 1982. i HE Dubrava 1989. godine. Sve tri elektrane su derivacijskog tipa, a ukupni volumen pripadajućih akumulacijskih jezera im iznosi 151,90 hm³. Ukupna instalirana snaga sve tri elektrane iznosi 239 MW, a prosječna godišnja proizvodnja električne energije 1280 GWh. Izgrađene hidroelektrane su višenamjenski objekti, jer se osim, za proizvodnju električne energije vrlo učinkovito koriste i za obranu od poplava, za sport i izletništvo, a mogu se koristiti i za gravitacijsko navodnjavanje poljoprivrednih površina, za uzgoj riba, te eventualno za potrebe vodoopskrbe. Za veće riječne brodove Drava je plovna samo na najnižvodnijoj dionici na širem području Osijeka.

Podzemne vode dravskog vodonosnika intenzivno se koriste za potrebe vodoopskrbe i zahvaćaju se na sedamdesetak zdenaca na petnaestak većih crpilišta. Pojedinačne izdašnosti bušenih zdenaca kreću se od 150 l/s na zapadnom, pa do 40 l/s na istočnim dijelovima dravske depresije (lit. 72).

2.1.2 Hidrološke podloge - osnovni podaci, zapisi o hidrološkim stanicama, krivulje protoka i podaci o poprečnim presjecima u profilima hidroloških stanica na Dravi

Drava je vodotok koji pokazuje izrazite morfološke promjene u koritu. Premda neredovita, snimanja poprečnih presjeka na lokacijama hidroloških stanica pokazuju da su promjene geometrije korita izrazite i unutar godine dana. Iako je svako snimljeno stanje prvenstveno slika trenutačne hidrološke situacije u riječnom koritu, ono je ujedno i odraz općih promjena izazvanih brojnim radovima u prošlosti u koritu, inundacijama i nasipima, te eksploatacijom šljunka i pijeska iz korita i inundacijskog područja u prošlosti i radom hidroenergetskih objekata izgrađenih uzvodno od ušća Mure.

Sve ove aktivnosti značajno utječu na režim voda i nanosa u rijeci Dravi, a budući da se veći dio njih odvijao paralelno, danas je vrlo teško odrediti pojedinačni utjecaj izgradnje i rada uzvodnih hidroelektrana, lokalno izvedenih regulacijskih radova i neredovitog održavanja izvedenih građevina, utjecaj reguliranih i nereguliranih riječnih poteza, hidroloških prilika na slivu i promjena u mjernim presjecima, na formiranje i oblik riječnog korita i promjene hidroloških karakteristika Drave.

U tome presudnu ulogu ima i relativno skroman fond mjerenih podataka, nerijetko dodatno opterećenih iznimno čestim promjenama položaja i visine mjernih uređaja i vrste mjerne opreme. Ovdje se prije svega misli na mjerenja protoka i koncentracija suspendiranog nanosa, s kojima se gotovo na svim stanicama, za razliku od duge tradicije mjerenja vodostaja, redovito počelo tek šezdesetih godina ovog stoljeća.

U sklopu ovog projekta provedena je sistematizacija i analiza raspoloživih dnevnih podataka vodostaja, protoka, koncentracije i pronosa suspendiranog nanosa u razdoblju 1926-2016. godina s hidroloških stanica Varaždin, Donja Dubrava, Botovo, Novo Virje skela, Terezino Polje i Donji Miholjac na Dravi, preuzeti iz Baze hidroloških podataka hidrološkog informacijskog sustava HIS2000 DHMZ-a RH.

U nastavku se daje kratki zapis o povijesti mjerodavnih hidroloških stanica na Dravi, također preuzet iz Baze hidroloških podataka hidrološkog informacijskog sustava HIS2000 DHMZ-a RH.

Dani su zapisi o promjenama lokacije ili kote nule i svim ostalim promjenama, podaci o mjerenjima protoka i jednadžbe krivulja protoka definirane na temelju rezultata vodomjerenja. Provedena je i sistematizacija i analiza raspoloživih snimki poprečnih presjeka na lokaciji stanice.

Za svaku godinu DHMZ je, ako podaci nisu usvojeni iz drugih izvora, proveo bilanciranje voda duž toka. Na točnost bilanciranja voda značajno utječe kvalitet i pouzdanost određivanja veze vodostaj-protok. Uzvodne hidroelektrane na Dravi svojim radom uzrokuju nestacionaran režim tečenja na nizvodnom potezu i intenzivne promjene morfologije riječnog korita, te utječu na promjenu režima voda i pronosa nanosa, dakle i na pouzdanost definiranja veze vodostaj-protok posebno u području minimalnih vodostaja.

Upravo zbog toga, hidrološke obrade koje će se prikazati u nastavku, daju osvrt na područje

minimalnih vodostaja i protoka, budući da su promjene izazvane radom hidroelektrana i ostalim radovima na slivu najizrazitije u području malih voda, premda dijelom zahvaćaju i područja srednjih i velikih voda.

Osnovnu poteškoću kod definiranja krivulja protoka u području minimalnih vodostaja čini relativno skroman broj mjerenja protoka, kojima je najčešće obuhvaćeno od 10 % do najviše 20 % amplitude vodostaja zabilježenih u tekućoj godini. Točnost mjerenja u izravnoj je vezi s veličinom ukupne promjene vodostaja u toku mjerenja.

Budući da se intenzitet promjene vodostaja, uvjetovan nejednolikom raspodjelom energetske proizvodnje uzvodnih hidroelektrana u toku dana kreće i do 1 m na sat (Botovo), ne treba posebno isticati kolika je mogućnost pogreške mjerenja, i s kojom oprežnošću treba ući u postupak određivanja krivulje protoka. Dakako, oscilacije vodostaja uvjetovane radom uzvodnih hidroelektrana znatno su veće u profilu Botovo nego u Terezinom Polju, a pogotovo su veće od oscilacija u Donjem Miholjcu, pa je i mogućnost pogreške mjerenja u nizvodnim presjecima manja, u odnosu na presjek Botovo.

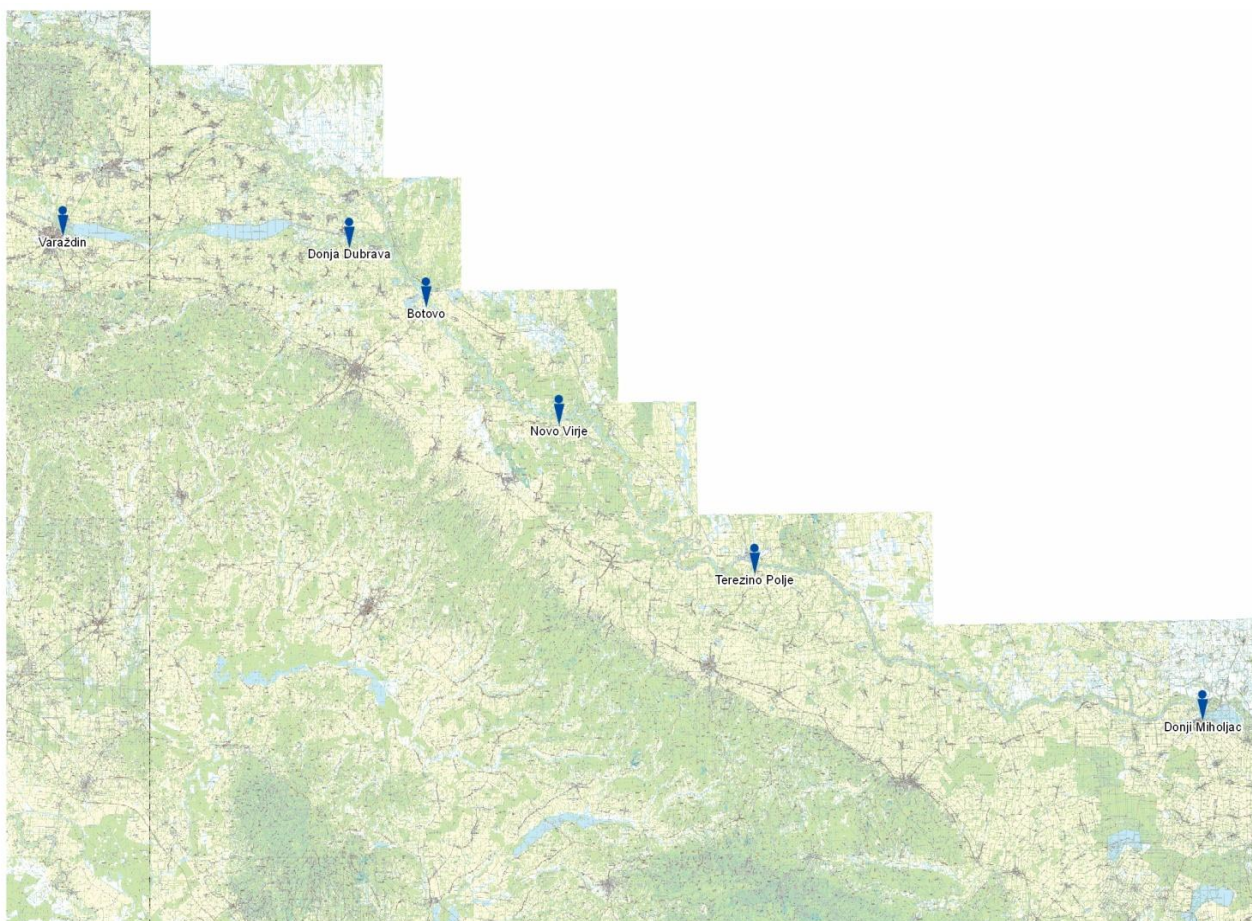
Izrazite oscilacije vodostaja utječu i na određivanje dnevnih protoka. Što su oscilacije vodostaja u toku dana veće, veća je i pogreška određivanja protoka, posebno ako je unutar zabilježenog raspona vodostaja zakrivljenost krivulje protoka veća. Ovo se odnosi i na razlike u veličini vodostaja i protoka koje proizlaze iz korištenja redovnog očitavanja vodostaja u 7,30 ujutro i srednjeg dnevnog vodostaja, budući da se stanice tek šezdesetih i sedamdesetih godina opremaju limnigrafima, koji osiguravaju veću preciznost i točnost bilježenja vodostaja, ujedno i veću pouzdanost definiranja veze vodostaj-protok.

Tablica 2.1-1: Osnovni podaci o hidrološkim stanicama na rijeci Dravi (podaci su preuzeti od DHMZ-a i odnose se na današnje stanje mjerenja)

Hidrološka stanica	Godina osnutka		Kota nule (m n.m.)	Udaljenost od ušća (km)	Površina sliva (km ²)	Vrsta mjerenja	Godina početka mjerenja protoka	Zapisano u HIS-u	
	Vodokaz	Limnigraf						vodostaj	protok
Varaždin	1821.	1960.	166,06	288,2 (DHMZ)	15616	H	1961.	1926-2016	1951-1981
Donja Dubrava	1977.	1978.	129,7	242,15 (DHMZ)		H, Q	1978.	1978-2016	1978-2016
Botovo	1873.	1960.	121,55	225,83 (IEE) (226,85 – Atlas)	31038	H,Q,T,SN,L	1959.	1926-2016	1926-2016
Novo Virje Skela	1977.	1977.	108,865	200,600	31803	H,Q	1977.	1977-2016	1977-2016
Terezino Polje	1872.	1974.	100,67	150,592 (IEE) (152,334 - Atlas)	33916	H,Q,T,SN	1961.	1926-2016	1926-2016
Donji Miholjac	1890.	1970.	88,57	80,660 (IEE)	37142	H,Q,T,SN	1904.	1926-2016	1926-2016

Napomena: H vodostaj
Q protok
T temperatura vode
SN suspendirani nanos
L led

Na slici 2.1-1 dana je situacija sliva Drave u Republici Hrvatskoj s prikazom razmatranih lokacija hidroloških stanica na predmetnoj dionici. U nastavku je dan kratki opis historijata svake razmatrane stanice preuzet iz arhive DHMZ-a. Opisi sadrže osnovne podatke o hidrološkim stanicama, a to su: lokacija, podatke o koti nule vodokaza, snimljeni profili korita na lokaciji stanice (po evidenciji DHMZ-a prikazi se odnose na „stari“ sustav mjerenja - prema Trstu), raspoložive krivulje protoka, te eventualnim intervencijama u koritu i opremljenost stanice vodokazom/limnigrafom.



Slika 2.1-1: Prikaz lokacija hidroloških stanica na razmatranoj dionici rijeke Drave

Hidrološka stanica **VARAŽDIN** osnovana je kao vodokazna 1821. godine s kotom nule 166,06 m n.m.

Do 1939. godine vodokaz se nalazio pričvršćen na stupu cestovnog mosta, oko 100 m nizvodno od željezničkog mosta. Za vrijeme rata most je bio srušen, pa je uništen i vodokaz. Obnovljen je 1945. godine i postavljen na pilot privremenog drvenog mosta u korito rijeke uz desnu obalu, oko 30 m nizvodno od srušenog mosta. U studenom 1953. godine vodokaz je premješten na drugi drveni jaram mosta. Kota nule vodokaza je 166,06 m n.m. U siječnju 1954. godine premješten je na stup novog željezničkog mosta. Limnigrafska stanica osnovana je 7.7.1960. godine, a nalazi se na desnoj obali, oko 150 m uzvodno od mosta. Kota nule nije se mijenjala.

Podaci o vodostajima u razdoblju do uspostavljanja limnigrafa uglavnom su nepouzdana zbog čestih premještanja vodokaza duž toka i što se kod svakog premještanja vodokaza nisu paralelno očitavali vodostaji na novoj i staroj lokaciji. Po završetku izgradnje HE Varaždin stanica se našla na samom ušću odvodnog kanala HE Varaždin, a početkom rada HE Čakovec i pod utjecajem uspora voda akumulacije, pa se od 1982. godine na stanici motri samo vodostaj.

Na stanici su se od 1961. godine počela provoditi kontinuirana mjerenja protoka, dok se vodostaj motri od početka rada stanice. Analizom vodmjerenja DHMZ je definirao ukupno 14 krivulja protoka za pojedine godine ili više godina u razdoblju od 1951. do 1981. godine, na temelju kojih su računati dnevni protoci u istom razdoblju.

Dnevni vodostaji u razdoblju 1926-2016. godina i raspoloživi protoci u razdoblju od 1951. do 1981. godine preuzeti su iz HIS-a DHMZ-a. Nedostaju dnevni vodostaji za 1945. godinu.

Također su iz HIS-a preuzeti i sistematizirani i dostupni podaci snimljenih profila korita na lokaciji stanice Varaždin za raspoloživo razdoblje (4 profila za 1970., 1977., 2011. i 2016. godinu).

Hidrološka stanica **DONJA DUBRAVA** osnovana je 1977. godine na zahtjev Elektroprivrede Zagreb, u svrhu praćenja režima rijeke i promjena u koritu postavljanjem vodokaza s kotom nule 129,7 m n.m. na desnoj obali Drave, oko 80 m uzvodno od betonskog mosta u Donjoj Dubravi. Stanica je opremljena limnigrafom, a od 2010. godine i sustavom za daljinsku dojavu.

Na stanici su se od početka rada uz mjerenja vodostaja počela provoditi i kontinuirana mjerenja protoka. Analizom vodmjerjenja DHMZ je definirao ukupno 16 krivulja protoka za pojedine godine i više godina u razdoblju od 1978. do 2016. godine, na temelju kojih su računati dnevni protoci u istom razdoblju.

Dnevni vodostaji i protoci u razdoblju 1978-2016. godine preuzeti su iz Baze hidroloških podataka DHMZ-a.

Također su iz HIS-a preuzeti i sistematizirani i dostupni podaci snimljenih profila korita na lokaciji stanice Donja Dubrava za raspoloživo razdoblje.

Hidrološka stanica **BOTOVO** osnovana je kao vodokazna 1873. godine s kotom nule 124,08 m n.m. Do 1928. godine vodokaz je smješten uz desnu obalu Drave, kod željezničkog mosta s kotom nule 116,50 m n.m. Godine 1935. mijenja kotu nule koja iznosi 124,25 m n.m. Vodokaz je 1942. godine premješten na prvi desni stup željezničkog mosta u Botovu i obnovljen s kotom nule 122,25 m n.m. Prilikom rušenja mosta 1945. godine oštećen je i vodokaz. Obnovljen je u listopadu 1945. godine na lokaciji 38 m uzvodno od porušenog mosta, zadržavajući istu kotu nule. Početkom 1947. godine vodokaz je uništen ledom, a obnovljen u rujnu iste godine i premješten na lokaciju 50 m uzvodno od porušenog mosta.

Od 13.6.1960. godine opažanje vodostaja nastavljeno je na limnigrafu, uspostavljenom na desnoj obali Drave, 70 m nizvodno od novog željezničkog mosta. Kota nule je 122,25 m n.m. Za vrijeme velikih voda 1975. godine limnigraf je oštećen. Limnigrafska stanica rekonstruirana je u veljači 1981. godine.

Limnigraf je 1.1. 1984. godine premješten na lijevu obalu Drave između željezničkog i cestovnog mosta (100 m nizvodno od stare lokacije), a tom je prilikom promijenjena i kota nule, koja iznosi 121,55 m n.m.

Na stanici se od 1959. godine provode kontinuirana mjerenja protoka, dok se vodostaj motri od početka rada stanice.

Analizom rezultata mjerenja protoka u razdoblju 1961-2016. godina DHMZ je definirao 43 krivulje protoka, na temelju kojih su izračunati dnevni protoci u istom razdoblju.

U okviru ovog projekta sistematizirani su raspoloživi podaci mjerenja vodostaja i odgovarajući podaci protoka sa h. s. Botovo utvrđeni od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske (HIS 2000). Obradom dnevnih podataka vodostaja i odgovarajućih protoka u razdoblju 1926.-2016. formirani su nizovi maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka.

Dnevni vodostaji u razdoblju do 31.12.1960. godine odnose se na jutarnja očitavanja, a od 1.1.1961. na srednje dnevne vrijednosti vodostaja računatog iz limnigrama. Nedostaju dnevni vodostaji za 1944. i 1945. godinu.

Također su sistematizirani i u arhivi dostupni podaci snimljenih profila korita na lokaciji stanice, od toga njih 6 za razdoblje do 1983. godine, zatim još 2 u razdoblju do 1994. godine i u razdoblju 2000. do 2016. godine još 18 profila korita na lokaciji stanice Botovo.

Hidrološka stanica **NOVO VIRJE SKELA** osnovana je 1977. godine. Smještena je na desnoj obali, oko 600 m nizvodno od stalne skele u Novom Virju. Stanica je opremljena vodokazom, a od 2006. godine i limnigrafom. Kota „0“ vodokaza iznosi 108,865 m n.m.

Na stanici su se od početka rada uz mjerenja vodostaja počela provoditi i kontinuirana mjerenja protoka. Analizom vodomjerenja DHMZ je definirao ukupno čak 39 krivulja protoka za pojedine godine ili više godina u razdoblju od 1977. do 2016. godine, na temelju kojih su računati dnevni protoci u istom razdoblju.

Dnevni vodostaji i protoci za raspoloživo razdoblje 1977-2016. godine preuzeti su iz Baze hidroloških podataka DHMZ-a.

Također su iz HIS-a preuzeti i sistematizirani dostupni podaci snimljenih profila korita na lokaciji stanice Novo Virje skela za raspoloživo razdoblje.

Hidrološka stanica **TEREZINO POLJE** osnovana je 1872. godine. Vodokaz s kotom nule 100,67 m n.m. nalazio se na desnoj obali, na kamenom stupu cestovnog mosta preko Drave u Terezinom Polju. Nakon rušenja mosta za vrijeme rata, vodokaz je 1959. godine obnovljen na desnoj obali Drave. Na stanici se od 1961. godine provode kontinuirana mjerenja protoka, dok se vodostaj motri od početka rada stanice.

Analizom vodomjerenja DHMZ je definirao ukupno 36 krivulja protoka za pojedine godine ili više godina u razdoblju od 1961. do 2016. godine, na temelju kojih su izračunati dnevni protoci u istom razdoblju. Dnevni vodostaji u razdoblju 1926-2016. godini i protoci u razdoblju od 1961. do 2016. godine na hidrološkoj stanici Terezino Polje preuzeti su iz HIS-a DHMZ-a Hrvatske. Nedostaju vrijednosti dnevnih vodostaja za ratne godine 1941, 1944. i 1945.

Također su preuzeti i sistematizirani u arhivi dostupni podaci snimljenih profila korita na lokaciji stanice Terezino Polje, ukupno 22 profila u razdoblju 1961. do 2016. godine.

Hidrološka stanica **DONJI MIHOLJAC** osnovana je kao vodokazna 1890. godine. Vodokaz je bio smješten na prvom riječnom stupu mosta na cesti Donji Miholjac-Dravaszabolcz, a kasnije je premješten oko 300 m nizvodno od porušenog cestovnog mosta. Do 1908. godine kota nule je 88,47 m n.m. U razdoblju između 1909. i 1912. godine kota nule je promijenjena i iznosi 88,65 m n.m. Od 1923. do 1964. godine kota nule je 88,80 m n.m. Vodokaz je rekonstruiran u listopadu 1968. godine, kad je napravljen kontrolni nivelman i promijenjena kota nule, koja iznosi 88,542 m n.m.

Početak studenog 1969. godine postavljen je novi vodokaz, 570 m nizvodno od starog, a stanica mijenja naziv u Donji Miholjac-nizvodni. Kota nule vodokaza je 88,39 m n.m. Stanica je dopunjena limnigrafom 10.4.1970. godine. U svibnju 1977. postavljen je novi limnigrafski uređaj, a u ožujku 1980. izgrađen je tlačni limnigraf.

U 1988. godini osnovana je stanica Donji Miholjac-crpna stanica, oko 3,6 km uzvodno od stanice Donji Miholjac-nizvodni. Paralelnim radom ovih stanica uspostavljen je korelacijski odnos vodostaja, a vodostaji na postaji Donji Miholjac-nizvodni računaju se preko vodostaja Donji Miholjac-crpna stanica do kraja 1992. godine.

Od 1.1.1993. vodostaj se očitava na postaji Donji Miholjac-crpna stanica i napušta stara lokacija, dok su vodomjerenja do 22.3.1993. godine bila vezana na letvu Donji Miholjac-nizvodni. Od 22.3.1993. godine letva na postaji Donji Miholjac-crpna stanica je podignuta za 2 m.

Tijekom 1993. godine obavljen je kontrolni nivelman i utvrđena kota nule, koja iznosi 88,570

m n.m.

Prva mjerenja protoka na ovoj hidrološkoj postaji datiraju iz 1904. godine, zatim je obavljeno nekoliko mjerenja u razdoblju 1927-1933. godina, dok se s kontinuiranim mjerenjem protoka započelo tek 1961. godine. Analizom rezultata mjerenja protoka DHMZ je definirao 39 krivulja protoka u razdoblju 1926-2016. godina, na temelju kojih su računati dnevni protoci u istom razdoblju.

Treba istaknuti da je ova stanica usvojena za baznu postaju na Dravi, prije svega za produženje nizova podataka, popravljane ili proračun vodostaja i protoka na ostalim stanicama u razdoblju 1926-1975. godina jer se vodomjerni profil Donji Miholjac pokazao stabilnijim kroz duži niz godina, a karakteristični godišnji vodostaji za razdoblje 1926-1975. godina homogeni.

Dnevni vodostaji i protoci u razdoblju 1926-2016. godina preuzeti su iz Baze hidroloških podataka DHMZ-a.

Vodostaji do 31.12.1970. godine odnose se na jutarnja očitavanja, a od 1.1.1971. godine na srednje dnevne vrijednosti računane iz limnigrama.

Također su preuzeti i sistematizirani u arhivi dostupni podaci snimljenih profila korita na staroj lokaciji stanice za razdoblje do 1992. godine, kao i na novoj lokaciji Donji Miholjac CS u razdoblju 1993. do 2016. godine.

U *Prilogu poglavlju 2.1.2-1* tablično su prikazani karakteristični mjesečni i godišnji vodostaji i odgovarajući protoci Drave (s pripadajućom osnovnom statističkom obradom) za razmatrane mjerodavne hidrološke stanice za raspoloživo razdoblje obrade. Uz tablični iskaz, dan je i grafički prikaz hoda maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka. Vodostaji su osim u relativnim visinama (cm), iskazani i u apsolutnima prema kotama nule danim u tablicama po evidenciji DHMZ-a koje se odnose na „stari“ sustav mjerenja (prema Trstu).

U *Prilogu poglavlju 2.1.2-2* dan je grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka, koje je DHMZ definirao i koristio za proračun dnevnih protoka na stanicama Varaždin, Botovo, Novo Virje, Terzino Polje i Donji Miholjac.

U *Prilogu poglavlju 2.1.2-3* tablično i grafički dani su prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dravi.

U nastavku je u tablici 2.1-2 dan prikaz u HIS-u raspoloživih i za potrebe ovog projekta sistematiziranih podataka o vodostaju i protoku na razmatranim hidrološkim stanicama na Dravi.

2.1.3 Postojeći podaci o nanosu

2.1.3-1 Opća razmatranja o riječnom nanosu

Čvrste tvari pronosene otvorenim tokovima mogu se podijeliti na: vučeni nanos, suspendirani nanos, te na plivajuće tvari. Količine plivajućih tvari u rijekama uglavnom su posve zanemarive, osim na lokacijama neposredno nizvodno od ušća nepročišćavanih kolektora urbane odvodnje. Od svih tipova čvrstih tvari prirodni vodotoci najviše pronose suspendirani nanos, te otprilike deset puta manje vučeni.

Suspendirani nanos u rijeci nastaje na jedan od slijedećih načina:

- površinskom erozijom na slivnom području koja je izazvana bujičnjacima nastalim uslijed jakih kiša,
- habanjem vučenog nanosa i materijala na dnu riječnog korita,
- raspadanjem plivajućih tvari unesenih prilikom ispuštanja otpadnih voda u vodotok.

Vučeni nanos nastaje uslijed erozije dna riječnog korita i uslijed površinskih erozija na slivnom području izazvanih bujičnjacima nastalim od jakih kiša.

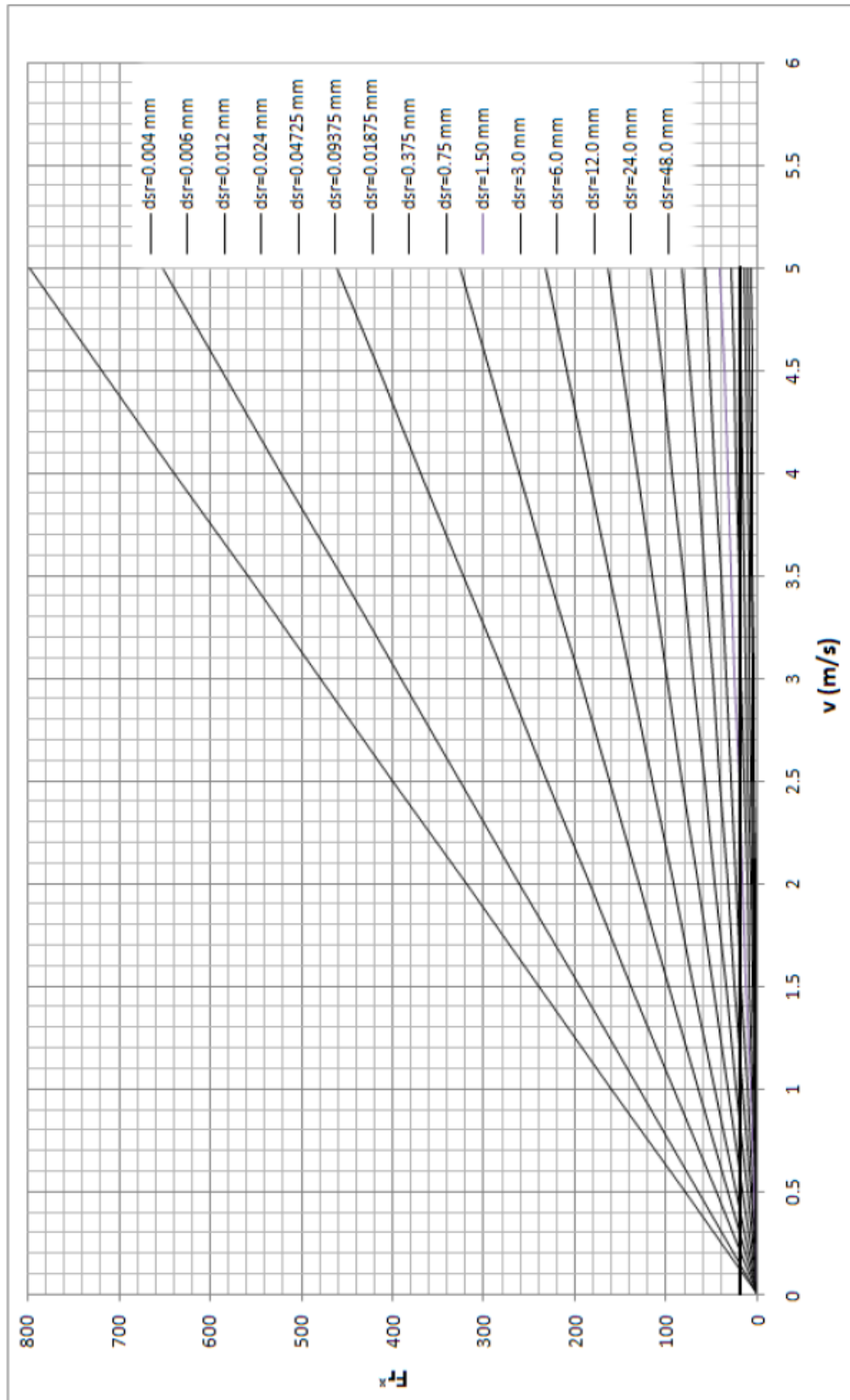
Veličina graničnog zrna između suspendiranog i vučenog nanosa najviše ovisi o lokalnoj brzini tečenja. To znači da se zrno iste veličine ponekad može ponašati kao suspendirani, a ponekad i kao vučeni nanos. Takva konstatacija se odnosi na različite veličine pješćanih zrna, za razliku od gline i praha koji se uvijek mogu smatrati suspendiranim nanosom, te šljunka koji je uvijek vučeni. Teorijsku granicu između dva tipa nanosa definirao je Kresser na slijedeći način:

$$Fr_{rx}^2 = \frac{v^2}{g \cdot d} = 360$$

gdje su:

F_{rx}	- Froudeov broj zrna
v	- srednja brzina strujanja vode (m/s)
d	- promjer zrna (m)
g	- gravitacijsko ubrzanje (9.81 m/s ²)

Prema tome, u slučaju kada je $Fr_x < 19$ zrno nanosa se ponaša kao vučeni nanos, a ako je $Fr_x > 19$ tada se ponaša kao suspendirani. Grafički prikaz teorijske granice vučenog i suspendiranog nanosa po Kresseru dan je na slici 2.1.-2.



Slika 2.1-2: Grafički prikaz teorijske granice vučenog i suspendiranog nanosa po Kresseru

2.1.3-2 Suspendirani nanos

Postupci mjerenja suspendiranog nanosa

Suspendirani nanos pronosi se po čitavom poprečnom presjeku vodotoka u lebdećem stanju, a brzina kretanja mu je podjednaka brzini tečenja vode. Na Dravi su dosad vršena tri tipa mjerenja suspendiranog nanosa:

- svakodnevna uzimanja jednog uzorka riječne vode posudom s površine rijeke, te kasnija laboratorijska ispitivanja koncentracija suspendiranog nanosa u uzetim uzorcima
- povremena profilska mjerenja batometrom kojima se uzimaju po tri uzorka vode (površina, sredina i dno) na svakoj postojećoj vodomjernoj vertikali uzduž poprečnog presjeka, te kasnija laboratorijska ispitivanja koncentracija i granulometrijskih sastava svih uzetih uzoraka
- povremena uzimanja integratorskih uzoraka po površini rijeke preko cijele širine poprečnog presjeka, te kasnija laboratorijska ispitivanja koncentracija i granulometrijskih sastava svih uzetih uzoraka.

Na osnovi svakodnevnih podataka o koncentracijama (g/m^3) suspendiranog nanosa unutar jednog uzorka i srednjim dnevnim protocima (m^3/s), izračunavaju se dnevni podaci o pronosu suspendiranog nanosa (t/dan). Sva tri spomenuta dnevna podatka za aktivna mjerna mjesta DHMZ redovito upisuje u Bazu hidroloških podataka hidrološkog informacijskog sustava HIS2000 DHMZ-a RH.

Prilikom laboratorijske obrade uzoraka dobivenih profilskim mjerenjem, sva tri uzorka s pojedine vertikale spoje se u skupni uzorak a temelju kojeg se određuje srednja koncentracija suspendiranog nanosa svake pojedine vertikale (g/m^3). Na osnovi takvih srednjih koncentracija određuje se srednja profilska koncentracija suspendiranog nanosa (g/m^3), koja zajedno s istovremeno izmjerenim protokom vode (m^3/s) čini bazu za izračun sekundnog profilskeg pronosa suspendiranog nanosa (kg/s).

Profilska mjerenja koncentracije suspendiranog nanosa vrše se pomoću batometara s trenutnim punjenjem vode i batometara s laganim punjenjem.

Batometar s trenutnim punjenjem vode (protočni batometar) sastoji se od željeznog cilindra volumena 1-3 l s montiranim poklopcima na krajevima. Takav hvatač se s otvorenim poklopcima spušta u vodu na određenu dubinu motkom ili užetom (dizalicom). Trenutnim zatvaranjem poklopaca dobiva se uzorak riječne vode koji se nakon izdizanja batometra izlijeva u boce i šalje u laboratorij na daljnju obradu. Mjerenja se mogu vršiti iz čamca ili s mosta. Prilikom mjerenja iz čamca potrebno je razvući graduiranu mjernu sajlju na kojoj se odmjeravaju udaljenosti mjernih vertikala, a koja ujedno služi i za fiksiranje čamca pri mjerenju. Na čamcu se nalazi montirana dizalica kojom se protočni batometar spušta u vodu. Ograničavajući čimbenik pri mjerenjima suspendiranog nanosa iz čamca je brzina vode, prije svega zbog sigurnosnih razloga, ali i zbog prevelike potrebne težine utega. Problem se može riješiti mjerenjima s mosta ukoliko ga ima u blizini, no međutim takva su mjerenja izuzetno naporna zbog velikih težina utega. Rad s protočnim batometrom relativno

je jednostavan pri manjim brzinama vode, a osnovni mu je nedostatak što se trenutačnim punjenjem batometra ne obuhvaća fluktuacija koncentracije suspendiranog nanosa u točki uzorkovanja. Uzimanje uzorka vode pri samom dnu onemogućeno je pri većim brzinama vode, jer batometar treba opteretiti utegom s donje strane. Prilikom prelijevanja uzorka iz batometra u bocu treba obratiti pažnju da ne dođe do segregacije suspenzije u batometru.

Osnovni princip rada batometara s laganim punjenjem vode je punjenje hvatača u dužem vremenskom razdoblju, čime se dobiva uzorak sa srednjom vrijednosti koncentracije suspendiranog nanosa u točki uzorkovanja. Batometri s laganim punjenjem vode su: batometar boca volumena 1 l na motki, vakum batometar s hvatačem od 40 l za čiji je rad potreban električni agregat i vakum pumpa), te batometar sa 6 dvolitrenih boca i električnim komandnim pultom za punjenje. Svi tipovi batometara s polaganim punjenjem sadrže ulaznu cjevčicu za vodu koja mora imati odgovarajući presjek da ne remeti ulazno strujanje, te ispust zraka iz hvatača (boce). Batometri također moraju biti odgovarajuće oblikovani, kako bi što manje remetili strujanje. Potreban volumen suspenzije poradi osiguranja reprezentativnog uzorka ovisi o koncentraciji same suspenzije, a postiže se ili batometrom odgovarajućeg volumena ili višekratnim ponavljanjem uzorka u istoj točki. Profilsko mjerenje pronosa suspendiranog nanosa vakum batometrom moguće je samo uz korištenje plovne skele kojom se mjeri i vučeni nanos, a zahtijeva i električni agregat, vakum pumpu, te veći broj 50-litarskih kanti. Usisno crijevo montirano je na 80-kilogramskom utegu i zbog mogućnosti trganja ograničavajući je čimbenik pri većim brzinama vode.

Mjerenja koncentracije suspendiranog nanosa mogu se vršiti i pomoću automatskih uzorkivača koji registriraju promjene koncentracije na bazi fotoelektričnog efekta osjetljivih senzora, te ih kontinuirano bilježe na traci ili prikazuju osciloskopiranjem.

Mjerenja pronosa i koncentracije suspendiranog nanosa, te interpretacija dobivenih rezultata izuzetno su složeni postupci koji često mogu rezultirati značajnim greškama.

Dosadašnja mjerenja suspendiranog nanosa na Dravi u Hrvatskoj

Svakodnevna uzorkovanja riječne vode s površine radi određivanja koncentracije i kasnijeg izračunavanja pronosa suspendiranog nanosa započela su na Dravi kod Varaždina 1960. godine i trajala su neprekidno sve do kraja 1984. godine. Potkraj šezdesetih godina takva su mjerenja započela na lokacijama h.s. Botovo i h.s. Donji Miholjac, 1985. na h.s. Donja Dubrava, a početkom 1990. godine na h.s. Terezino Polje. Osim mjernog mjesta h.s. Varaždin na kojem su mjerenja zbog usporenog toka nakon puštanja u pogon nizvodne HE Čakovec ukinuta 1984. godine, 1990. godine je ukinuto i mjerno mjesto h.s. Donja Dubrava. Sva spomenuta mjerenja vrši DHMZ i njihove rezultate (dnevne koncentracije i pronose suspendiranog nanosa) redovito objavljuje u Bazi hidroloških podataka – HIS 2000.

Podaci su za potrebe ovog projekta preuzeti iz baze, a tablični i grafički prikaz karakterističnih mjesečnih i ukupnih mjesečnih i godišnjih pronosa suspendiranog nanosa na Dravi u Hrvatskoj, kao i mjesečna i godišnja koncentracija suspendiranog nanosa dobiven na osnovi svakodnevnih uzorkovanja dan je u *Prilogu poglavlju 2.1.3.*

Povremena profilska mjerenja suspendiranog nanosa protočnim ili vakum batometrom na predmetnim dionicama Drave vršile su hrvatska i mađarska hidrometeorološka služba na

lokacijama h. s. Varaždin, h. s. Donja Dubrava, h. s. Botovo, h. s. Novo Virje skela, h. s. Terezino Polje (Barcs) i h. s. Donji Miholjac (Drávaszabolcs) na Dravi. Na svim spomenutim lokacijama povremeno su uzimani i integratorski uzorci s površine rijeke radi određivanja granulometrijskog sastava suspendiranog nanosa.

Rezultati mjerenja profilskih koncentracija i pronosa suspendiranog nanosa dani su u godišnjim Izvještajima izrađenim od strane DHMZ-a - *Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri (lit. 44-71)*, dobiveni za potrebe ovog projekta za razdoblje 1986. do 2014. godine (osim Izvještaja za 2011. godinu). Navedeni podaci su sistematizirani i dani tablično i grafički u *Prilogu poglavlju 2.1.3*. U tablicama su za mjerene profile na Dravi navedene srednja profilaska koncentracija suspendiranog nanosa (kg/m^3) i profilski pronos suspendiranog nanosa (kg/s) uz pripadajući vodostaj i protok toga dana.

Na osnovi navedenih povremenih profilskih mjerenja pronosa suspendiranog nanosa u godišnjim izvještajima od DHMZ-a definirane su regresijske zavisnosti profilске koncentracije suspendiranog nanosa s protokom vode i regresijske krivulje zavisnosti profilskog pronosa suspendiranog nanosa s protokom vode.

Grafički i analitički prikazi regresijskih zavisnosti koncentracije suspendiranog nanosa s protokom vode, kao i regresijske zavisnosti pronosa suspendiranog nanosa s protokom vode na osnovi rezultata povremenih profilskih mjerenja na h. s. Botovo, h. s. Terezino Polje (Barcs) i h. s. Donji Miholjac (Drávaszabolcs) na Dravi dani su u *Prilogu poglavlju 2.1.3*.

Osim korelacijskog odnosa između koncentracija, sekundnog pronosa i trenutnog protoka, analiziraju se i odnosi između profilskih vrijednosti koncentracija i onih dobivenih na temelju svakodnevnih uzimanja površinskih uzoraka (motritelj). Naime, profilaska mjerenja suspendiranog nanosa vrše se najviše šest puta godišnje, dok se svakodnevni uzorci uzimaju iz jedne točke pri površini, uz obalu ili iz sredine protočnog profila gdje je to moguće. Kako bi se došlo do što bolje spoznaje o pronosjenju nanosa po čitavom protjecajnom profilu, za vrijeme profilskih mjerenja uzimaju se i obalni površinski uzorci i to na istim mjestima gdje ih svakodnevno uzimaju motritelji. Rezultati analize površinskih uzoraka koji služe za definiranje odnosa $\rho_{\text{PROF}} = f(\rho_{\text{POV}})$, objavljuju se u Godišnjim izvještajima zajedno sa rezultatima profilskih mjerenja, a grafički prikazi definiranih korelacijskih odnosa dani su u *Prilozima poglavlju 2.1.3*.

Na osnovi usvojenih regresijskih zavisnosti i srednjih dnevnih protoka mogu se izračunati ukupni godišnji pronosi suspendiranog nanosa.

Podaci o godišnjim pronosima suspendiranog nanosa dobiveni na osnovi dva različita načina mjerenja znatno se razlikuju. Te razlike nastaju zbog nedovoljne reprezentativnosti jednog uzorka za čitav poprečni presjek prilikom svakodnevnih mjerenja, ali i zbog velikih rasipanja rezultata prilikom profilskih mjerenja.

U prethodno navedenim godišnjim izvještajima DHMZ-a obrađeni su i rezultati analize uzoraka nanosa s dna, uzimani uz desnu i lijevu obalu te u sredini korita u profilima Drave kod Hrženica kanal, Botovo, Novo Virje, Terezino Polje i Donji Miholjac. Obradom izvađenih uzoraka dobivene su granulometrijske krivulje nanosa sa dna, čiji je grafički prikaz preuzet za potrebe ovog projekta i dan u *Prilogu poglavlju 2.1.3*.

Nanos sa dna riječnog korita uziman je hvatačem ("grajferom") u 3 točke na dnu (uz lijevu i desnu obalu, te u sredini) i svaki uzorak je laboratorijski obrađen kombiniranom metodom

sijanja i areometriranja prema normi HRS CEN ISO/TS 17892-4.

Ostale granulometrijske krivulje suspendiranog nanosa dobivene na temelju analize uzoraka iz profilskih mjerenja i integratorskih uzoraka (većinom za razdoblje prije 1990. godine) preuzete su iz *Studije "Procjena utjecaja postojećih vodnih građevina i eksploatacije riječnog nanosa na morfološko-psamološke značajke Drave, IE 1998."* (lit. 72) i dane u *Prilogu poglavlju 2.1.3*. Osim za lokacije ranije spomenutih mjernih mjesta, dana je i granulometrijska krivulja suspendiranog nanosa za stacionažu 0 + 750 r.km (ušće Drave u Dunav) preuzeta iz *Studije "Procjena utjecaja postojećih vodnih građevina i eksploatacije riječnog nanosa na morfološko-psamološke značajke Drave, IE 1998."*

Situacijski prikaz lokacija svih postojećih i ukinutih mjernih mjesta za mjerenje suspendiranog nanosa na Dravi u Hrvatskoj (lokacije hidroloških stanica) dan je na slici 2.1-1, a prikaz njihovih osnovnih značajki u tablici 2.1-3.

Tablica 2.1-3: Pregled mjernih mjesta za mjerenje koncentracije i pronosa suspendiranog nanosa na Dravi u Hrvatskoj

MJERNA STANICA	VRSTA MJERENJA	NAČIN UZIMANJA UZORKA	KONTINUITET MJERENJA	RAZDOBLJE MJERENJA
h. s. Varaždin, Drava	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1960-1984
	Profilsko	Vakum batometar	Povremeno	1960-1975
h. s. Donja Dubrava, Drava	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1985-1990
	Profilsko	Vakum batometar	Povremeno	1986-1989
h. s. Botovo, Drava	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1966-2016
	Profilsko	Protočni batometar	Povremeno	1969-2015
h. s. Novo Virje, Drava	Profilsko	Vakum batometar	Povremeno	1978-1987
h. s. Terezino Polje (Barcs), Drava	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1990-2016
	Profilsko	Vakum batometar	Povremeno	1968-1975 1990-2015
h. s. Donji Miholjac (Drávaszabolcs), Drava	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1967-2016
	Profilsko	Vakum batometar	Povremeno	1968-1975 1986-2015

Od 2012. godine došlo je do određene modernizacije metodologiji profilskih mjerenja, stoga su rezultati obrada značajno poboljšani i daju širi spektar prostornih i vremenskih informacija o kretanju nanosa unutar poprečnog profila ili duž određene dionice vodotoka. Sa novom metodom obrade korištenjem ADCP mjerenja moguće je točno utvrditi do kakvih pojava po pitanju erozije ili taloženja dolazi na pojedinim kritičnim mjestima, npr. uz stupove mostova, na dnu korita ili uz obale. Uzorci vode u profilima na Dravi se uzimaju na šest vertikala duž poprečnog presjeka, po tri uzorka na svakoj vertikali (površina, sredina dubine, pri dnu), prema normi ISO 4363:2002. Laboratorijskom obradom uzoraka sa svake pojedine vertikale (prema standardnoj filtracijskoj metodi ISO 4365:2005), utvrđene su vrijednosti koncentracija suspendiranog nanosa.

Brzine vode, protoci i konfiguracija dna mjere se ultrazvučnim mjerачem trenutnih brzina

ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Obrada profilskih koncentracija suspendiranog nanosa vrši se programskim paketom „ViSea 4.0“ nizozemske tvrtke Aqua Vision BV – Hydro & Oceanografic Consultancy. Naknadnom obradom i analizom preplova učinjenih ADCP-om vrši se konverzija prigušenja ultrazvučnog signala u stvarnu koncentraciju suspendiranog nanosa.

U proračunu se koriste rezultati analize stvarnih uzoraka uzetih na pojedinim vertikalama, odnosno lokacijama i dubinama duž poprečnog presjeka. Pomoću njih se definira korelacijski odnos između prigušenja akustičnog signala i stvarne koncentracije suspendirane tvari u poznatoj točki te se na osnovi te regresije iterativnim postupkom proračunava koncentracija suspendiranog nanosa u svakoj točki poprečnog presjeka.

Pri tom postupku se zapravo koristi najvažnija osobina ultrazvučnog signala, a to je da intenzitet povratnog signala ovisi o količini suspendiranog nanosa u vodi (eng. absolute backscatter). Zapravo, mjerenje brzine toka ADCP-om u potpunoj čistoj vodi ne bi bilo moguće jer je za povrat ultrazvučnog signala potrebna neka čvrsta čestica od koje se on odbija, što u slučaju tekućine u otvorenim koritima upravo predstavlja suspendirani nanos.

2.1.3-3 Vučeni nanos

Postupci mjerenja vučenog nanosa

Vučeni nanos je onaj dio riječnog nanosa koji se kotrljajući ili u skokovima kreće po dnu korita. Mjerenja pronosa vučenog nanosa vrše se mehaničkim hvatačima ili obilježivačima (izotopi, flouoscencija), a mogu se vršiti i specifična mjerenja.

Osnovni princip mjerenja pronosa vučenog nanosa mehaničkim hvatačem je spuštanje hvatača na dno vodotoka, zatim zahvaćanje vučenog nanosa po cijeloj uzvodnoj ulaznoj širini, te njegovo taloženje u hvataču. Hvatač mora biti konstruiran tako da što manje remeti tečenje vode, da pravilno nalegne na dno u smjeru toka, te da ne dolazi do ispiranja zahvaćenog materijala tijekom punjenja i izvlačenja hvatača. Za manipulaciju hvatačem obično je potreban plovni objekt. Prednost mehaničkih hvatača je izravno zahvaćanje vučenog nanosa, a ograničavajući čimbenik im je brzina vode koja se pokušala riješiti postavljanjem mreže na stražnju stranu hvatača (time dolazi do gubitka najsitnijih frakcija iz uzorka). Mjerenja pronosa vučenog nanosa u Hrvatskoj dosad su vršena Karolyevim hvatačem sa skele. To su vrlo složena mjerenja za čiju su provedbu nužni uhodani timovi i veća materijalna sredstva. Iako su mjerenja pronosa vučenog nanosa najpoželjnija pri velikim vodama, maksimalna brzina vode do koje se mjerenja Karolyevim hvatačem mogu tehnički provoditi iznosi 2.20 m/s. Pri većim brzinama vode više nije moguće pravilno fizičko manipuliranje hvatačem, čime dolazi do ispiranja nanosa iz hvatača prilikom njegovog podizanja. Prilikom odabira lokacija za mjerenje pronosa vučenog nanosa mehaničkim hvatačem, potrebno je voditi računa o konfiguraciji riječnog dna, jer ako je ono izgrađeno od stršećih prirodnih stijena tada ne dolazi do pravilnog nalijeganja hvatača na dno, a time ni do zahvata vučenog nanosa.

Veličine ukupnih pronosa vučenog nanosa na vodomjemim presjecima određuju se na osnovi profilskih mjerenja. Jedna serija takvih mjerenja sastoji se iz trodnevnog uzorkovanja na vertikalama koje su raspoređene uzduž cijelog poprečnog presjeka i jednodnevnog uzorkovanja na statističkoj vertikali. Rezultati mjerenja po vertikalama su jedinični pronosi

vučenog nanosa na osnovi kojih se određuju sekundni profilski pronosi (g/s). Granulometrijske krivulje materijala iz uzoraka određuju se kasnije u laboratoriju. Osim Karolyevog hvatača u hidrometrijskoj praksi se koriste i druge vrste mehaničkih hvatača, koji općenito mogu biti fiksni, sandučastog oblika, sklopivi, mrežasti ili kombinirani.

Mjerenja pronosa vučenog nanosa pomoću obilježivača sastoje se u tome da se u vodotok na određenom presjeku ubaci prethodno pripremljen materijal (nanos) s radioaktivnim izotopom ili fluorescentnim obilježivačem, pa se zatim odgovarajućim detektorima prati njegovo kretanje mjerenjem radioaktivnosti (metoda izotopa) ili se uzorak nanosa vadi (metoda fluoroscencije). Kretanje i disperzija vučenog nanosa mogu se pratiti na temelju detekcije izotopa u riječnom koritu. Pronos vučenog nanosa određuje se na osnovi funkcijske zavisnosti između parametara brzine kretanja vučenog nanosa, debljine i širine pokretnog sloja, te gustoće materijala. Mjerenja pronosa vučenog nanosa putem radioaktivnih izotopa daju dobre rezultate, no međutim zahtijevaju velike prethodne pripremne radove i preciznu organizaciju. Takva mjerenja poželjno je nadopunjavati i klasičnim mjerenjima putem mehaničkih hvatača, da bi dobiveni rezultati bili što kvalitetniji. Mjerenja pronosa vučenog nanosa putem fluorescentnih materijala nisu opasna za okoliš, ali zahtijevaju zahvaćanje uzoraka iz korita i naknadnu laboratorijsku analizu zastupljenosti označenog materijala u zahvaćenom uzorku.

U skupinu specifičnih mjerenja svrstavaju se mjerenja zasnovana na registraciji zvučnih efekata pokretanja pojedinih zrna nanosa i udaranja zrna o zrno, na temelju čega se mogu analizirati širine kretanja vučenog nanosa, početak pokretanja zrna i intenzitet kretanja nanosa. U tu skupinu pripadaju i sukcesivna snimanja uzdužnih presjeka na promatranoj trasi u određenom vremenskom razdoblju, te mjerenja izdizanja ili spuštanja dina tijekom vremena putem električnih sondi kod kojih se pronos vučenog nanosa može odrediti na osnovi analize pomaka dina po dnu.

Mjerenja pronosa vučenog nanosa i interpretacija dobivenih rezultata izuzetno su složeni postupci koji također mogu često rezultirati značajnim greškama.

Dosadašnja mjerenja vučenog nanosa na Dravi u Hrvatskoj

Povremena profilna mjerenja pronosa vučenog nanosa na predmetnim dionicama Drave Karolyevim hvatačima ili obilježivačima vršile su hrvatska i mađarska hidrometeorološka služba na lokacijama h. s. Donja Dubrava, h. s. Botovo, h. s. Novo Virje, h. s. Terezino Polje (Barcs) i h. s. Donji Miholjaci (Dravasabolcs) na Dravi (lit. 72). Uslijed nedostatka financijskih sredstava sva takva mjerenja danas su ukinuta.

Situacijski prikaz spomenutih mjernih lokacija vučenog nanosa na Dravi u Hrvatskoj (lokacije hidroloških stanica) dan je na slici 2.1-1, a prikaz njihovih osnovnih značajki u tablici 2.1-4.

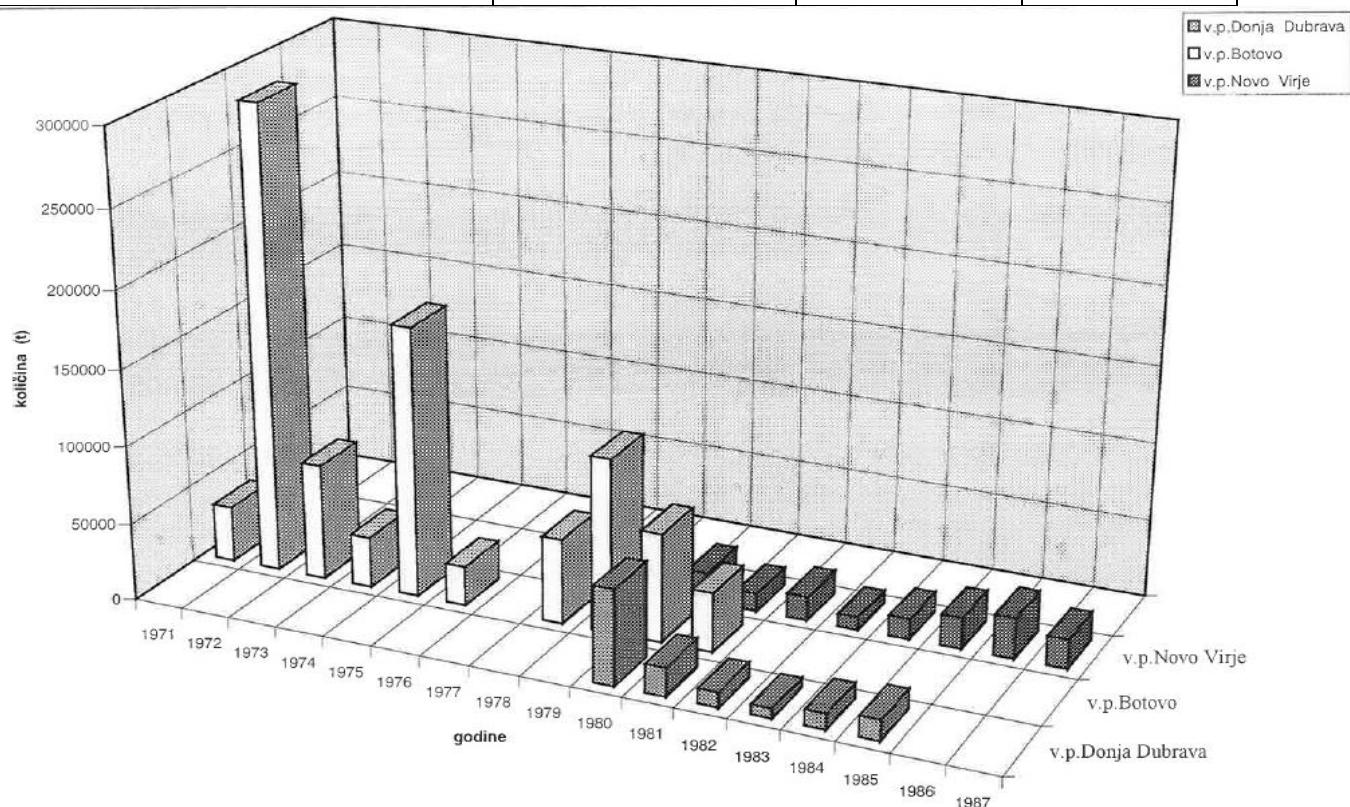
U **Prilogu poglavlju 2.1.3** prikazane su granulometrijske krivulje vučenog nanosa dobivene na temelju analize uzoraka iz profilskih mjerenja preuzete iz *Studije "Procjena utjecaja postojećih vodnih građevina i eksploatacije riječnog nanosa na morfološko-psamološke značajke Drave, IE 1998."* (lit. 72), kao i granulometrijske krivulje nanosa s riječnog dna (preuzete iz iste Studije). Osim za lokacije ranije spomenutih mjernih mjesta, u prilogima su dane i granulometrijske krivulje vučenog nanosa i nanosa s dna za stacionažu 0 + 750 r.km

(ušće Drave u Dunav) preuzete iz iste *Studije (lit. 72)*.

Na osnovi usvojenih regresijskih zavisnosti i srednjih dnevnih protoka u *Studiji "Procjena utjecaja postojećih vodnih građevina i eksploatacije riječnog nanosa na morfološko-psamološke značajke Drave, IE 1998."* izračunati su ukupni godišnji pronosi vučenog nanosa na h. s. Donja Dubrava, h. s. Botovo i h. s. Novo Virje za razdoblja u kojima se pronos vučenog nanosa mjerio (slika 2.1-3). Na ostalim lokacijama takvi podaci nisu izračunati zbog nedovoljno pouzdanih regresijskih zavisnosti.

Tablica 2.1-4: Pregled mjernih mjesta za mjerenje pronosa vučenog nanosa na Dravi u Hrvatskoj, preuzeto iz lit. 72

MJERNA STANICA	NAČIN MJERENJA	KONTINUITET MJERENJA	RAZDOBLJE MJERENJA
h. s. Donja Dubrava, Drava	Karolyevim hvatačem	Povremeno	1980-1985
h. s. Botovo, Drava	Karolyevim hvatačem	Povremeno	1969-1981
h. s. Novo Virje, Drava	Karolyevim hvatačem	Povremeno	1978-1987
h. s. Terezino Polje (Barcs), Drava	Karolyevim hvatačem	Povremeno	1968-1975
h. s. Donji Miholjac (Drávaszabolcs), Drava	Karolyevim hvatačem	Povremeno	1964-1975



Slika 2.1-3: Grafički prikaz ukupnih godišnjih pronosa vučenog nanosa na Dravi u Hrvatskoj dobivenih na osnovi regresijskih zavisnosti i srednjih dnevnih protoka (preuzeto iz lit. 72)

2.1.4 Podaci i informacije o eksploataciji riječnog nanosa iz dravskog korita

Eksploatacija riječnog nanosa iz korita donjeg toka Drave za potrebe graditeljstva provodi se od davnina, a pravno je regulirana još potkraj devetnaestog stoljeća Zakonom o vodama iz 1878. i Zakonom o vodnom pravu iz 1891. godine (lit. 72). Eksploatacijska polja nalaze se duž cijelog toka nizvodno od ušća Mure, s tim da se na dionicama uzvodno od Terezinog Polja eksploatira šljunak, a na nizvodnijim dionicama prema Donjem Miholjcu i Osijeku pijesak. Prema dosadašnjim istraživanjima pijesci se nalaze na dionici od 0 + 000 r.km do 139 + 000 r.km, glina na dionici od 139 + 000 r.km do 148 + 000 r.km, mješoviti pješčano-šljunčani materijali na dionici od 148+000 r.km do 155+000 r.km (lit. 72).

Značajnu eksploataciju šljunka iz dravskog korita započela je 1975. godine mađarska strana na dionici od 154 + 000 r.km do 161 + 000 r.km za potrebe separacije u Barcsu (prosječno oko 150.000 m³ godišnje), a četiri godine kasnije "Dravska plovidba" iz Donjeg Miholjca na sektorima Marof - Okrugljača (od 159 + 000 r.km do 162 + 300 r.km), Šašnato Polje (od 171 + 600 r.km do 177 + 000 r.km) i Križnica (od 166 + 500 r.km do 171 + 000 r.k). "Dravska plovidba" je prema raspoloživim podacima (lit. 72) najviše šljunka izvadila 1982. godine (ukupno 224.334 m³ a kasnije su zbog različitih okolnosti izvadene količine bile znatno manje. Dravski šljunak kontinuirano u manjim količinama (ukupno oko 20.000 m³ godišnje) vade i hrvatski i mađarski građevinski poduzetnici i to na cijelom potezu Drave od Okrugljače, Križnice i Šašnatog Polja, pa sve do Vizvara, Belavara, Botova, Gyekenyesa i Legrada. Godine 1982. značajno vađenje šljunka vršeno je na dionici od 206+000 r.km do 209 + 000 r.km za potrebe građenja mosta Repaš, a ukupno je izvađeno oko 55.000 m³ šljunka (lit. 72).

Prema (lit. 72) u prošlosti se nizvodno od Terezinog Polja na Dravi intenzivno eksploatirao pijesak, a naročito velike količine dosad su izvađene za velika obalna nasipavanja (platoi osječke luke i beliščanskog pristaništa), za građenje lijevoobalnih dravskih nasipa prema Baranji i desnoobalnih dunavskih nasipa, te za građenje drugih regulacijskih građevina. Na širem području Osijeka i Belišća, te uzvodno od 70 + 000 r.km na lokacijama Drávaszabolcs i Šestilovac veće količine dravskog pijeska eksploatirale su se za tržište. Manje količine pijeska za potrebe graditeljstva vadile su se i u blizini mađarskih naselja Revfalu, Szentborbas, Dravatamasi i Barcs, te hrvatskih naselja Zanoš i Terezino Polje.

Usljed nedovoljne kontrole eksploatacije podaci o dosad izvađenim količinama šljunka i pijeska iz Drave zasnovani su isključivo na procjenama, pa se prema različitim izvorima često i razlikuju.

Mađarski institut "Vituki" dao je procjenu kako se navodi u (lit. 74) za 1982. godinu, prema kojoj je hrvatska strana te godine ukupno izvadila 262.000 m³, a mađarska strana 95.000 m³ šjunka. Prema procjeni kako se navodi u (lit. 72, a preuzeto je iz *Studije nanosa rijeke Dave u Hrvatskoj, VRO za vodno područje Drava-Dunav, Osijek, 1990*) prosječne godišnje ukupne količine izvađenog materijala na dionici od Botova do Donjeg Miholjca za razdoblje od 1985. do 1988. godine iznosile su oko 613.000 tona.

Prema procjeni kako se navodi u (lit. 72, a preuzeto je iz *Bonacci, O., Tadić, Z., Trninić, D.: "Effects of Dams and Reservoirs on the Hydrological Characteristics of the Lower Drava River"; Regulated Rivers: Research & Management, Vol. 7, 1992, pages 349-357*) koja je

dana za čitavu dionicu Drave od Varaždina do Osijeka prosječne godišnje ukupne količine izvađenog materijala iznose oko 1.700.000 m³.

Prema procjeni kako se navodi u (lit. 74) je procijenjeno da je tijekom razdoblja od 1975. do 1996. godine na dionici Drave nizvodno od ušća Mure mađarska strana ukupno izvadila 3.300.000 m³, a hrvatska oko 1.700.000 m³ šljunka.

U (lit. 74) dani su podaci o dosad izvađenim količinama šljunka i pijeska iz Drave na potezu od Botova do ušća u Dunav iz razdoblja od 1980. do 1996. godine, ali samo za eksploataciju koju vrše veća hrvatska poduzeća (Vodogradnja, Osijek; Dravska plovidba, Donji Miholjac; Kužić, Donji Miholjac). Tablični prikaz tih količina dan je u tablici 2.1-5.

Tablica 2.1-5: Tablični prikaz podataka o izvađenim količinama šljunka i pijeska iz Dravskog korita (m³) (preuzeto iz lit. 74)

Godina	Raspoloživi podaci o izvađenim količinama šljunka iz Dravskog korita (m ³)						Ukupno (m ³)
	160+000 do 162+000 r.km	165+000 do 171+000 r.km	171+000 do 178+000 r.km	193+000 do 197+000 r.km	204+000 do 205+000 r.km	206+000 do 211+000 r.km	
1980	80.000						80.000
1981	80.519	31.602	18.787	250.000			380.908
1982	54.654	169.680				55.000	279.334
1983	26.097	114.267	24.725				165.089
1984		138.056	51.000				189.056
1985		175.563					175.563
1986		117.562				150.000	267.562
1987			83.900				83.900
1988	99.375		56.750				156.125
1989	86.995		102.630				189.625
1990			74.214				74.214
1991		72.310	9.568				81.878
1992		50.000	10.000				60.000
1993		53.923	18.506				72.429
1994			77.140		10.270		87.410
1995	2.100		86.391		24.000		112.491
1996	6.900	42.807	77.135				126.842
Ukupno (m ³)	436.640	965.770	690.746	250.000	34.270	205.000	2.582.426

Godina	Raspoloživi podaci o izvađenim količinama pijeska iz Dravskog korita (m ³)			Ukupno (m ³)
	11+000 do 15+000 r.km	22+000 do 25+000 r.km	78+000 do 90+000 r.km	
1993	136.075	8.845	14.399	159.319
1994	19.065	9.319	17.674	46.058
1995	83.409	7.600	23.821	114.830
1996	88.304	26.840	1.700	116.844
Ukupno (m ³)	326.853	52.604	57.594	437.051

2.2 Prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka o nanosu na rijeci Savi

2.2.1 Opći podaci o području istraživanja

Ukupno područje sliva rijeke Save iznosi 97.713 km². Ukupna duljina rijeke Save od izvora do ušća u Dunav iznosi oko 950 km, a kroz Hrvatsku protječe u duljini od 510 km i najveća je rijeka u Hrvatskoj. Od ukupne površine sliva Save, 25 100 km² leži unutar Republike Hrvatske, obuhvaćajući 44 % nacionalnog teritorija. Na ulasku u Hrvatsku, površina sliva Save iznosi 10 834 km², a na izlasku iz države površina sliva je 65 000 km² (taj sliv velikim dijelom je u Bosni i Hercegovini), u čemu rijeka Kupa sudjeluje s površinom sliva od 10 032 km².

U gornjem dijelu sliva dominiraju visoke planine. Južni središnji dio sliva ima brdske i planinske karakteristike, a sjeverni središnji te donji dio sliva rijeke Save karakteriziraju niske planine i ravnice. Riječna mreža u slivu rijeke Save dobro je razvijena, no sam sliv izrazito je asimetričan.

Iznimno važna geološka karakteristika sliva rijeke Save, koja utječe na režim voda i nanosa, jest nazočnost krških fenomena. Teren se uglavnom sastoji od vrlo debelih slojeva vapnenca, dok u ostatku sliva prevladavaju pješčenjaci, lapori, glinjaci, intruzivne i ekstruzivne magmatske stijene metamorfne stijene.

Načelno govoreći, sliv rijeke Save ima umjerenu klimu, s jasno odijeljenim hladnim i toplim sezonama. Prosječne godišnje padaline prema procjenama iznose 1.100 mm, no količina padalina značajno varira.

Poplave se obično pojavljuju u proljeće i u jesen. Proljetne poplave posljedica su otapanja snijega, dok su jesenske poplave uzrokovane obilnim kišama.

Ukupna duljina rijeke Save iznosi 945 km, a može se podijeliti u tri dijela:

- gornji tok rijeke Save, od spoja Save Dolinke i Save Bohinjke do Rugvice;
- srednji tok rijeke Save, od Rugvice do spoja s rijekom Drinom;
- donji tok rijeke Save, nizvodno od spoja s rijekom Drinom.

Slivno područje rijeke Save je geološki mladog porijekla. U ortografskom smislu sastoji se od alpskog masiva na sjeverozapadu, Dinarida na zapadu i jugu, te plodne, aluvijalne površine na istoku i centralnom dijelu.

Blizu Rugvice ujedno dolazi do prilično oštrog prijelaza rijeke sa šljunčanim dnom (u gornjem toku rijeke Save) u rijeku s pješčanim dnom (u srednjem toku rijeke Save). Srednja krupnoća nanosa od izvora rijeke Save do nagle promjene pada blizu Rugvice iznosi nekoliko desetaka milimetara. Riječni materijal u srednjem i donjem toku Save finiji je (pješčanog i finog šljunčanog tipa), a pokazatelj D50% uglavnom je niži od 12 mm.

Najznačajnije desne pritoke rijeke Save su Ljubljanica, Krka, Kolpa/Kupa, Una, Vrbas, Ukrina, Bosna, Drina i Kolubara, a najznačajnije lijeve pritoke su Savinja, Sotla/Sutla, Krapina, Lonja, Orljava i Bosut.

Od značajnih promjena za režim tečenja u razdoblju malih i srednjih voda na dionici Save kroz Zagreb, ističe se izgradnja uspornih pragova u riječnom koritu, koji su formirani u cilju osiguranja rada rashladnog sustava Termoelektrane – Toplane Zagreb.

Kao posljedica izgradnje pragova u koritu Save, na riječnom potezu uzvodno od primarnog praga identificiran je utjecaj uspora, koji se najviše očitovao na podacima s hidrološke stanice Bundeck, na kojoj je iz tog razloga 1993. trajno ukinuto opažanje.

S aspekta zaštite od poplava u proteklih trideset godina, točnije rečeno, krajem sedamdesetih i početkom osamdesetih, izgrađeno je nekoliko kapitalnih objekata zaštite od poplava, kojima je prvenstveni cilj bio obrana većih gradova na Savi i Kupi, a koji su direktno utjecali na promjenu režima velikih voda, kako u vodotocima tako i u zaobalju. Na analiziranom području to su:

- preljev u desnom savskom nasipu uzvodno od Zagreba i kanal (preljev Jankomir s kanalom Odra) koji na dužini od cca 1000 metara rasterećuje vrhove valova velikih voda i smanjuje protoke na nizvodnom toku Save
- ustava Prevlaka koja rasterećuje višak savskih voda u kanal Lonja – Strug, odnosno retenciju Lonjsko polje
- ustava Trebež I koja omogućuje zadržavanje voda u Lonjskom polju, ali i upuštanje savskih voda u retenciju
- obnovljene su dionice nasipa na kojima je povremeno dolazilo do prelijevanja voda u zaobalje.

Preljev Jankomir s kanalom Sava-Odra ima neusporedivo najveći utjecaj na redukciju velikih voda u odnosu na druge navedene objekte za zaštitu od poplava. Osnovni zadatak preljeva Jankomir je redukcija maksimalnih protoka kroz grad Zagreb i na nizvodnom toku rijeke Save. Načelno se može reći da su preljev i kanal projektirani tako da kod pojavljivanja 100-godišnje vode Save uzvodno od Zagreb kapacitiraju protok od 1000 m³/s, a kod 1000 godišnje čak 1500 m³/s, čime se Sava rasterećuje za više od trećine maksimalnog protoka. Kanal je izgrađen krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća, a prvi puta je bio u funkciji kod pojave izuzetno velike vode 1979. godine.

Odteretni kanal Sava-Odra prihvaća preljevne količine i transportira ih na nizvodni dio sliva. Preljevne vode rijeke Save se kanalom Sava-Odra odvođe u prirodni retencijski prostor Odranskog polja. Polje se osim kanalom, puni vodama rijeke Kupe kroz ušće rijeke Odre, te unutarnjim vodama sa vlastitog sliva, a prazni se povlačenjem vode kroz prirodni tok rijeke Odre za vrijeme recesije vodnog vala Kupe i Save. Odteretni kanal Sava-Odra bi se u konačnom projektnom rješenju trebao spojiti na rijeku Savu, to je rješenje poznato pod nazivom Kanal Sava-Sava. Prvotno se planirani spoj na rijeku Savu predviđao kod Strelečkog u km 623+300, gdje bi se dovedene preljevne vode rijeke Save dalje distribuirale, preko građevina hidročvora Strelečko, nizvodno u rijeku Savu ili u retencijske prostore Lonjskog polja, ovisno o rubnim hidrološkim uvjetima (ovim rješenjem ukupna dužina odteretnog kanala u konačnom stanju izgradnje iznosila bi oko 51,4 km - do sada je izgrađeno 33,1 km kanala Sava-Odra). Konceptijsko rješenje koje je 2013. godine izradio Elektroprojekt d.d. razmatra rekonstrukciju postojećeg kanala Sava-Odra i spoj s rijekom Savom uzvodnije – kod Prevlake.

Krajem sedamdesetih izgrađen je i drugi objekt kojim se značajno, ali u manjoj mjeri, i ne automatski, već po odluci Centra obrane od poplava, Sava rasterećuje u zaobalje. To je ustava Prevlaka, a njeno funkcioniranje reflektira se na redukciju velikih voda Dubrovčaka i Crnca, teoretski i na nizvodnijim stanicama Save, ali ne značajno.

2.2.2 Hidrološke podloge - osnovni podaci, zapisi o hidrološkim stanicama, krivulje protoka i podaci o poprečnim presjecima u profilima hidroloških stanica na Savi

Hidrološke značajke rijeke Save definirane su na temelju rezultata mjerenja vodostaja i protoka na hidrološkim stanicama na dionici od profila Podsused žičara do profila Slavonski Brod, a unutar navedenog područja analizirani su i podaci na h. s. Rugvica, h. s. Jasenovac i h. s. Stara Gradiška, na kojima se vrši ili se vršilo mjerenje suspendiranog nanosa. Podaci o vodostajima i protocima s ostalih aktivnih hidroloških stanica nisu razmatrani budući se na njima ne mjeri koncentracija i pronos suspendiranog nanosa. Nastavno je u tablici 2.2-1 dan popis vodomjernih stanica i njihove osnovne karakteristike, a na slici 2.2-1 njihove lokacije.

U sklopu ovog projekta provedena je sistematizacija i analiza raspoloživih dnevnih podataka vodostaja, protoka, koncentracije i pronosa suspendiranog nanosa u raspoloživom razdoblju 1923-2016. godina s navedenih hidroloških stanica na Savi, preuzeti iz Baze hidroloških podataka hidrološkog informacijskog sustava HIS2000 DHMZ-a RH.

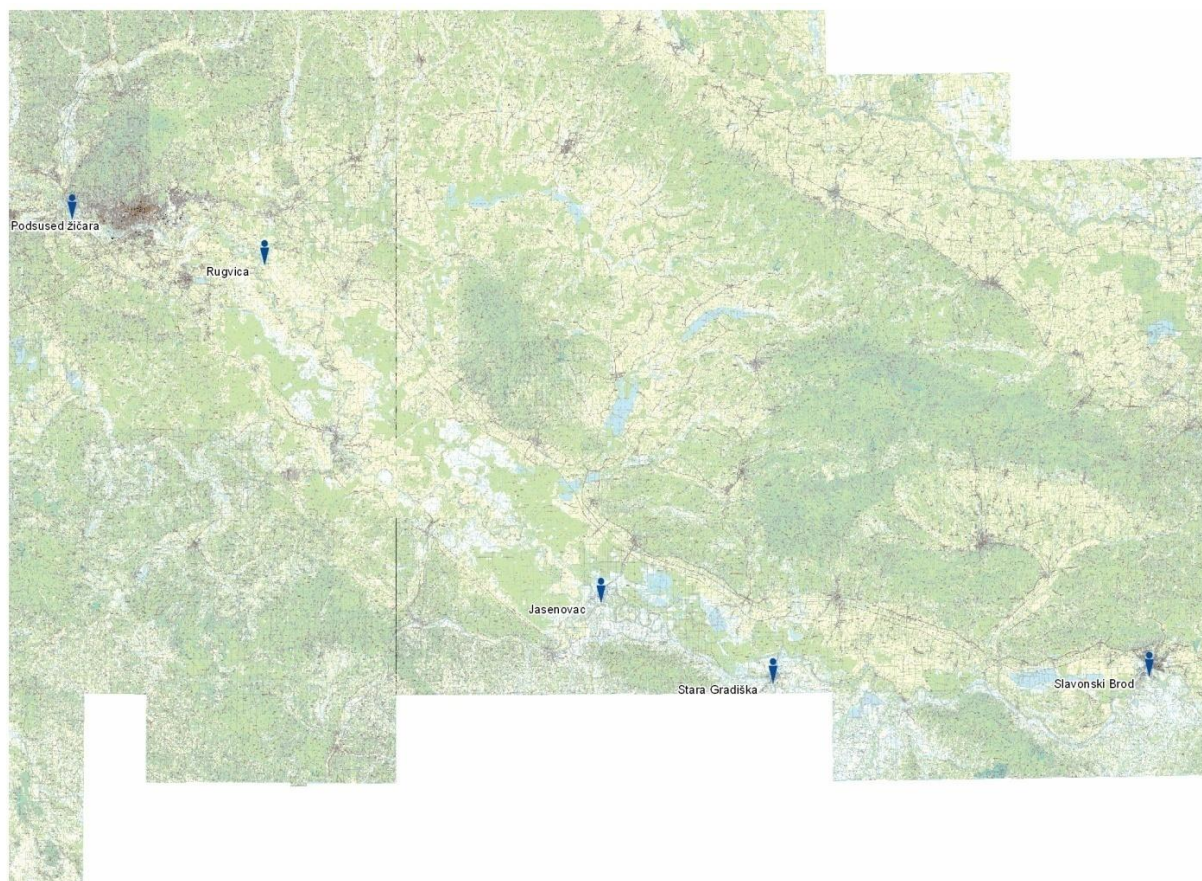
Tablica 2.2-1: Osnovni podaci o razmatranim hidrološkim stanicama na rijeci Savi (podaci su preuzeti od DHMZ-a i odnose se na današnje stanje)

Hidrološka stanica	Godina osnutka		Kota nule (m n.m.)	Udaljenost od ušća (km)	Površina sliva (km ²)	Vrsta mjerenja	Godina početka mjerenja protoka	Zapisano u HIS-u	
	Vodokaz	Limnigraf						vodostaj	protok
Podsused žičara	1885.	1964.	119,134	675,400	12316	H, Q, T, SN	1949.	1923-2016	1949-2016
Rugvica	1878.	1961.	95,612	636,300	12730	H, Q, T, SN	1926.	1923-2016	1926-2016
Jasenovac	1878.	1995.	86,820	500,500	38953	H,Q, T, SN	1926.	1900-2016	1926-2016
Stara Gradiška	1817.	1960.	85,467	453,400	40262	H,Q,	1937.	1900-2016	1937-2016
Slavonski Brod	1855.	1961.	81,800	360,000	50858	H,Q, T, SN	1926.	1900-2016	1926-2016

Napomena: H vodostaj
Q protok
T temperatura vode
SN suspendirani nanos

U nastavku se daje kratki zapis o povijesti mjerodavnih hidroloških stanica na Savi, također preuzet iz Baze hidroloških podataka hidrološkog informacijskog sustava HIS2000 DHMZ-a RH.

Dani su zapisi o promjenama lokacije ili kote nule i svim ostalim promjenama, podaci o mjerenjima protoka i jednadžbe krivulja protoka definirane na temelju rezultata vodomjerenja. Provedena je i sistematizacija i analiza raspoloživih snimki poprečnih presjeka na lokaciji stanice.



Slika 2.2-1: Prikaz razmatranih lokacija hidroloških stanica na rijeci Savi

Hidrološka stanica Podsused - Samobor osnovana je dana 1. siječnja 1885. god. na kolnom mostu ceste. Do 1897. god. kota "0" bila je nepoznata, a nakon te godine sve do 1912. god. objavljena kota "0" je 122,66 m n. m.

Dana 7. rujna 1964. god. postavljen je limnigraf na stanicu Podsused. Nova stanica pod imenom **Podsused žičara** osnovana je 18. listopada 1968. god, locirana je 2,2 km od kolnog mosta Jankomir i 0,8 km nizvodno od kolnog mosta Podsused. Kota "0" vodokaza je naknadno korigirana sa 119,225 m n. m. na 119,134 m n. m.

Limnigraf je na ovoj stanici postavljen 16. siječnja 1969. god. Dana 2. travnja 1973. god. ukinut je limnigraf Podsused (ali se očitavanja vodokaza i dalje provode).

Nova kota "0" primjenjuje se od 13. kolovoza 1976. god. i iznosi 119,134 m n. m. (vodokaz je trodijelni s rasponom od 0 do 700 cm).

Dana 27. rujna 1979. god. ukinut je vodokaz na stanici Podsused, na mostu.

Rekonstrukciji limnigrfske stanice Podsused žičara pristupilo se 29. travnja 1981. god. , pri čemu je postavljen peterodijelni kombinirani vodokaz na lijevoj obali i u koritu (s rasponom od -100 do 700 cm). Novi limnigraf postavljen je na nasipu 1. rujna 1988. godine.

Promjene kota "0" do izgradnje limnigrafa:

- 1885. - 1896. - ne postoji tehnička dokumentacija
- 1897. - 1912. - kota nule vodokaza bila je 122,66 m n. m.
- 1913. - 1922. - ne postoji tehnička dokumentacija
- 1923. - 1925. - kota nule vodokaza bila je 120,45 m n. m.
- 1926. - 1968. - kota nule vodokaza bila je 120,48 m n. m.
- 1968. - kota nule vodokaza 119,134 m n. m.

Vodomjerni profil nalazi se 35 m nizvodno od vodokaza, utvrđen je blokovima, a ranije i drvenim piramidama.

Ovo je važna stanica obzirom na svoj položaj uzvodno od preljeva Jankomir. Iz razlike protoka sa podacima stanice Zagreb obično se računa rasterećenje na preljevu Jankomir kada se pojave vode koje se preljevaju u kanal Odra. Danas do rasterećenja dolazi kod nešto većih protoka od projektnih, jer preljev, zbog velikog produbljenja Save na ovoj dionici, počinje kasnije funkcionirati. Produbljenje je razlog i otežanom definiranju konsumpcijskih odnosa u profilu Podsused, zbog čega je DHMZ 1996. godine prestao nekoliko godina objavljivati krivulje protoka.

U okviru ovog projekta sistematizirane su snimke poprečnog presjeka korita na lokaciji hidrološke stanice Podsused žičara. Na osnovi prikazanih snimki poprečnih presjeka u razdoblju od 1969. do 2016. godine može se reći da je u području malih i srednjih voda vidljiv trend produbljivanja korita u cijelom razdoblju za oko 2,5 m.

Profil h. s. Podsused žičara karakterizira veliki broj krivulja protoka definiranih u razdoblju od 1969. – 2016. Najveća je razlika nastupila između 1995.-1999. godine, gdje je u području malih i srednjih voda vidljivo znatno sniženje krivulje protoka, što potvrđuje prisutnost kontinuiranog procesa sniženje dna na lokaciji hidrološke stanice, a koja je vidljiva i na prethodno spomenutim snimkama poprečnog presjeka. Produbljenje je razlog i otežanom definiranju konsumpcijskih odnosa u profilu Podsused, zbog čega je DHMZ 1996. godine prestao nekoliko godina objavljivati krivulje protoka. U razdoblju 1996.-1998. godine, kada nisu definirani konsumpcijski odnosi, DHMZ protoke za te godine računa prema protočnoj krivulji za 1999. godinu.

Hidrološka stanica Rugvica je osnovana 1. siječnja 1878. godine. Vodokaz je četverodijelni, kombinirani (kosi i vertikalni) ukupnog raspona od -100 do 1000 cm. Motrenje pojave leda počelo je 1887. godine.

Kote "0" vodokaza:

1878. - 1896. Kota "0" nije objavljena u publikaciji "Opažanja vodostajah na riekah u kraljevini Hrvatske i Slavonije".

1897. - 1923. Kota "0" je 95,71 m n. m., objavljena u publikacijama : "Opažanja vodostajah na riekah u kraljevini Hrvatske i Slavonije " i u "Izvještaj o vodenim talozima, vodostajima i količinama vode".

1924. - 1925. Kota "0" je 95,75 m n. m. (uz 1925. g. je naznačen upitnik) objavljena u publikaciji "Izvještaj o vodenim talozima, vodostajima i količinama vode".

1926. Kota "0" je 95,63 m n. m. objavljena također u publikaciji "Izvještaj o vodenim talozima, vodostajima i količinama vode ".

1927. - 1959. Kota "0" je 95,60 m n. m. objavljena u publikacijama : "Izvještaj o vodenim talozima, vodostajima i količinama vode " i " Hidrološkom godišnjaku ".

Napomena: Kote "0" iz perioda 1924.-1925. i iz 1926. mogu se smatrati netočnima i mogu se potpuno odbaciti, te se za to razdoblje usvaja kota "0" 95,612 m n. m.

1959.- 1961. Kota "0" iznosi 95,61 m n. m.

20. 09. 1926. Nivelmanom provedenom po hidrografskom odsjeku ustanovljena kota "0" je 95,612 m n. m.

(direkcija voda broj 3996 / 27. str.16, red br.35.)

Dana 15. prosinca 1961. godine uz postojeći vodokaz postavljen je limnigraf. Vodokaz je

višedjelni, kombinirani, raspona -150 do 1100 cm. Kota "0" je ostala ista, te iznosi 95,612 m n. m.

Od 1940. godine motri se temperatura vode.

Budući da baza hidroloških podataka HIS 2000 ne raspolaže s krivuljama protoka na profilu h.s. Rugvica, promjene u koritu moguće je komentirati na osnovi raspoloživih snimke poprečnog presjeka korita na lokaciji stanice. U Poglavlju 3, sistematizirane su snimke poprečnog presjeka korita na lokaciji hidrološke stanice Rugvica, (kao i svih ostalih razmatranih stanica) na osnovi 5 novijih mjerenja. Na osnovi prikazanih poprečnih presjeka, u području malih i srednjih voda do 2008. godine dolazi do produblivanja korita, dok je u razdoblju 2008.-2009. godine došlo do zasipavanja korita nanosom za oko 1 m, a snimka iz 2014. godine ukazuje na daljnju eroziju korita.

Hidrološka stanica Jasenovac osnovana je dana 01.02.1878.

Vodokaz je od 1932. do 1934. godine bio 30 metara nizvodno od današnjeg mjesta vodokaza. Na to mjesto je bio premješten iz nepoznatih razloga, međutim vraćen je na današnje mjesto, jer je bio izložen oštećenju od šlepova.

U hidrološkim publikacijama objavljene su slijedeće informacije za kotu nule vodokaza:

- 1878.-1896. - kota "0" nije objavljena
- 1897.-1898. - kota "0" = 88,35 m n/m
- 1899.-1912. - kota "0" = 86,82 m n/m
- 1923.-1925. - kota "0" = 86,75 m n/m
- 1926.-1950. - kota "0" = 86,82 m n/m

Bez obzira na naprijed navedene promjene u registraciji kote "0", utvrđeno je prilikom analize grafikona godišnjih karakterističnih vodostaja da se "0" vodokaza u visinskom smislu od 1878.g. do danas nije mijenjalo. Prema tome, svi do danas registrirani vodostaji odnose se na današnju kotu nule "0" = 86,820 m n/m. Vodokaz se nalazi 1,5 km uzvodno od ušća Une u Savu. Dana 27.10.1995. godine postavljen je tlačni elektronski limnigraf.

Na stanici se od 1926. godine provode mjerenja protoka, s prekidima u razdoblju 1991-1996. godine zbog ratnih zbivanja.

Analizom rezultata mjerenja protoka u razdoblju 1926-2016. godina DHMZ je definirao 14 krivulja protoka, na temelju kojih su izračunati dnevni protoci u istom razdoblju.

Lokacije za mjerenje protoka su se od 1990.- tih mijenjale, što je opisano u literaturi 1-36. Prema zahtjevu „Hrvatskih voda“ mjerenje protoka se od 2007. godine ponovo vrši u profilu nizvodno od ušća Une u Savu, kao što je to bio slučaj prije Domovinskog rata, do 1990. godine. Stoga vrijednost protoka u Jasenovcu nakon 2007. godine predstavlja ukupni protok Save i Une, što je vidljivo na promjeni Q-H krivulje.

U okviru ovog projekta sistematizirani su raspoloživi podaci mjerenja vodostaja i odgovarajući podaci protoka sa h. s. Jasenovac utvrđeni od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske (HIS 2000). Obradom dnevnih podataka vodostaja i odgovarajućih protoka u navedenom razdoblju formirani su nizovi maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka.

Također su sistematizirani i u arhivi dostupni podaci snimljenih profila korita na lokaciji stanice, 4 profila za razdoblje 1999.-2014. godine.

Pri osnutku hidrološke stanice **Stara Gradiška** vodokaz se nalazio pričvršćen na hrastovim pilotima na pokosu lijeve obale, oko 1 km uzvodno od cestovnog mosta Okučani - Bosanska Gradiška. Vodokaz je bio vertikalni, stepenast, osmodjelni od 0-900 cm, s podjelom na 2 cm. Nula vodokaza bila je vezana na reper - željeznu ploču s kotom 95,438 m n/m. koja se nalazi na lijevoj strani ulaznih vratiju zgrade osnovne škole u Staroj Gradiški. Osim toga, u podnožju te zgrade postojao je još jedan reper s kotom 93,668 m n/m.

Prema postojećim arhivskim podacima vidljivo je da je kota "0" vodokaza STARA GRADIŠKA bila 85,583 m n/m.

1916.g. Vodokaz uništile visoke vode

1937.g. Obnovljen vodokaz i postavljen na kotu "0"= 85,403 m n/m.

1949.g. Ponovo obnovljen vodokaz, postavljen na istu kotu "0".

Od 14.09.1946. vrše se motrenja temperature vode.

Vodomjerenja se vrše od 1916.g. Vodomjerni profil se nalazi u vodokaznom profilu. Budući da se isti nalazi nizvodno od odvojka obrambenog kanala, kojim se odvodi velika voda Save iznad 700 cm, to se vodomjerenja osim na gore navedenom profilu vrše još i u tom kanalu Jurkovići nizvodno.

Dno vodotoka u vodokaznom profilu je pjeskovito sa sitnim šljunkom, a obale su zemljani nasipi.

Prije izgradnje obrambenog nasipa uz Veliki Strug i na lijevoj obali Save, velika voda je prelijevala i u lijevu obalnu inundaciju. Stoga se ukazala potreba za još jednim vodokazom.

Dana 01.09.1948. osnovana vodokazna stanica STARA GRADIŠKA - SAVA INUNDACIJA. Apsolutna kota "0" vodokaza iznosila je 89.252 m n/m., a udaljenost od ušća 5,95 km. Vodokaz je jednodjelni, vertikalni, od 0-500 cm, postavljen na trećem kolnom mostu od sela Nova Varoš prema Staroj Gradiški, pričvršćen uz drugi betonski stup mosta s nizvodne strane i okrenut prema desnoj obali.

Na toj stanici su se vršila motrenja vodostaja visoke vode Save i Velikog Struga nakon prelijevanja u lijevoobalnu inundaciju i zaobalne vode koje gravitiraju u kanal. Podaci o vodostajima nalaze se u arhivi Hidrološkog odjela DHMZ-a.

Osim toga povremeno su se vršila mjerenja protoke na inundaciji, na otvorima mostova na cesti Okučani - Bosanska Gradiška, a na potezu Nova Varoš - Stara Gradiška. Ovo je vršeno sve do 1957.g., kada su dovršeni obrambeni nasipi na lijevoj obali Save i na Malom Strugu. Obzirom na izgrađene obrambene nasipe više nije dolazilo do prelijevanja u inundaciju pa je 30.06.1964. stanica ukinuta.

Dana 05.03.1960. postavljen je limnigraf. Kota "0"= 85,39 m n/m. Stanica s limnigrafom smještena je na lijevom riječnom stupu kolnog mosta. Kod limnigrafa nalazi se dvodjelni, vertikalni vodokaz od 0 - 900 cm, s podjelom na 2 cm.

Budući da u razdoblju od 05.03.1960. do 21.09.1962. uz limnigraf nije bio postavljen vodokaz, vodostaji su vezani uz vodokaz BOSANSKA GRADIŠKA, koji se nalazio u istom profilu, samo uz desnu obalu. Sadašnji vodokaz uz limnigraf postavljen je na istu kotu "0" = 85,39 m n/m., koju je imao i bivši vodokaz Bosanska Gradiška, na kojem se prestalo

očitatavati vodostaje 01.05.1963.

S obzirom na neznatnu razliku u visinama između kote "0" vodokaza ST. GRADIŠKA 85,403 m n/m. i kote "0" limnigrafa iste stanice 85,39 m n/m., vodostaji sa vodokaza uz limnigraf mogu se nastavno koristiti s vodostajima sa vodokaza STARA GRADIŠKA.

Od 1960.- 1964.g. vodostaji sa limnigrafa nisu objavljeni, nego se nalaze u arhivi Hidrološkog odjela.

Dana 12.08.1977. izvršen je nivelman i određene je nova kota "0" = 85,467 m n/m.

Godine 1996. nakon Domovinskog rata, stanica je obnovljena na drugoj lokaciji, 20 m nizvodno od bivšeg vodokaza i oko 150 m nizvodno od graničnog prijelaza Gradiška. Vodokaz je vertikalni, stepenasti po 1 m, raspona od -100 do 900 cm. Kota "0" = 85,467 m n/m.

Analizom rezultata mjerenja protoka u razdoblju 1937-2016. godina DHMZ je definirao 12 krivulja protoka na h. s. Stara Gradiška, na temelju kojih su izračunati dnevni protoci u istom razdoblju.

U okviru ovog projekta sistematizirani su raspoloživi podaci mjerenja vodostaja i odgovarajući podaci protoka sa h. s. Stara Gradiška utvrđeni od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske (HIS 2000). Obradom dnevnih podataka vodostaja i odgovarajućih protoka u navedenom razdoblju formirani su nizovi maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka.

Također su sistematizirani i u arhivi dostupni podaci snimljenih profila korita na lokaciji stanice u novijem razdoblju 2001. -2015. godine.

Hidrološka stanica **Slavonski Brod** osnovana je 1855.g. i bila je smještena na lijevoj obali Save, kod ušća Mrsunje, neposredno uzvodno od cestovno-željezničkog mosta. Kota "0" vodokazne letve iznosila je 81,80 m n.m.

Dana 19.10.1961. postavljeni je limigraf i vodokaz oko 120 metara nizvodno od starog vodokaza. Kota nule je ostala ista. Dana 01.01.1965. ukinut je stari vodokaz.

U razdoblju 1855.-1964. godine na osnovu obrade podataka paralelnih očitavanja izvršenih na obje stanice zaključeno je da nema značajnih razlika u očitanim vodostajima, te da prikupljeni podaci na obje stanice čine jedinstven niz. Stoga će se podaci o vodostajima i protokama sa starog vodokaza nastavno koristiti i primjenjivati na limnigraf Slavonski Brod, koji će jedini ubuduće registrirati vodostaje Save na toj lokaciji.

Dana 12.08.1969. izvršena je rekonstrukcija, bez bitnijih promjena.

Na tom dijelu toka Save gotovo redovito se izvode radovi na održavanju plovnog puta, a vrši se i eksploatacija šljunka za potrebe građevinarstva.

Na stanici Slavonski Brod se od 1926. godine provode mjerenja protoka, s prekidima u razdoblju 1993-2004. godine. Analizom rezultata mjerenja protoka u navedenom razdoblju DHMZ je definirao 14 krivulja protoka, na temelju kojih su izračunati dnevni protoci u istom razdoblju.

U okviru ovog projekta sistematizirani su raspoloživi podaci mjerenja vodostaja i odgovarajući podaci protoka sa h. s. Slavonski Brod utvrđeni od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda Republike Hrvatske (HIS 2000). Obradom dnevnih podataka vodostaja i odgovarajućih protoka u navedenom razdoblju formirani su nizovi maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka.

Također su sistematizirani i u arhivi dostupni podaci snimljenih profila korita na lokaciji stanice, profil u 1983. godini i u novijem razdoblju još 3 snimke profila za razdoblje 2001. - 2015. godine.

U *Prilogu poglavlju 2.2.2-1* tablično su prikazani karakteristični mjesečni i godišnji vodostaji i odgovarajući protoci Save (s pripadajućom osnovnom statističkom obradom) za razmatrane mjerodavne hidrološke stanice za raspoloživo razdoblje obrade. Uz tablični iskaz, dan je i grafički prikaz hoda maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka. Vodostaji su osim u relativnim visinama (cm), iskazani i u apsolutnima prema kotama nule danim u tablicama po evidenciji DHMZ-a koje se odnose na „stari“ sustav mjerenja (prema Trstu).

U *Prilogu poglavlju 2.2.2-2* dan je grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka, koje je DHMZ definirao i koristio za proračun satnih, odnosno dnevnih protoka na stanicama Podsused žičara, Jasenovac, Stara Gradiška i Slavonski Brod.

U *Prilogu poglavlju 2.2.2-3* tablično i grafički dani su prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Savi.

U nastavku je u tablici 2.2-2 dan prikaz u HIS-u raspoloživih i za potrebe ovog projekta sistematiziranih podataka o vodostaju i protoku na razmatranim hidrološkim stanicama na Savi.

2.2.3 Postojeći podaci o nanosu

2.2.3-1 Opća razmatranja o riječnom nanosu

I za monitoring nanosa na rijeci Savi zadužen je također Državni hidrometeorološki zavod R Hrvatske, Sektor za hidrologiju. Treba naglasiti da u novije vrijeme na predmetnoj dionici Save nisu vršena mjerenja vučenog nanosa već se mjeri samo koncentracija, pronos i sastav suspendiranog nanosa i nanosa s dna.

2.2.3-2 Suspendirani nanos

Postupci mjerenja suspendiranog nanosa

Suspendirani nanos pronosi se po čitavom poprečnom presjeku vodotoka u lebdećem stanju, a brzina kretanja mu je podjednaka brzini tečenja vode.

Mjerenja suspendiranog nanosa na Savi sastavni su dio sustava redovitog hidrološkog praćenja, a uključuju sljedeće:

- Svakodnevna mjerenja koncentracije nanosa iz jedne točke pri površini na ukupno četiri stanice na rijeci Savi (Podsused žičara, Rugvica, Jasenovac i Slavonski Brod) i šest stanica na pritokama;
- Proračun dnevnog pronosa suspendiranog nanosa na navedenim hidrološkim stanicama na rijeci Savi, na temelju točkastog uzorkovanja;
- Periodička profilna mjerenja koncentracije i sekundnog pronosa nanosa na tri lokacije na rijeci Savi (Podsused žičara, Rugvica i Jasenovac);
- Periodička analiza granulometrijskog sastava suspendiranog nanosa na navedene tri lokacije na rijeci Savi.

Na osnovi svakodnevnih podataka o koncentracijama (g/m^3) suspendiranog nanosa unutar jednog uzorka i srednjim dnevnim protocima (m^3/s), izračunavaju se dnevni podaci o pronosu suspendiranog nanosa (t/dan). Sva tri spomenuta dnevna podatka za aktivna mjerna mjesta na rijeci Savi DHMZ redovito upisuje u Bazu hidroloških podataka hidrološkog informacijskog sustava HIS2000 DHMZ-a RH.

Povremena profilna mjerenja vršena su protočnim ili vakum batometrom, tj. uzimanjem većeg broja uzoraka unutar jednog mjerenja, i to po tri (površina, sredina i dno) na svakoj postojećoj vodomjernoj vertikali uzduž poprečnog presjeka.

Prilikom laboratorijske obrade uzoraka dobivenih profilnim mjerenjem, sva tri uzorka s pojedine vertikale spoje se u skupni uzorak na temelju kojeg se određuje srednja koncentracija suspendiranog nanosa svake pojedine vertikale (g/m^3). Na osnovi takvih srednjih koncentracija određuje se srednja profilna koncentracija suspendiranog nanosa (g/m^3), koja zajedno s istovremeno izmjerenim protokom vode (m^3/s) čini bazu za izračun sekundnog profilnog pronosa suspendiranog nanosa (kg/s).

Na osnovi povremenih profilskih mjerenja suspendiranog nanosa definirane su regresijske krivulje ovisnosti koncentracije suspendiranog nanosa i regresijska krivulja ovisnosti pronosa nanosa s protokom vode od početka mjerenja do zadnje mjerene godine.

Od 2012. godine došlo je do određene modernizacije u metodologiji profilskih mjerenja, stoga su rezultati obrada značajno poboljšani i daju širi spektar prostornih i vremenskih informacija o kretanju nanosa unutar poprečnog profila ili duž određene dionice vodotoka. Sa novom metodom obrade korištenjem ADCP mjerenja moguće je točno utvrditi do kakvih pojava po pitanju erozije ili taloženja dolazi na pojedinim kritičnim mjestima, npr. uz stupove mostova, na dnu korita ili uz obale.

Postupak mjerenja suspendiranog nanosa provodi se u skladu sa normom ISO 4363:2002 (Mjerenje tekućine u otvorenim kanalima – metode mjerenja karakteristika suspendiranog sedimenta). Brzine vode, protoci i konfiguracija dna mjere se ultrazvučnim mjerачem brzina ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), a uzorci vode se uzimaju protočnim batometrom na 6 profilskih vertikala po širini protočnog presjeka. Uzorci se najčešće uzimaju u 3 točke po dubini svake vertikale (površina, sredina dubine, pri dnu) i više se ne spajaju u jedan kao do sada, nego se svaki pojedinačni uzorak vode (2 l) laboratorijski obrađuje kako bi se u određenoj točki dobile realne vrijednosti koncentracije suspendiranog nanosa (g/l). Naime, već od 2012. godine se obrada profilskih koncentracija suspendiranog nanosa vrši po novoj metodi, koristeći dodatni programski paket „ViSea 4.0“. Metoda je relativno nova i koristi se u europskoj i svjetskoj hidrološkoj praksi tako što se naknadnom obradom mjerenja učinjenih ADCP-om vrši konverzija prigušenja ultrazvučnog signala u stvarnu koncentraciju suspendiranog nanosa. Pri tom se koriste rezultati analize stvarnih uzoraka uzetih na pojedinim vertikalama, odnosno lokacijama i dubinama duž poprečnog presjeka te se pomoću njih definira korelacijski odnos između prigušenja akustičnog signala i stvarne koncentracije suspendirane tvari u poznatoj točki. Koristeći pojedinačne uzorke zahvaćene na određenim lokacijama (pri dnu, u sredini dubine ili pri površini) dobije se točnija analiza raspodjela koncentracije nanosa po cijelom protočnom profilu te se time postiže preciznija analiza, odnosno točna raspodjela kretanja suspendiranog nanosa u raznim dijelovima poprečnog presjeka, npr. pri dnu, uz obale, oko hidrotehničkih građevina i sl.

Pri tom postupku se zapravo koristi najvažnija osobina ultrazvučnog signala, a to je da intenzitet povratnog signala ovisi o količini suspendiranog nanosa u vodi (engl. absolute backscatter) kao i njegovom sastavu. Zapravo, mjerenje brzine toka ADCP-om u potpunoj čistoj vodi ne bi bilo moguće jer je za povrat ultrazvučnog signala potrebna neka čvrsta čestica od koje se on odbija, što u slučaju tekućine u otvorenim koritima upravo predstavlja suspendirani nanos. Prigušenje signala ovisi i o veličini i sastavu čvrstih čestica u vodi pa se iz tog razloga, prije samog profilskog mjerenja, uzima integratorski uzorak vode po cijelom protočnom profilu koji služi za analizu granulometrijskog sastava suspendiranog nanosa.

Temeljem opisanog postupka u novije vrijeme utvrđene su vrijednosti srednjih profilskih koncentracija kao i sekundni profilski pronosi suspendiranog nanosa. Rezultati za svako pojedino mjerenje, dani su u tabelarnim prikazima u prilogima ovom poglavlju.

Dosadašnja mjerenja suspendiranog nanosa na Savi u Hrvatskoj

Svakodnevna uzorkovanja riječne vode s površine radi određivanja koncentracije i kasnijeg izračunavanja pronosa suspendiranog nanosa započela su na Savi kod Slavenskog Broda 1960. godine i traju do danas u navedenom profilu s prekidima u mjerenju u razdoblju 1993-2004. godine. Potkraj sedamdesetih godina takva su mjerenja započela i na lokacijama h.s. Podsused, h.s. Rugvica i h. s. Jasenovac. Osim navedenih mjernih mjesta mjerenje se od 1963. godine vršilo u još jednom profilu h. s. Stara Gradiška koje je ukinuto 1991. godine.

Sva spomenuta mjerenja vrši DHMZ i njihove rezultate (dnevne koncentracije i pronose suspendiranog nanosa) redovito objavljuje u Banci hidroloških podataka – HIS 2000.

Podaci su za potrebe ovog projekta preuzeti iz HIS-a, a tablični i grafički prikaz karakterističnih mjesečnih i ukupnih mjesečnih i godišnjih pronosa suspendiranog nanosa na Savi u Hrvatskoj, kao i mjesečne i godišnje koncentracije suspendiranog nanosa dobiveno na osnovi svakodnevnih uzorkovanja dan je u [Prilogu poglavlju 2.2.3.](#)

Povremena profilna mjerenja na predmetnoj dionici vrše se redovito od 1978. godine na hidrološkim stanicama Rugvica i Jasenovac, a od 1985. godine i na h. s. Podsused žičara. Osim na ovim profilima raspoloživa su i profilna mjerenja izvršena u razdoblju od 1985. do 1991. godine i u profilu h. s. Stara Gradiška.

Na svim spomenutim lokacijama povremeno su uzimani i integratorski uzorci s površine rijeke radi određivanja granulometrijskog sastava suspendiranog nanosa.

Rezultati mjerenja profilskih koncentracija i pronosa suspendiranog nanosa dani su u godišnjim izvještajima izrađenim od strane DHMZ-a - Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na slivu Save (lit. 1-36), dobiveni za potrebe ovog projekta za razdoblje 1980. do 2016. godine. Navedeni podaci su sistematizirani i dani tablično i grafički u [Prilogu poglavlju 2.2.3.](#) U tablicama su za mjerene profile na Savi navedene srednja profilna koncentracija suspendiranog nanosa (kg/m^3) i profilski pronos suspendiranog nanosa (kg/s) uz pripadajući vodostaj i protok Save toga dana.

Na osnovi povremenih profilskih mjerenja pronosa suspendiranog nanosa definirane su regresijske zavisnosti koncentracije suspendiranog nanosa s protokom vode i regresijske krivulje zavisnosti pronosa suspendiranog nanosa s protokom vode od početka mjerenja do te godine.

Grafički i analitički prikazi regresijskih zavisnosti koncentracije suspendiranog nanosa s protokom vode, dobivenih na osnovi rezultata povremenih profilskih mjerenja na h.s. Podsused, h.s. Rugvica i h. s. Jasenovac na Savi dani su u [Prilogu poglavlju 2.2.3.](#) Regresijske zavisnosti pronosa suspendiranog nanosa s protokom vode na istim lokacijama dane su u istom [Prilogu poglavlju 2.2.3.](#) Na stanici Stara Gradiška nije dan prikaz regresijske zavisnosti s protokom vode, zbog prestanka profilskih mjerenja u tom profilu.

Iako su na h. s. Podsused mjerenja suspendiranog nanosa započeta od 1985. godine, prema analizi DHMZ-a nakon 1992. godine javlja se sniženje koncentracije suspendiranog nanosa. Iz tog razloga u [Prilogu poglavlju 2.2.3.](#) dana je regresijska krivulja pronosa suspendiranog nanosa za razdoblje 1992. – 2016.

Uočeno je da su se vrijednosti koncentracija od 1992. godine smanjile za 5 do 10 puta u odnosu na period do 1991. godine. Razlog toj promjeni vrlo vjerojatno leži u izgradnji brana i akumulacija na uzvodnom dijelu toka u Sloveniji, posebice na donjoj Savi: HE Vrhevo – radi od 1993., HE Boštanj – radi od 2006., HE Blanca – radi od 2009., HE Krško – puštena u rad 2013. godine, te HE Brežice puštena u pogon 2017. godine.

U starijim godišnjim izvještajima za profil Sava Rugvica definirana je regresijska krivulja za cijeli period mjerenja od 1978. godine. Iz tih prikaza jasno je vidljivo znatno smanjenje profilne koncentracije mjerene pri istim protocima u 80-tim godinama u odnosu na noviji

period. Osim toga i koeficijent raspršenja $r = 0,5$ pokazivao je velik rasap točaka, stoga je u zadnjem izvještaju iz 2016. godine definiran novi korelacijski odnos za period 1992.-2016 (prikazan u *Prilogu poglavlju 2.2.3*).

Grafički prikaz korelacijske zavisnosti profilske koncentracije i pronosa suspendiranog nanosa sa protokom vode definiran u zadnjem izvještaju za 2016. godinu na profilu Sava Jasenovac dan je za razoblje 2009-2016. godine (prikazan u *Prilogu poglavlju 2.2.3*). Profilsko mjerenje suspendiranog nanosa mjeri se od 2009. u profilu nizvodno od ušća Une u Savu, tako da su u grafičkim priložima prikazani samo rezultati mjerenja posljednjih osam godina. Veliko raspršenje rezultata i nizak koeficijent korelacije $r = 0,16$ u slučaju korelacijske zavisnosti $\rho = f(Q)$, ukazuju na promjenjive hidrodinamičke uvjete na ušću Save i Une te stoga odnos nije stabilan.

U svrhu istraživanja odnosa između srednje profilske koncentracije suspendiranog nanosa i površinske koncentracije nanosa iz jedne točke uz obalu, prilikom profilskog mjerenja suspendiranog nanosa, uzima se i površinski uzorak nanosa također iz jedne točke uz obalu. Na osnovi svih parova vrijednosti u razmatranom periodu, izrađuje se grafički prikaz korelacijske zavisnosti srednje profilske koncentracije suspendiranog nanosa i površinske koncentracije nanosa iz jedne točke uz obalu $\rho_{\text{PROF}} = f(\rho_{\text{POV}})$, kako je prikazano u *Prilogu poglavlju 2.2.3*.

Stupanj korelacije između rezultata dobivenih na osnovu svakodnevnih mjerenja suspendiranog nanosa uzimanjem jednog površinskog uzorka i rezultata dobivenih primjenom regresijskih krivulja dobivenih na temelju povremenih profilskih mjerenja je vrlo nizak te se podaci o godišnjim pronosima suspendiranog nanosa značajno razlikuju. Osnovni uzrok spomenutim razlikama je različit pristup mjerenju suspendiranog nanosa. Svakodnevni uzorci za analizu suspendiranog nanosa na h. s. Podsused žičara uzimaju se sa mosta u Podsusedu u jednoj točki u matici rijeke, gdje je brzina toka vode veća od osrednjene brzine toka vode u poprečnom profilu te se time dobiva veća koncentracija suspendiranog nanosa u odnosu na stvarnu koncentraciju suspendiranog nanosa u poprečnom profilu.

Na h. s. Rugvica svakodnevni uzorci za analizu suspendiranog nanosa uzimaju se na lijevoj obali rijeke. Brzina toka rijeke na rubnim dijelovima korita je manja od osrednjene brzine toka vode u poprečnom profilu, te se time dobiva znatno manja koncentracija suspendiranog nanosa u odnosu na stvarnu koncentraciju suspendiranog nanosa u poprečnom profilu.

Profilsko mjerenje pronosa suspendiranog nanosa uzima u obzir cijeli poprečni profil rijeke te sukladno tome daje pouzdanije rezultate.

Kao što je već ranije napomenuto, profilska mjerenja suspendiranog nanosa kod Jasenovca od 2009. vrše se iz čamca, nizvodno od ušća Une u Savu, budući da se u tom profilu vrše i mjerenje protoka.

Treba naglasiti da su za vrijeme profilskih mjerenja uzimani integratorski uzorci vode na osnovi kojih su za hidrometrijske profile Podsused, Rugvica i Jasenovac u laboratoriju definirane granulometrijske krivulje suspendiranog nanosa, kao i za Staru Gradišku, ali do 1991. godine.

U zadnjim izvještajima se navodi, da su uzorci obrađeni u DHMZ-u, u laboratoriju Odjela za

nanos i morfologiju riječnih korita, kombiniranom metodom prosijavanja i pipetiranja po Andreasenu, odnosno proračunom brzine tonjenja pojedinih frakcija suspendiranih čestica (ISO 4365:2005).

U razdoblju od 1980. do 2016. godine povremeno su uzimani i uzorci nanosa sa dna Save na tri profila Podsused, Rugvica i Jasenovac, a rezultati analiza objavljuvani također u Godišnjim izvještajima DHMZ-a (lit. 1-36). Za Podsused zadnji podaci mjerenja su iz 1995. godine.

U zadnje vrijeme granulometrijsku analizu nanosa sa dna vrši Geotehnički fakultet u Varaždinu prema normi HRS CEN ISO/TS 17892-4:2004, metodom sijanja i areometriranja odnosno primjenom kombinirane metode, zbog značajnog udjela finih frakcija u uzorcima nanosa sa dna. Nanos sa dna riječnog korita uziman je hvatačem ("grajferom") u 5 točaka na dnu (uz lijevu i desnu obalu, te 3 u sredini), tj. na različitim stacionažama duž poprečnog profila počevši s lijeve obale.

Na svakom ispitivanom uzorku izvršeno je mjerenje dimenzija najvećeg nađenog zrna. Dimenzije su iskazane u mm, kao dužina a , širina b i debljina zrna c . Iz granulometrijskih krivulja su posebnim matematičkim algoritmom izračunati karakteristični promjeri zrna d_{10} , d_{50} , d_{90} i d_{sr} , kao i koeficijenti jednoličnosti C_u i koeficijent zakrivljenosti C_c koji služe za ocjenu graduiranosti nekoherentnog materijala. Klasifikacija materijala provedena je prema USCS sustavu.

U navedenim godišnjim izvještajima DHMZ-a (lit. 1-36) obrađeni su prethodno navedeni rezultati povremeno uzimanih integratorskih uzoraka s površine rijeke i nanosa sa dna na spomenutim lokacijama radi određivanja granulometrijskog sastava nanosa. Za potrebe ovog projekta rezultati analiza preuzeti su iz navedenih godišnjih izvještaja i tabelarno i u vidu granulometrijskih krivulja dani su u *Prilogu poglavlju 2.2.3.*

Tablica 2.2-3: Pregled mjernih mjesta za mjerenje koncentracije i pronosa suspendiranog nanosa na Savi u Hrvatskoj

MJERNA STANICA	VRSTA MJERENJA	NAČIN UZIMANJA UZORKA	KONTINUITET MJERENJA	RAZDOBLJE MJERENJA
h. s. Podsused žičara	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1979-2016
	Profilsko	Batometar	Povremeno	1979-2016
h. s. Rugvica	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1978-1995 2000-2003 2005 2007-2013 2015-2016
	Profilsko	Batometar	Povremeno	1978-2016
h. s. Jasenovac	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1978-1991 1997-20016
	Profilsko	Batometar	Povremeno	1978-2016
h. s. Stara Gradiška	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1963-1964 1966-1991
	Profilsko	Batometar	Povremeno	1985-1991
h. s. Slavonski Brod	U jednoj točki	Posudom	Svakodnevno	1960-1993 2004-2016
	Profilsko			-

2.2.3-3 Vučeni nanos

Mjerenja pronosa vučenog nanosa na analiziranoj dionici rijeke Save vršila su se s povremenim prekidima na lokaciji h. s. Podsused žičara i h. s. Rugvica.

Na lokaciji h. s. Podsused žičara prva mjerenja provedena su 1968. i 1969. godine. Tijekom razdoblja od 1970. do 1974. godine nisu vršena nikakva mjerenja vučenog nanosa. Tijekom razdoblja od 1975. do 1986. godine mjerenja vučenog nanosa vršena su redovito, tj. svake godine je izvršeno nekoliko serija profilskih mjerenja. Nakon 1986. godine više se ne provode mjerenja vučenog nanosa na Savi.

Na lokaciji h. s. Rugvica zadnji dostupni podaci mjerenja vučenog nanosa datiraju iz 1984. godine.

Na osnovu rezultata takvih mjerenja DHMZ je svake godine definirao:

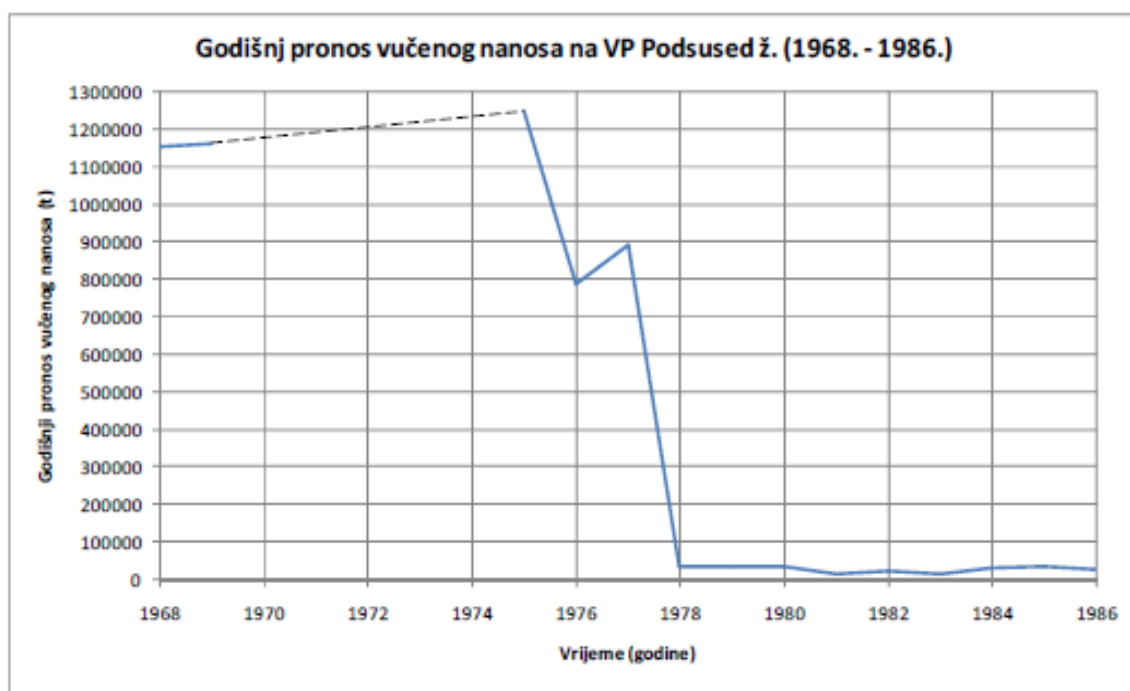
- regresijsku krivulju ovisnosti pronosa vučenog nanosa s protokom vode za razdoblje od početka mjerenja do te godine
- ukupne godišnje pronose vučenog nanosa određene na osnovi odgovarajuće regresijske krivulje pronosa vučenog nanosa i protoka vode.

Nastavno je na slici 2.2-2 dan grafički prikaz godišnjih pronosa vučenog nanosa dobivenih na osnovi odgovarajućih regresijskih ovisnosti na h. s. Podsused žičara tijekom razdoblja 1968. – 1986. godine., koji je preuzet iz elaborata „Identifikacija utjecajne zone podvodnog regulacijskog praga u koritu rijeke Save kod TE-TO Zagreb“, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1994. (lit. 75).

Analizom godišnjeg pronosa vučenog nanosa na h. s. Podsused žičara tijekom mjenog razdoblja vidljivo je značajno smanjenje pronosa nakon 1975. godine, tj. početkom izgradnje uspornog praga na Savi za potrebe NE Krško te je taj proces nastavljen do današnjih dana.

Osim utvrđivanja količina pronošenog vučenog nanosa, u okviru godišnjih izvještaja izrađenih od strane DHMZ-a, mjerenje pronosa vučenog nanosa na Savi kod Podsuseda (lit. 37-43), koji su dobiveni za potrebe ovog projekta za raspoloživo razdoblje 1980. do 1986. godine, analiziran je i njegov granulometrijski sastav, kako za profilska mjerenja, tako i za mjerenja izvršena na statističkoj vertikali u profilu Podsused.

Za potrebe ovog projekta rezultati analiza u profilu Podsused preuzeti su iz navedenih godišnjih izvještaja i tabelarno i u vidu granulometrijskih krivulja vučenog nanosa dani su u Prilogu poglavlju 2.2.3.



Slika 2.2-2: Godišnji prinos vučenog nanosa na h. s. Podsused ž. (1968. – 1986.), preuzet iz (lit. 75)

2.2.4 Podaci i informacije o eksploataciji riječnog nanosa iz savskog korita

Eksploatacija šljunka bitno utječe na formiranje savskog korita. Uz pojačanu eroziju korita koja je rezultat regulacijskih radova na rijeci (nasipi, usporni pragovi), eksploatacija šljunka je dodatno pridonijela sniženju dna korita u rijeci Savi.

Podaci o eksploataciji šljunka na predmetnom području preuzeti su iz elaborata „Eksploatacija šljunka na potezu od Rugvice do Jesenica na Dolenjskem“, VRO za vodno područje sliva Save, OOUR „Vodoprivreda Zagreb“, Zagreb, 1985. Iz spomenutog elaborata preuzete su za potrebe ovog projekta lokacije za eksploataciju šljunka na analiziranoj dionici Save.

Prema Odluci u sklopu Vodoprivredne osnove Grada Zagreba iz 1994. godine predviđena je sanacija i zatvaranje svih postojećih šljunčara do 2000. godine (lit. 75).

U razdoblju od 1985. do 2011. godine, prema službenim podacima iskopano je 5.250.000,0 m³ šljunka. Potrebno je naglasiti da su nabrojene lokacije i navedena količina iskopanog šljunka službeni podaci te nužno ne odgovaraju stvarnom stanju na terenu jer nije uzeta u obzir eksploatacija šljunka koja nije bila evidentirana.

Nastavno je u tablici 2.2-4 dan popis lokacija za eksploataciju šljunka na rijeci Savi

Tablica 2.2-4: Tablični prikaz lokacija za eksploataciju šljunka preuzet iz elaborata „Eksploatacija šljunka na potezu od Rugvice do Jesenica na Dolenjskem“, VRO za vodno područje sliva Save, OOUR „Vodoprivreda Zagreb“, Zagreb, 1985.

Red. broj	Stacionaža	Ime lokacije	Tip eksploatacije
1.	712+400 – 712+000	Jankomir (sprudovi uz lijevu obalu)	A
2.	711+700 – 711+500	Jankomir (sprudovi uz lijevu obalu)	A
3.	711+200 – 711+000	Jankomir (sprudovi uz desnu obalu)	A
4.	711+110 – 710+685		D
5.	709+650 – 709+300		D
6.	707+800 – 707+600	Opatovina (sprudovi uz desnu obalu)	A
7.	707+510 – 706+120		D
8.	707+500 – 705+425	Opatovina (korito)	C
9.	704+150 – 703+640		D
10.	694+200 – 693+400	Petruševac (sprudovi uz lijevu obalu)	A
11.	692+600 – 693+400	Petruševac (korito)	C
12.	692+300 – 691+000	Petruševac (sprudovi uz lijevu obalu)	A
13.	690+700 – 690+400	Šćitarjevo (sprudovi uz lijevu obalu)	A
14.	690+400 – 689+800	Šćitarjevo (sprudovi uz desnu obalu)	A
15.	686+900 – 686+300	Drenje (korito)	C
16.	686+400 – 680+900	Drenje (inundacije)	A i B

Tipovi eksploatacije:

- (A) - postojeća lokacija na kojoj se eksploatira šljunak sa sprudova suhozemnom mehanizacijom (bagerima) i to unutar reguliranih obala korita u vremenu malih voda
- (B) - postojeća lokacija na kojoj se eksploatira šljunak iz inundacija (taložnica Hruščica) suhozemnom metodom (bagerima) i to sukcesivnim iskopom u punom iznosu prema obalama taložnice Hruščica
- (C) - postojeća lokacija na kojoj se eksploatira šljunak posebnom vrstom bagera s poteznom košarom prilikom tehničkog čišćenja korita u punom presjeku
- (D) - potencijalna lokacija za eksploataciju šljunka

2.3 Prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka o nanosu na rijeci Dunav

2.3.1 Opći podaci o području istraživanja

Rijeka Dunav ukupne površine sliva od 817 000 km² i ukupne duljine od 2780 km pripada crnomorskom slivu. U Hrvatsku ulazi iz Mađarske uzvodno od Batine u Baranji i nakon nekoliko kilometara toka postaje pogranična rijeka koja u velikoj mjeri tvori državnu granicu sa susjednom Srbijom. Ukupna površina neposrednog sliva Dunava u Hrvatskoj bez slivova Save i Drave iznosi 2 120 km², a ukupna duljina toka Dunava u Hrvatskoj iznosi 138 km. Značajne pritoke Dunava u Hrvatskoj su Drava, Baranjska Karašica i Vuka. Srednji protoci Dunava u Hrvatskoj kreću se od oko 2 300 m³/s na ulazu iz Mađarske do oko 2 900 m³/s na izlazu prema Srbiji, a srednji maksimalni godišnji protoci od 4 800 m³/s do 5 400 m³/s.

Prema srednjem mjesečnom hodu zabilježenih vodostaja Dunava, maksimalni vodostaji rijeke Dunav bili su u lipnju, uz sekundarni maksimum početkom prosinca. Glavni minimum javlja se u siječnju, a sekundarni u listopadu.

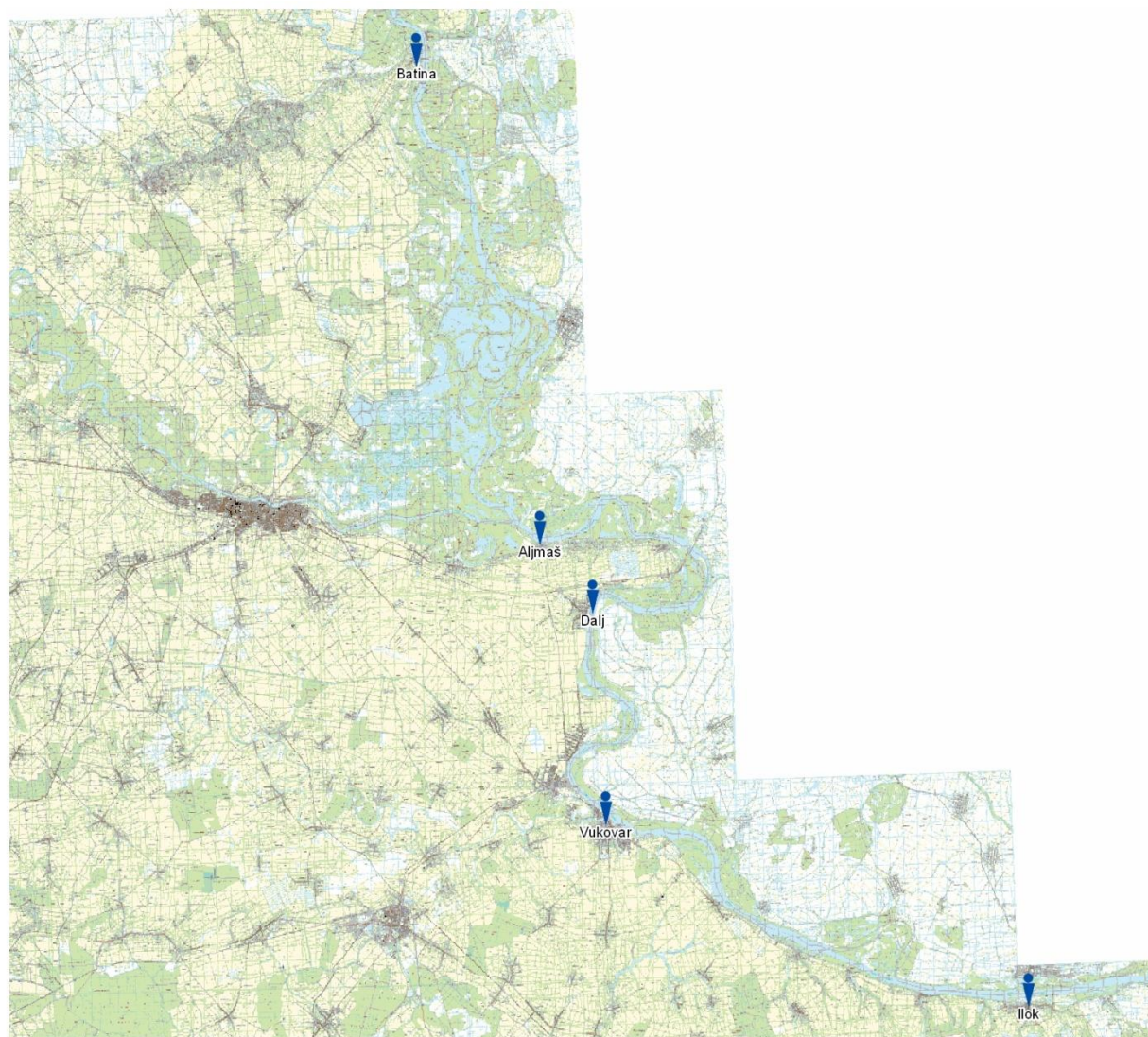
2.3.2 Hidrološke podloge - osnovni podaci, zapisi o hidrološkim stanicama, krivulje protoka i podaci o poprečnim presjecima u profilima hidroloških stanica na Dunavu

Na predmetnom području kao mjerodavne hidrološke stanice razmatrane su stanice Batina, Aljmaš, Dalj, Vukovar i Ilok na Dunavu. U nastavku se daje prikaz lokacija hidroloških stanica (slika 2.3-1), te njihov opis. Opisi sadrže povijesni razvoj stanica, podatke o koti nule vodokaza, te sistematizirane podatke o zabilježenim vodostajima, protocima i poprečnim profilima. Svi podaci preuzeti su iz Baze hidroloških podataka hidrološkog informacijskog sustava HIS 2000 DHMZ-a Republike Hrvatske.

Tablica 2.3-1: Osnovni podaci o hidrološkim stanicama na rijeci Dunav (podaci su preuzeti od DHMZ-a i odnose se na današnje stanje)

Hidrološka stanica	Godina osnutka		Kota nule (m n.m.)	Udaljenost od ušća (km)	Površina sliva (km ²)	Vrsta mjerenja	Godina početka mjerenja protoka	Zapisano u HIS-u	
	Vodokaz	Limnigraf						vodostaj	protok
Batina	2001.	2001.	80,450	1424,840	210250	H, Q, T	2006.	2001-2016	2006-2016
Aljmaš	1909.	2003.	78,080	1381,500	251573	H, Q, T	2006.	1923-2016	2006-2016
Dalj	1985.	1985.	75,204	1354,200		H, Q, T	2007.	1985-2016	2007-2016
Vukovar	1856.	1998.	76,188	1336,500	253147	H, Q, T	2009.	1923-2016	2009-2016.
Ilok	1856.	1998.	73,968	1301,500	253737	H, Q, T	2007.		2007-2016.

Napomena: H vodostaj
Q protok
T temperatura vode



Slika 2.3-1: Prikaz lokacija razmatranih hidroloških stanica na rijeci Dunav

Hidrološka stanica **Batina** je prva na Dunavu na teritoriju Hrvatske i uvrštena je u osnovnu mrežu hidroloških postaja.

Vodokaz i limnigraf nalazi se na desnoj obali Dunava, oko 0,8 km uzvodno od mosta u Batini. Kota nule vodokaza iznosi 80,45 m n.m. Lokacija vodokaznog profila vrlo je blizu vodokaznog profila hidrološke postaje Bezdan, koja je na lijevoj obali Dunava i pripada Republici Srbiji.

Dana 21.08.2003. godine zbog povijesno niskih vodostaja Dunava izazvanih dugotrajnom hidrološkom sušom, dodana je vodokazna letva s rasponom -100 do 0 cm. Također je u dva navrata, u srpnju i kolovozu, produljen tlačni vod kako bi se mogle bilježiti male vode.

Maksimalni vodostaj na postaji Bezdan zabilježen je 24.6.1965. godine. Preračunavanjem se došlo do zaključka da je tada vodostaj na lokaciji postaje Batina bio 795 cm, što se može smatrati dosad maksimalnim zabilježenim vodostajem.

Vodokazna stanica **Aljmaš** nalazi se na desnoj obali Dunava. Dana 01.01.1951. godine obnovljena je vodokazna stanica, kota nule vodokaza iznosi "0" = 78,08 m n.m.

Sljedeća rekonstrukcija vodokaza izvršena je 01.10.1952. godine, a kota "0" se nije mijenjala.

Motrenja vodostaja su prekinuta 1991. godine zbog okupacije čitavog područja i ratnih zbivanja u Domovinskom ratu., a 1998. motrenja su ponovno uspostavljena, na istoj lokaciji.

Dana 03.07.2003. godine izvršena je rekonstrukcija stanice nakon uređenja obale. Nova lokacija je oko 250 m nizvodno od stare, kota "0" vodokaza nepromijenjena.

Vodokaz je četverodjelni:

- 1.dio: vertikalni, od 0 do 100 cm
- 2.dio: kosi, od 50 do 140 cm
- 3.dio: kosi, od 140 do 288 cm
- 4.dio: kosi, od 288 do 500 cm
- 5.dio: kosi, od 500 do 660 cm

Dana 03.09.2007. godine postavljen je elektronski limnigraf i uspostavljena daljinska dojava vodostaja.

Hidrološka stanica **Dalj na Dunavu** osnovana je 1985. godine kao limnigrafska. Limnigraf je radio od 1985. do 1991. godine, kada je stanica zbog okupacije i ratnih događanja prestala s radom.

Nakon mirne reintegracije čitavo područje vraćeno je Hrvatskoj, te su motrenja vodostaja ponovno uspostavljena na istoj lokaciji 1998. godine, ali samo sa vodokaza.

Dana 01.08.2004. godine postavljena je limnigrafska kućica od strane Hrvatskih voda, a DHMZ je opremio stanicu elektronskim limnigrafom.

Kota nule vodokaza iznosi 75,204 m n.m.

Hidrološka stanica **Vukovar na Dunavu** osnovana je i počela s radom 1856. godine.

Do 16.05.1968. godine vodokaz se nalazio na ušću rijeke Vuke, oko 350 m nizvodno od sadašnje lokacije. Slijedeća lokacija vodokaza je 350 m uzvodno od ušća rijeke Vuke u Dunav. Kota "0" vodokaza mijenjala se nekoliko puta u razdoblju rada stanice kako slijedi:

- od 1889. do 1894. "0" = 75,62 m n.m.
- od 1895. do 1958. "0" = 76,17 m n.m.
- od 1958. do danas "0" = 76,19 m n.m.

U razdoblju 1991-1998. godine na stanici se nisu bilježili vodostaji zbog ratnih okolnosti.

Dana 26.09.2000. godine postavljen je tlačni limnigraf oko 200 m nizvodno od vodokaza, na Otoku sportova, pokraj Veslačkog kluba, a limnigrafsko registriranje vodostaja vrši se od 04.10.2000. godine.

U veljači 2001. šlepovi su oštetili tlačni vod. U kolovozu 2002. zabilježen je prolazak velikog vodnog vala, dok je u kolovozu 2003. zbog velike suša (povijesno niski vodostaji) produljen tlačni vod kako bi se mogle registrirati male vode.

Dno korita je muljevito, a obale su utvrđene obaloutvrdama.

Kota nule vodokaza iznosi 76,188 m n.m.

U nastavku se daje opis hidrološke stanice **Ilok** smještene na desnoj obali rijeke Dunav na rkm 1298+800. Hidrološka stanica pod nazivom Bačka Palanka uspostavljena je 1854. godine na lijevoj obali Dunava. Od 1945. godine premještanjem vodokaza na desnu obalu u Ilok s kotom nule na 73,968 m n.m. promijenjeno je ime hidrološke stanice u Ilok. Na stanici

se uz vodostaj mjeri i temperatura vode od 1947. godine, a s mjerenjima protoka započelo se tek 2007. godine. Hidrološka stanica imala je prekid rada, radi Domovinskog rata, od 1991. pa sve do 1998. godine.

U sklopu ovog projekta provedena je sistematizacija i analiza raspoloživih dnevnih podataka vodostaja i protoka s navedenih hidroloških stanica na Dunavu, u raspoloživom razdoblju, preuzeti iz Baze hidroloških podataka hidrološkog informacijskog sustava HIS2000 DHMZ-a RH. S obzirom da na Dunavu u Hrvatskoj nema motrenja nanosa sve obrade u sljedećem poglavlju (*Bilanca nanosa rijeke Dunav*) temeljit će se na podacima o vodostajima i zabilježenim trendovima, kao i zabilježenim promjenama u Q-H krivuljama koje se na svim stanicama definiraju tek posljednjih 10-tak godina.

Provedena je i sistematizacija i analiza snimki poprečnih presjeka na lokaciji stanica, koje su u HIS-u raspoložive samo za novije razdoblje u 2010. i 2014/2015. godini.

U Prilogu poglavlju 2.3.2-1 tablično su prikazani karakteristični mjesečni i godišnji vodostaji i odgovarajući protoci Dunava (s pripadajućom osnovnom statističkom obradom) za razmatrane mjerodavne hidrološke stanice za raspoloživo razdoblje obrade. Uz tablični iskaz, dan je i grafički prikaz hoda maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka. Vodostaji su osim u relativnim visinama (cm), iskazani i u apsolutnima prema kotama nule danim u tablicama po evidenciji DHMZ-a koje se odnose na „stari“ sustav mjerenja (prema Trstu).

U Prilogu poglavlju 2.3.2-2 dan je grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka, koje je DHMZ definirao i koristio za proračun satnih, odnosno dnevnih protoka na razmatranim na Dunavu.

U Prilogu poglavlju 2.3.2-3 tablično i grafički dani su prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dunavu.

2.3.3 Postojeći podaci o nanosu

Na rijeci Dunav nikakvo sustavno mjerenja nanosa se ne provodi, ni svakodnevna mjerenja koncentracije, tako ni periodička profilna mjerenja koncentracije i sekundnog pronosa. Također se ne provodi ni mjerenje pronosa vučenog nanosa.

Za potrebe ovog projekta dobiven je samo jedan izvještaj od DHMZ-a *Mjerenje suspendiranog nanosa na Dunavu kod Dalja u 1984/85. godini*. Elaborat je izrađen u sklopu kompleksnih istražnih radova na iznalaženju najpovoljnije lokacije za gradnju NE Slavonija na Dunavu kod Dalja, i daje preliminarne osnovne karakteristike o režimu suspendiranog nanosa kao i nekim karakteristikama nanosa s dna, uz iznošenje metodologije mjerenja. Dane su samo orijentacijske veličine u pogledu nanosa na mjernom profilu.

Uzorci suspendiranog nanosa zahvaćani su protočnim batometrom na vertikalama u kojima su mjerene i brzine vode. Na temelju integratorskih uzoraka sa pojedine vertikale laboratorijski su utvrđene srednje koncentracije suspendiranog nanosa na pojedinoj vertikali, preko kojih su izmjerene brzine vode i utvrđene protoke dobiven profilski pronos

suspendiranog nanosa, kao i profilska koncentracija. Rezultati dobivenih srednjih koncentracija suspendiranog nanosa, kao i profilski pronos dobiven ovim mjerenjima u 1984. i 1985. godini izneseni su u **Prilogu poglavlju 2.3.3.**

Za granulometrijsku analizu suspendiranog nanosa uzeti su integratorski uzorci, tj. uzorci vode preko cijelog profila i po dubini od površine do dna, na temelju kojih je prosijavanjem i pipetiranjem utvrđen granulometrijski sastav, koji je krivuljama prikazan u **Prilogu poglavlju 2.3.3.**

Također je u okviru ovih mjerenja provedeno uzimanje uzoraka nanosa sa dna korita pomoću grajfera u tri točke poprečnog presjeka i to po jedan uzorak bliže obalama i jedan uzorak iz sredine korita. Obradom svakog pojedinog uzorka dobiven je njegov granulometrijski sastav, a prikaz granulometrijskih krivulja dan je u **Prilogu poglavlju 2.3.3.**

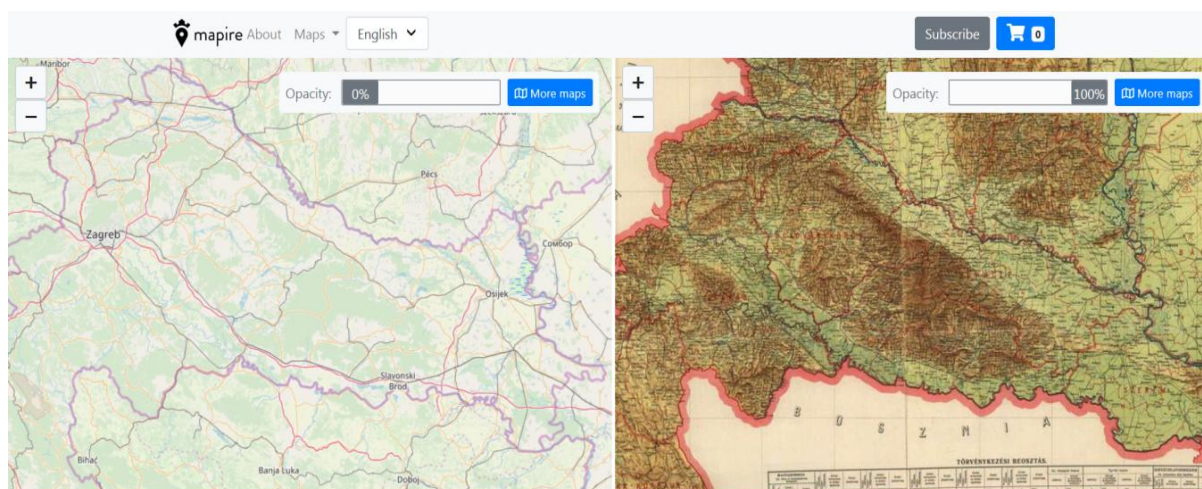
2.4 Ocjena podataka o nanosu

Temeljem provedenih analiza raspoloživih podataka o nanosu može se zaključiti da je monitoring suspendiranog nanosa ograničen (tj. nema kontinuiranog mjerenja duž Dunava i većih pritoka) kao i ostali nedostaci, kako slijedi:

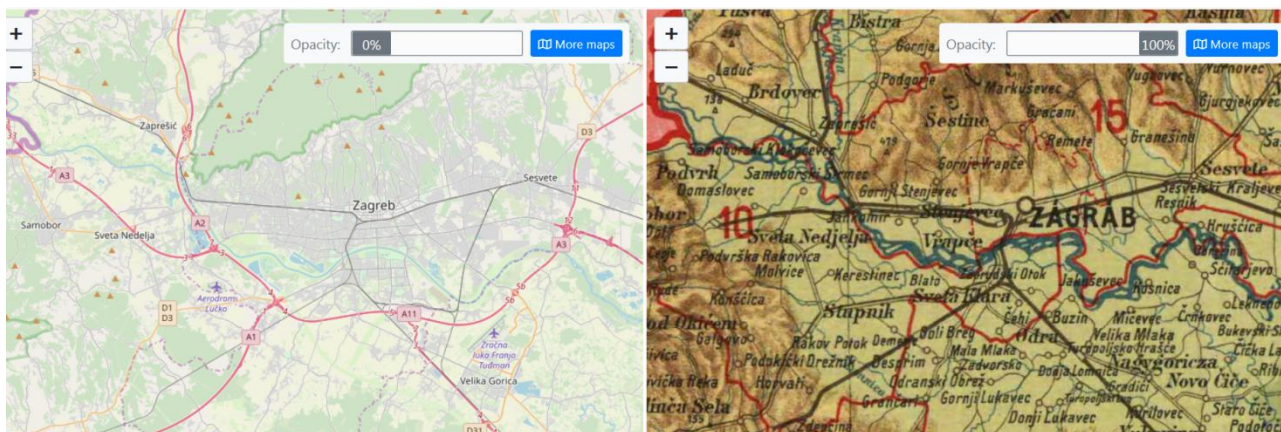
- Mjerenje količina suspendiranog nanosa i vučenog nanosa:
 - različite metode uzorkovanja i promjene metodologije tijekom vremena,
 - različita učestalost mjerenja,
 - raznoliko trajanje vremenskih serija u okviru dugoročnih mjerenja,
 - potpun izostanak mjerenja nanosa na Dunavu,
 - prekid mjerenja vučenog nanosa na Savi i Dravi,
 - promjene lokacija stanica tijekom vremena (uzvodno/nizvodno od pritoka),
 - nedovoljan broj lokacija za praćenje nanosa, uz trend daljnjeg smanjenja broja lokacija
- Praćenje granulometrijskog sastava nanosa:
 - razlike u učestalosti mjerenja,
 - potpun izostanak praćenja granulometrijskog sastava nanosa na Dunavu,
 - zbog prekida mjerenja vučenog nanosa na Savi i Dravi, ne raspolaže se ni granulometrijskim sastavom vučenog nanosa.

2.5 Povijesni kartografski prikazi

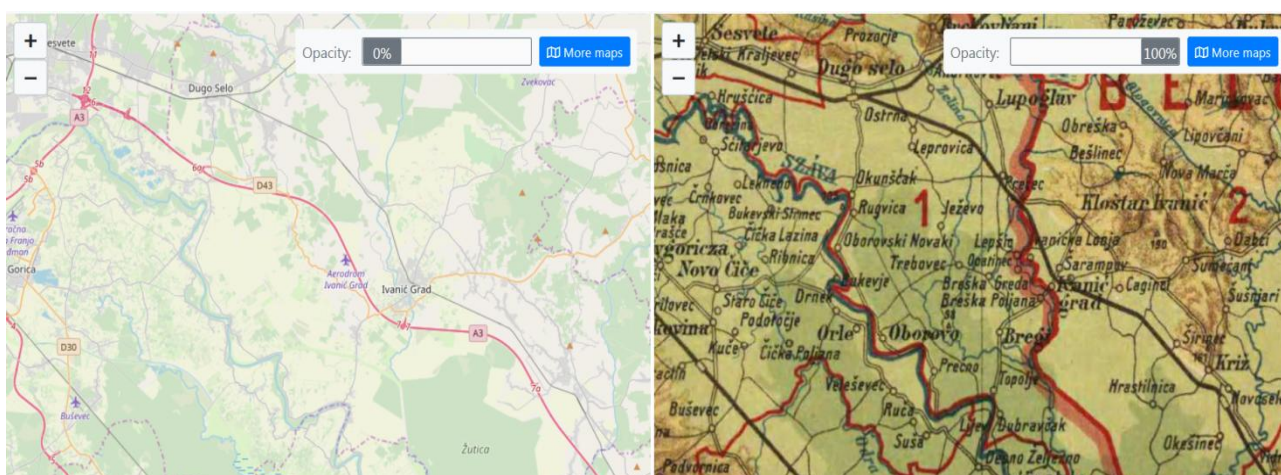
Na internetskoj stranici **mapire.eu**, raspoloživi su sinhronizirani prikazi današnjeg položaja riječnih korita u odnosu na povijesne karte. Budući je korištenjem toga portala moguće samo pregledati, a ne i preuzeti povijesne kartografske prikaze, u nastavku će se prikazati takozvani print screen kartografski prikazi iz kojih je moguće vidjeti promjene riječnoga korita za područje Save, Drave i Dunava. Za povijesni prikaz i interpretaciju on-line analiza, korištena je karta Administrative Map of Hungary iz 1914. godine. Na slikama 2.5-2 do 2.5-11 prikazana je dionica rijeke Save, na slikama 2.5-12 do 2.5-18 prikazana je dionica rijeke Drave, a na slikama 2.5-18 do 2.5-21 dionica rijeke Dunav u Republici Hrvatskoj.



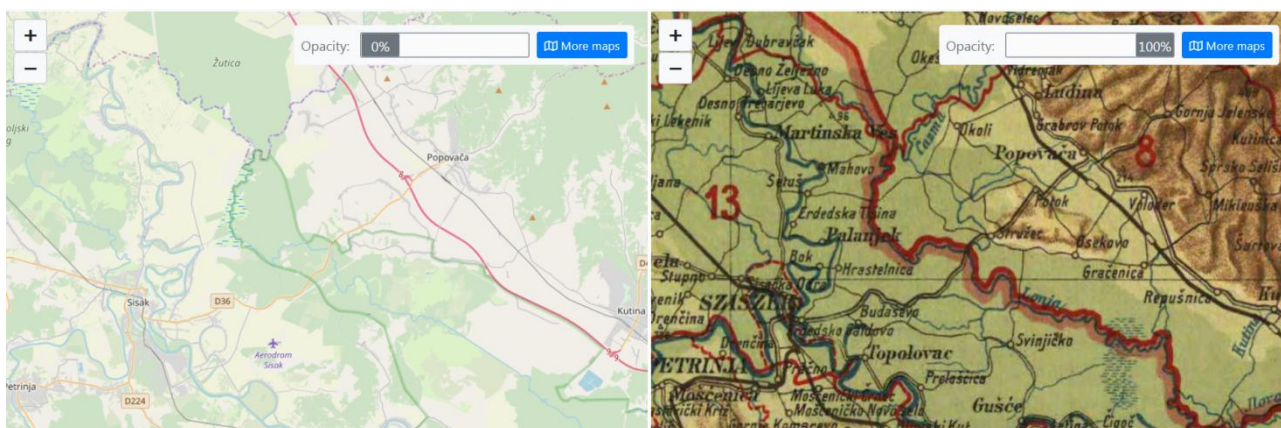
Slika 2.5-1: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa tokovima Save, Drave i Dunava



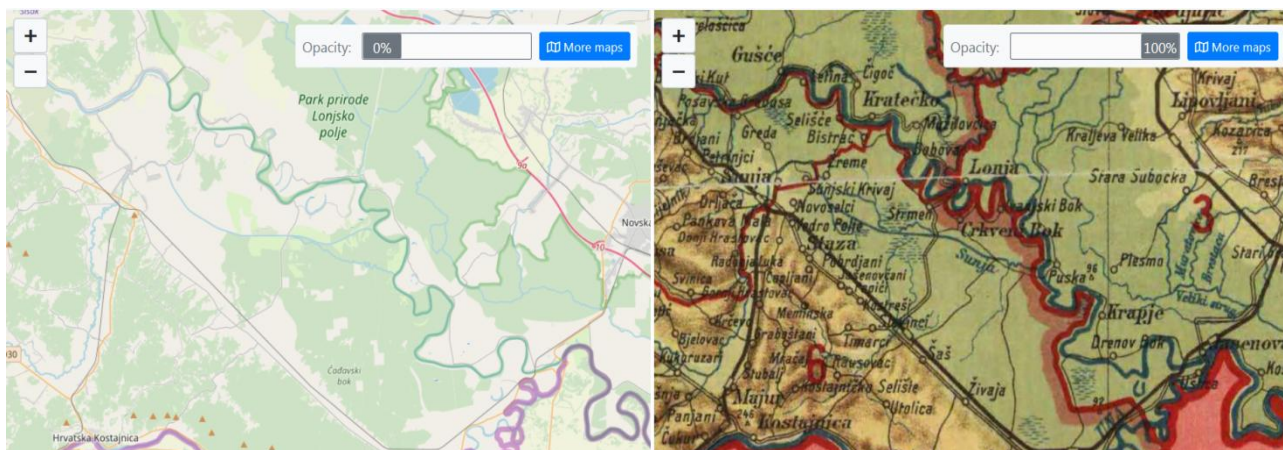
Slika 2.5-2: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od slovenske granice do Hrušćice



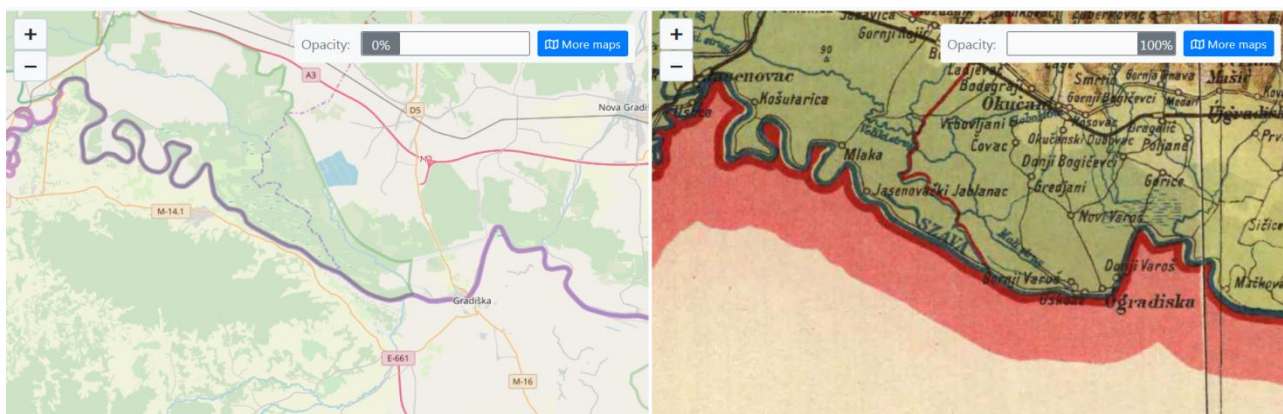
Slika 2.5-3: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Hrušćice do Dubrovčaka Lijevog



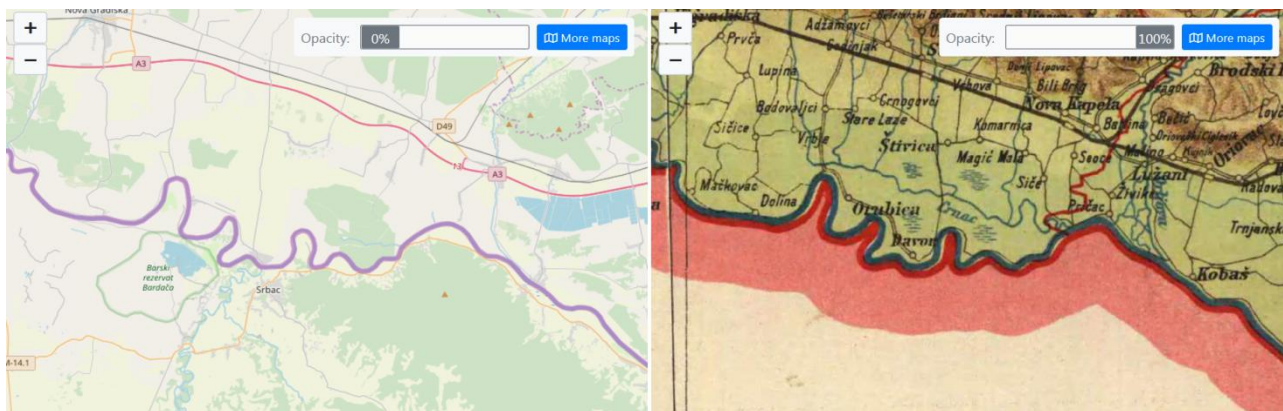
Slika 2.5-4: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Dubrovčaka Lijevog do Gušća



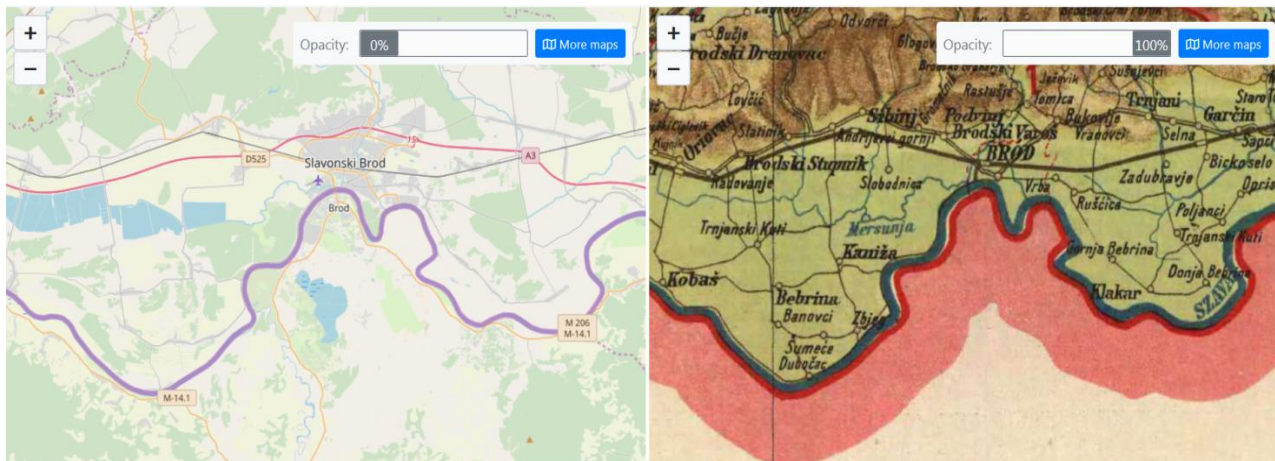
Slika 2.5-5: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Gušća do Jasenovca



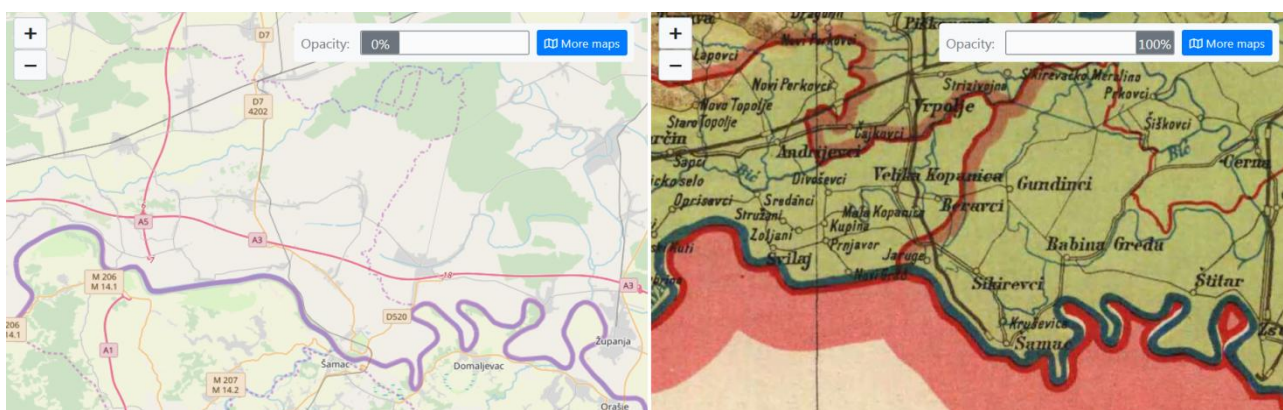
Slika 2.5-6: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Jasenovca do Mačkovca



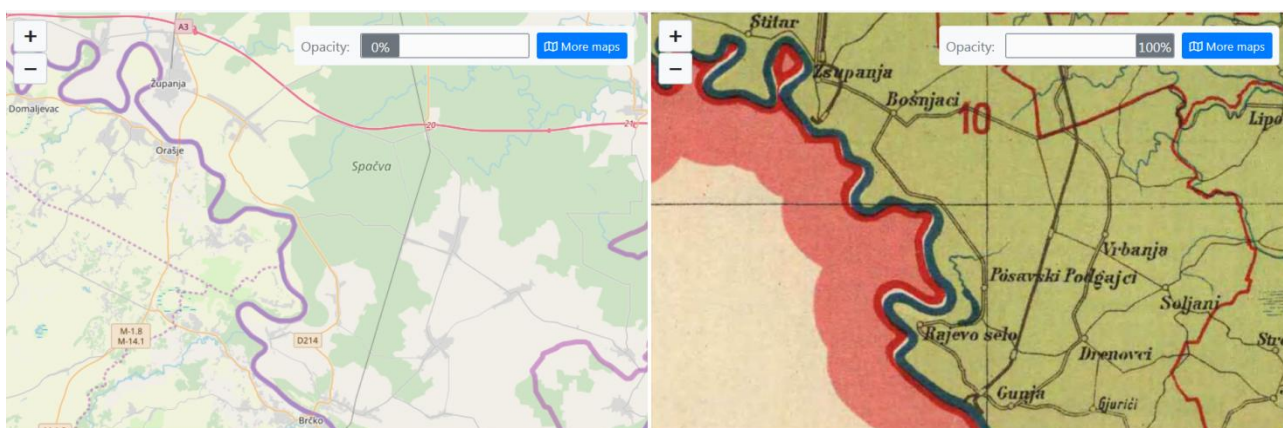
Slika 2.5-7: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Mačkovca do Slavonkog Kobaša



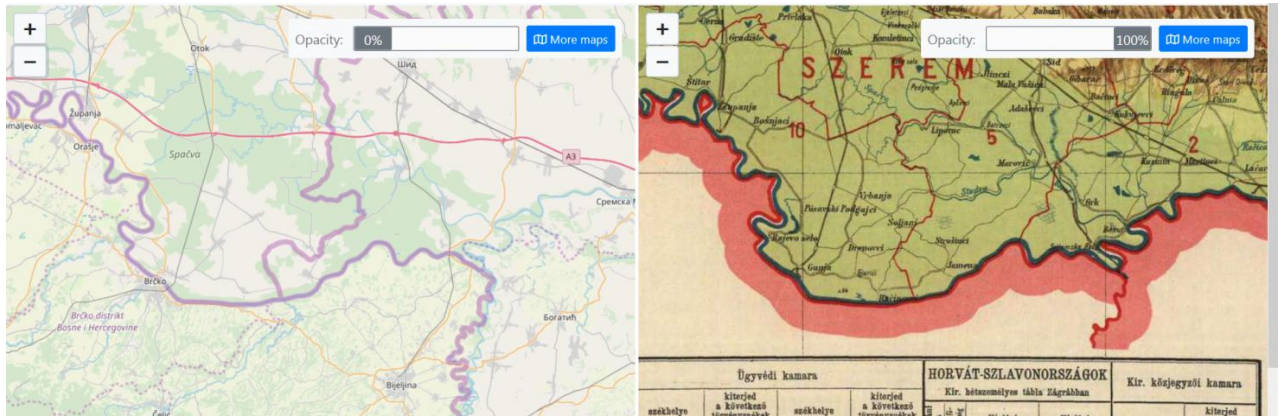
Slika 2.5-8: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Slavenskog Kobaša do Oprisavaca



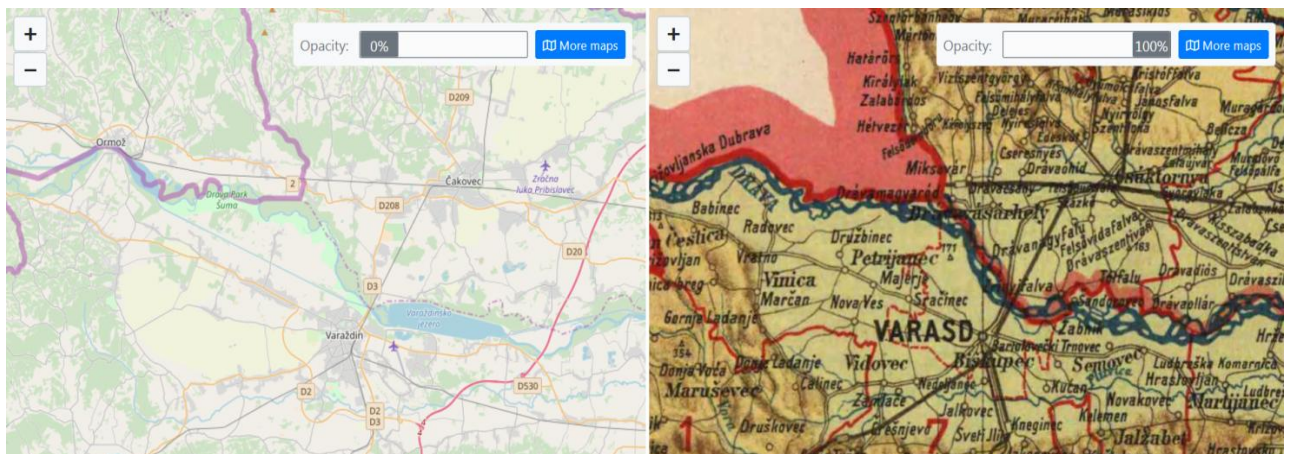
Slika 2.5-9: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Oprisavaca do Županje



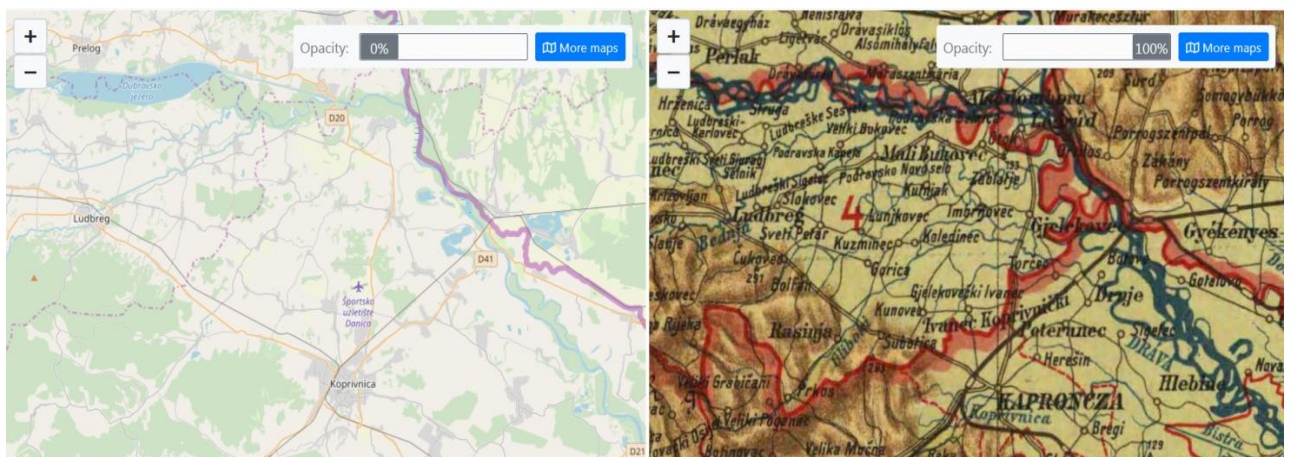
Slika 2.5-10: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Županje do Gunje



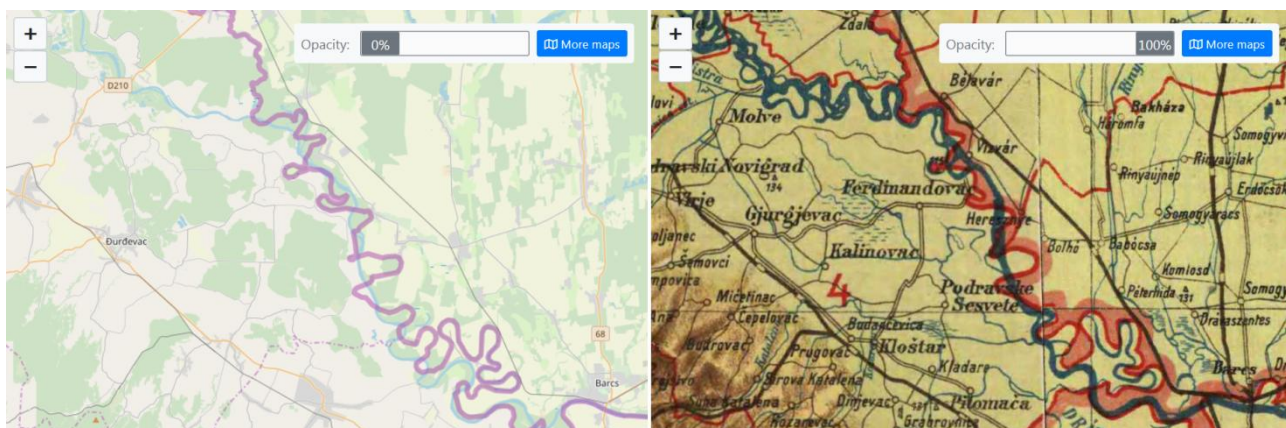
Slika 2.5-11: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Save od Gunje do ušća Bosuta



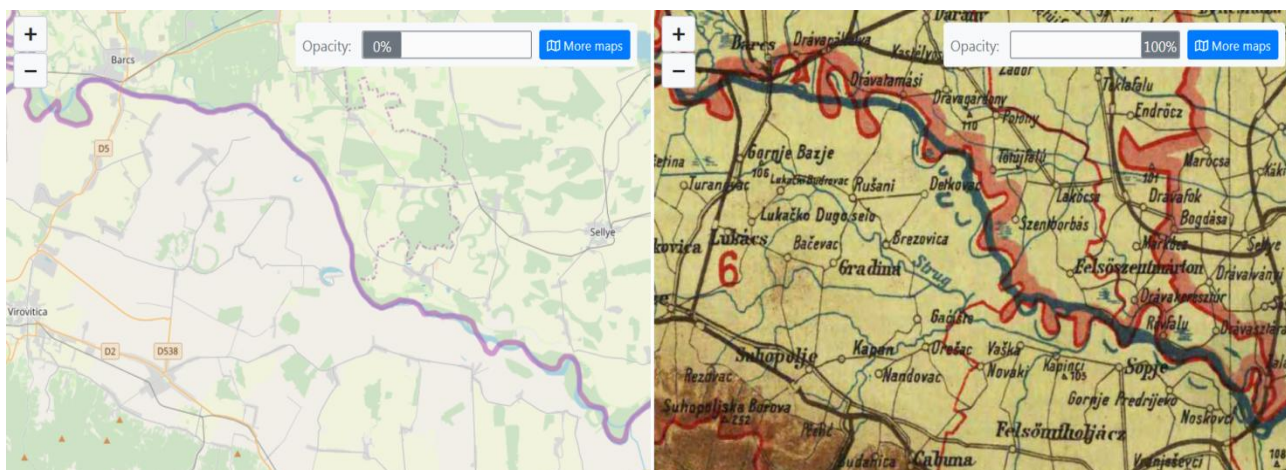
Slika 2.5-12: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Drave od slovenske granice do akumulacijskog jezera HE Dubrava



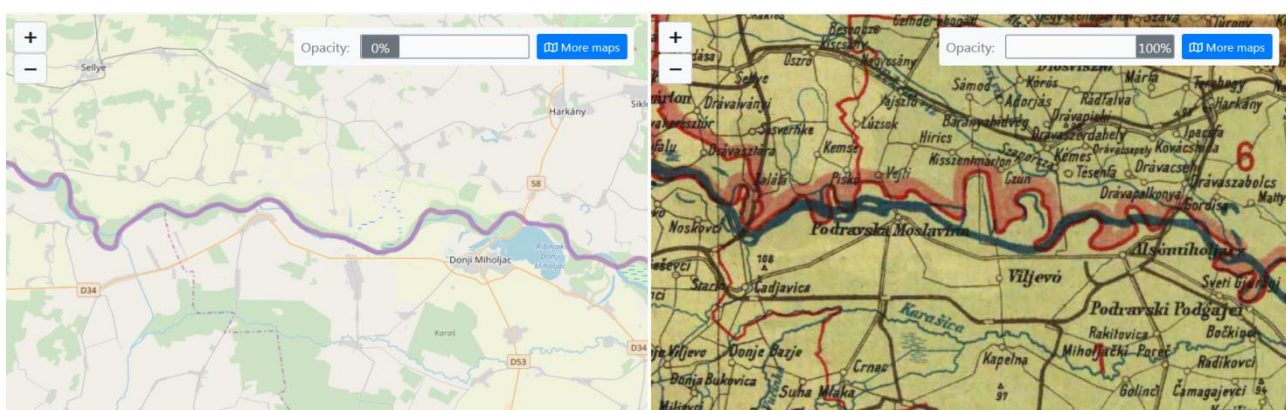
Slika 2.5-13: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Drave od akumulacijskog jezera HE Dubrava do Novače



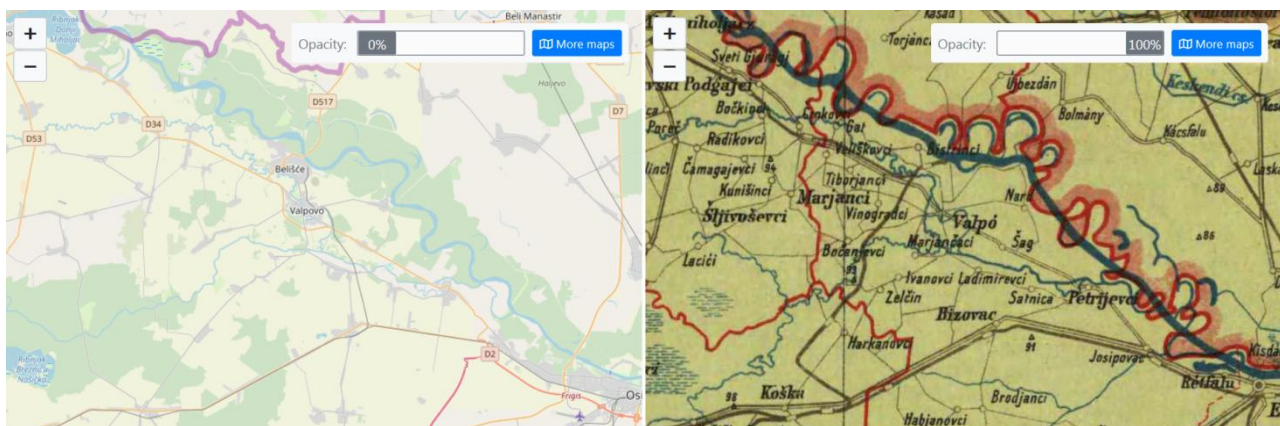
Slika 2.5-14: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Drave od Novačke do Terezinog Polja



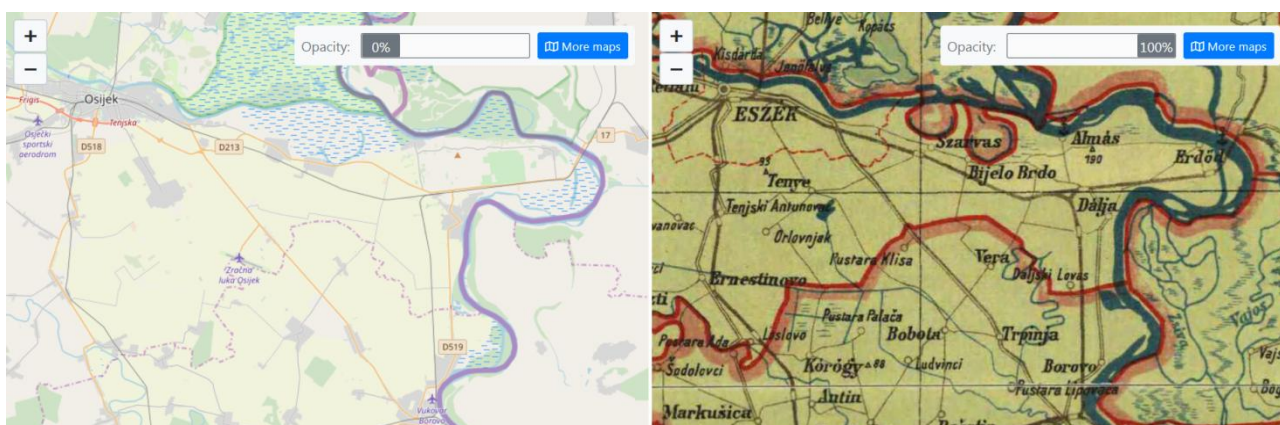
Slika 2.5-15: Prikaz današnje i povijesne karte dijela Hrvatske sa dionicom Drave od Terezinog Polja do Noskovca



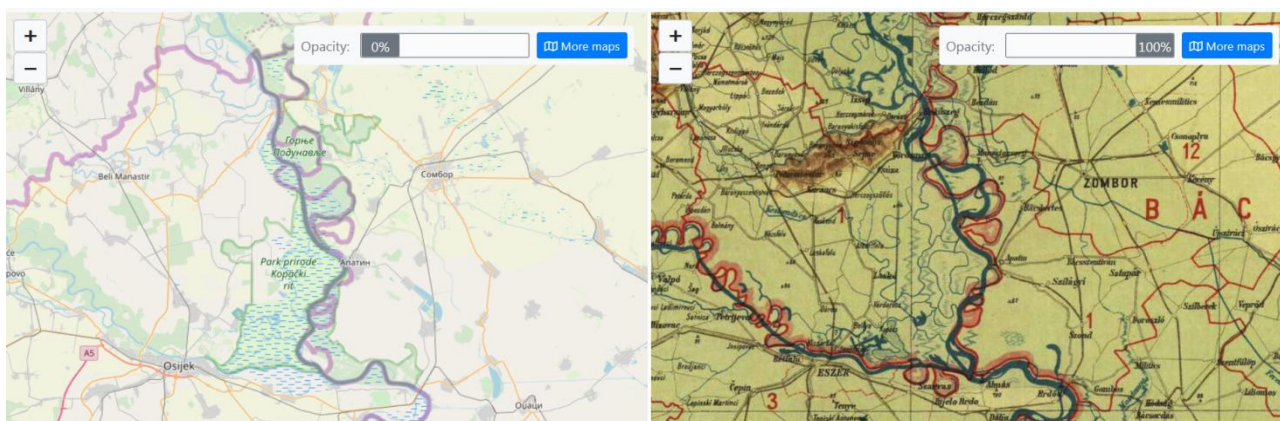
Slika 2.5-16: Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Drave – Noskovci – Podravski Podgajci



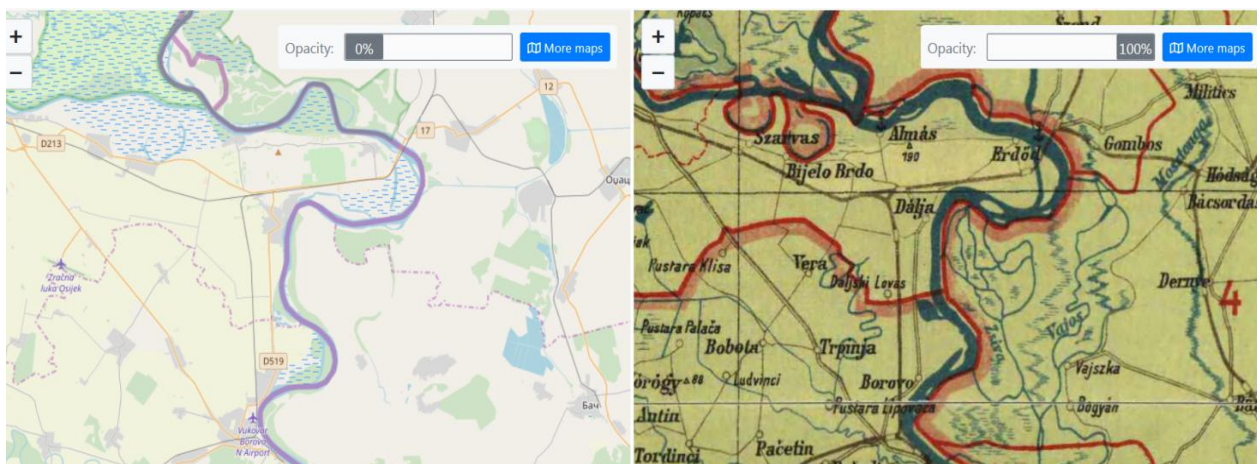
Slika 2.5-17: Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Drave – Podravski Podgajci- Osijek



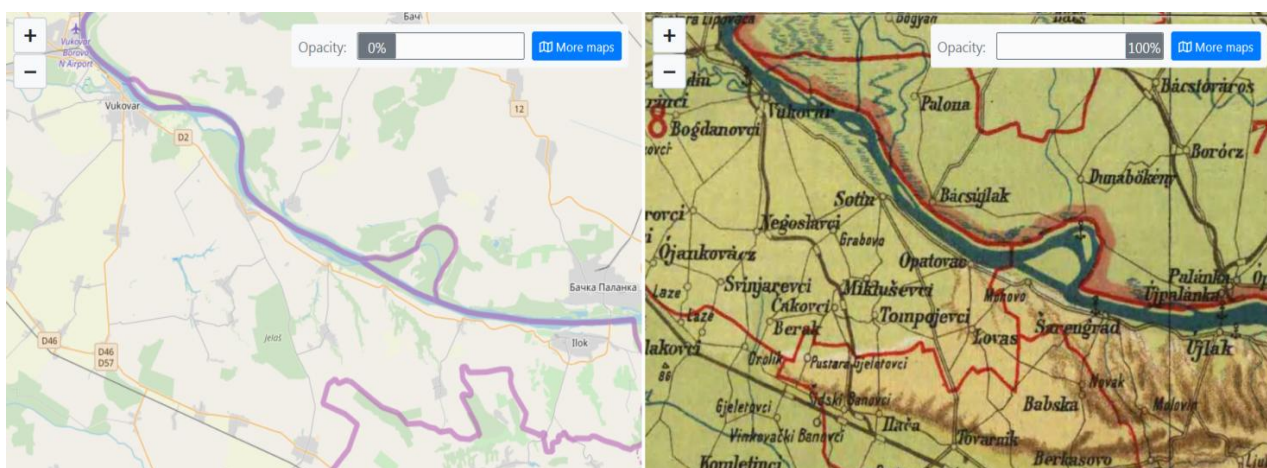
Slika 2.5-18: Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Drave od Osijeka do ušća u Dunav i dionice Dunava od ušća Drave do Vukovara



Slika 2.5-19: Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Dunava od mađarske granice do ušća Drave



Slika 2.5-20: Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Dunava ušća Drave do Vukovara

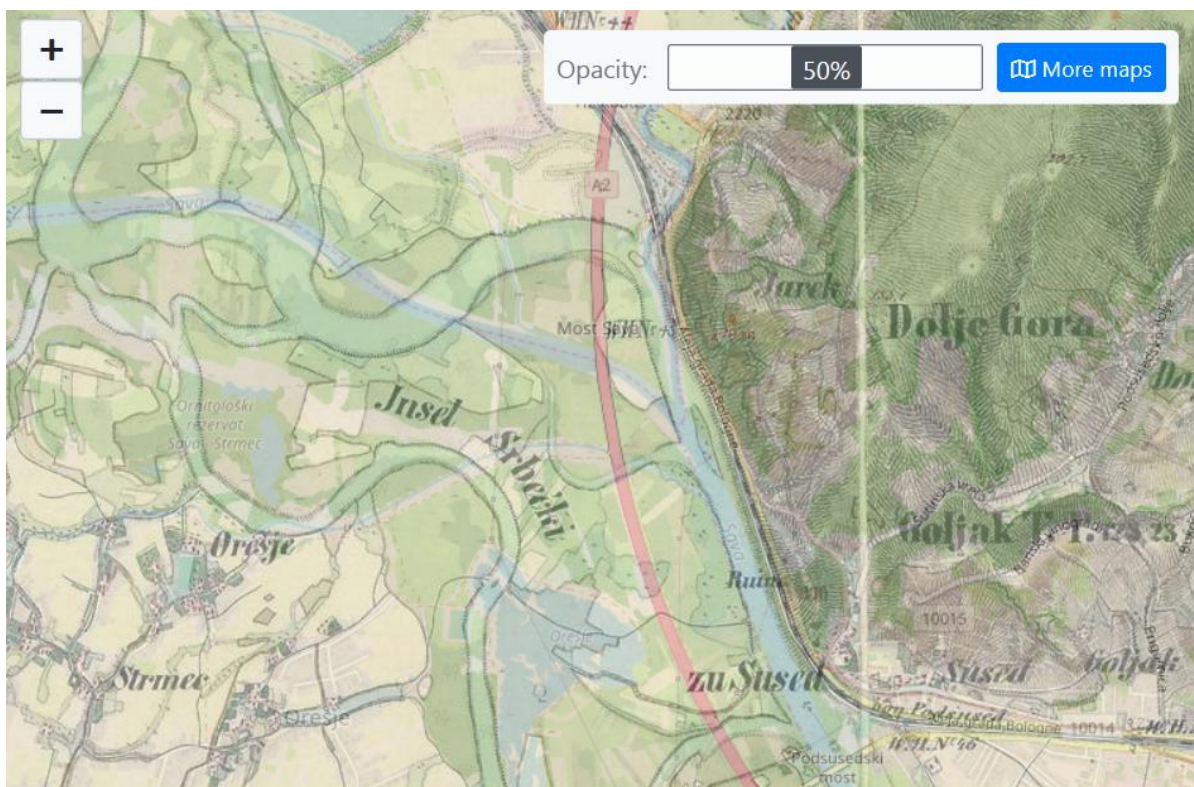


Slika 2.5-21: Prikaz današnje i povijesne karte dijela toka Dunava od Vukovara do Iloka

Na prethodnim slikama vidljive su dionice rijeka koje su u 20. stoljeću promijenjene izvođenjem vodnogospodarskih regulacijskih radova kao i hidroenergetskih građevina koje su sve utjecale na lateralnu povezanost velikih rijeka i njihova zaobalja, a time i na režim pronosa riječnog nanosa. Međutim na pronos nanosa uvelike su utjecali isti radovi na dionicama uzvodno od granica Republike Hrvatske, što prelazi i granice ove studije.

Od prikazanih promjena uslijed radova na području Republike Hrvatske, posebno se ističu dionice Save na širem području grada Zagreba (slika 2.5-2) i dionica Drave na području hidroelektrana Varaždin, Čakovec i Dubrava (slike 2.5-12 i 2.5-13).

Za detaljnije analize moguće je koristiti alate **mapire.eu** stranice (klizač %-tka prikazanosti), koja može preklopiti karte te istovremeno prikazati staro i novo stanje dionice vodotoka koja je predmet analize, kao što je vidljivo na slici 2.5-22 za dionicu Save uzvodno od Zagreba.



Slika 2.5-22: Prikaz današnje i povijesne karte na istom prikazu dijela toka Save uzvodno od Zagreba

3. BILANCA NANOSA RIJEKA DUNAV, DRAVA I SAVA

3.1 Analize podataka za bilancu nanosa na rijeci Dravi

3.1.1 Morfološke promjene riječnog korita Drave na lokacijama hidroloških stanica

Kao što je već prethodno navedeno, Drava je vodotok koji pokazuje izrazite morfološke promjene u koritu. Premda neredovita, snimanja poprečnih presjeka na lokacijama hidroloških postaja pokazuju da su promjene geometrije korita izrazite i unutar godine dana. Iako je svako snimljeno stanje prvenstveno slika trenutačne hidrološke situacije u riječnom koritu, ono je ujedno i odraz općih promjena izazvanih brojnim radovima u koritu, inundacijama i nasipima, sve intenzivnijom eksploatacijom šljunka i pijeska iz korita i inundacijskog područja i radom hidroenergetskih objekata izgrađenih uzvodno od ušća Mure.

Sve ove aktivnosti značajno utječu na režim voda i nanosa u rijeci Dravi, a budući da se veći dio njih odvijao paralelno, danas je vrlo teško odrediti pojedinačni utjecaj izgradnje i rada uzvodnih hidroelektrana, lokalno izvedenih regulacijskih radova i neredovitog održavanja izvedenih građevina, utjecaj reguliranih i nereguliranih riječnih poteza, hidroloških prilika na slivu i promjena u mjernim presjecima, na formiranje i oblik riječnog korita i promjene hidroloških karakteristika Drave.

U tome presudnu ulogu ima i relativno skroman fond mjerenih podataka, nerijetko dodatno opterećenih iznimno čestim promjenama položaja i visine mjernih uređaja i vrste mjerne opreme. Ovdje se prije svega misli na mjerenja protoka i koncentracija suspendiranog nanosa, s kojima se gotovo na svim stanicama, za razliku od duge tradicije mjerenja vodostaja, redovito počelo tek šezdesetih godina ovog stoljeća.

U nastavku se daju analize promjena korita Drave u profilu hidroloških stanica na temelju raspoloživih podataka o izmjerenim poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dravi i promjenama Q-H krivulja u profilu stanice.

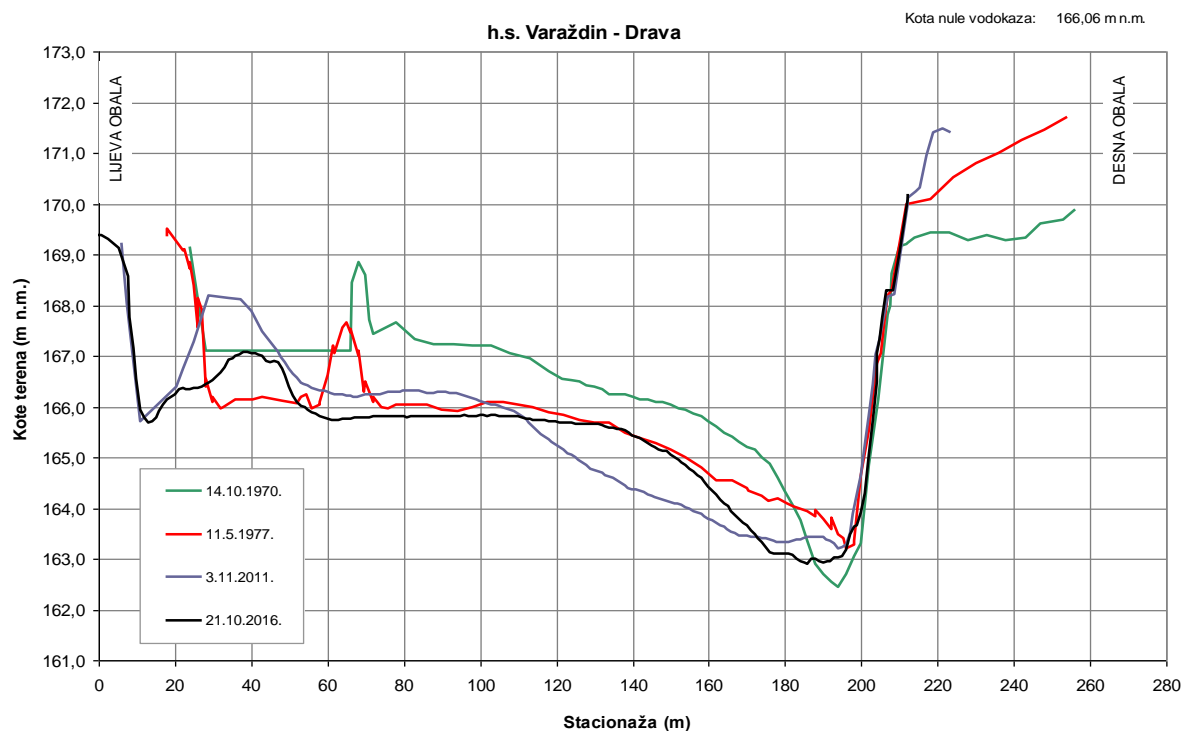
Podaci i analize dane u nastavku ne mogu se koristiti za donošenje zaključaka o globalnim promjenama riječnog korita, jer se na njima često mogu uočiti lokalne erozije ili zasipavanja koja nastaju uslijed blizine nekih vodnih građevina ili uslijed prolaza velikih voda prije hidrografskih snimanja, pa u nastavku dane procjene treba smatrati orijentacijskim.

U *Prilogu poglavlju 2.1.2-2* dan je tablični i grafički prikaz krivulja protoka, koje je DHMZ definirao i koristio za proračun dnevnih protoka na stanicama Varaždin, Donja Dubrava, Botovo, Novo Virje Skela, Terezino Polje i Donji Miholjac na Dravi, kao i na slikama u nastavku.

S obzirom na veliki broj krivulja protoka (na pojedinim profilima se određuju i za pojedina godišnja doba, što pokazuje da su promjene u koritu izrazite i tokom godine) prikazi su razdvojeni za razoblje do 1990. godine, i nakon 1991. godine.

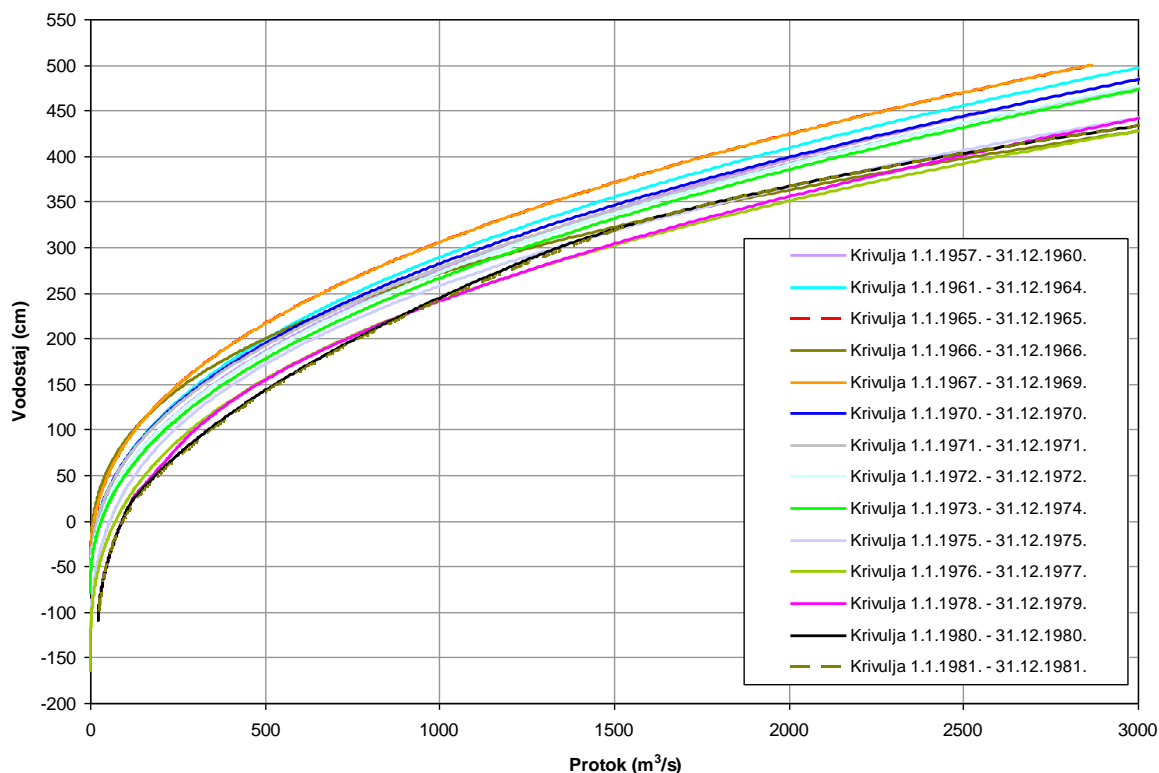
U *Prilogu poglavlju 2.1.2-3* tablično i grafički dani su prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dravi. Poprečni presjeci korita rijeke Drave na analiziranim profilima dani su i u nastavku teksta.

Na h. s. Varaždin analizom vodmjerjenja DHMZ je u razdoblju od 1957. do 1981. godine definirao ukupno 14 krivulja protoka za pojedine godine i više godina. Po završetku izgradnje HE Varaždin stanica se našla na samom ušću odvodnog kanala HE Varaždin, a početkom rada HE Čakovec i pod utjecajem uspora voda akumulacije, pa se od 1982. godine na stanici motri samo vodostaj. Krivulje protoka definirane za razdoblje 1957-1969. godina pokazuju povišenje vodostaja u ovom profilu (slika 3.1-2). Analizom raspoloživih krivulja protoka na ovom profilu u razdoblju nakon 1970. do 1981. godine vidljivo je konstantno sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita. Produbljenje korita vidljivo je i u razdoblju nakon 1981. godine iz prikaza poprečnih presjeka danih na slici 3.1-1.



Slika 3.1-1: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Varaždin

Krivulje protoka VARAŽDIN - DRAVA
1.1.1957. - 31.12.1981.

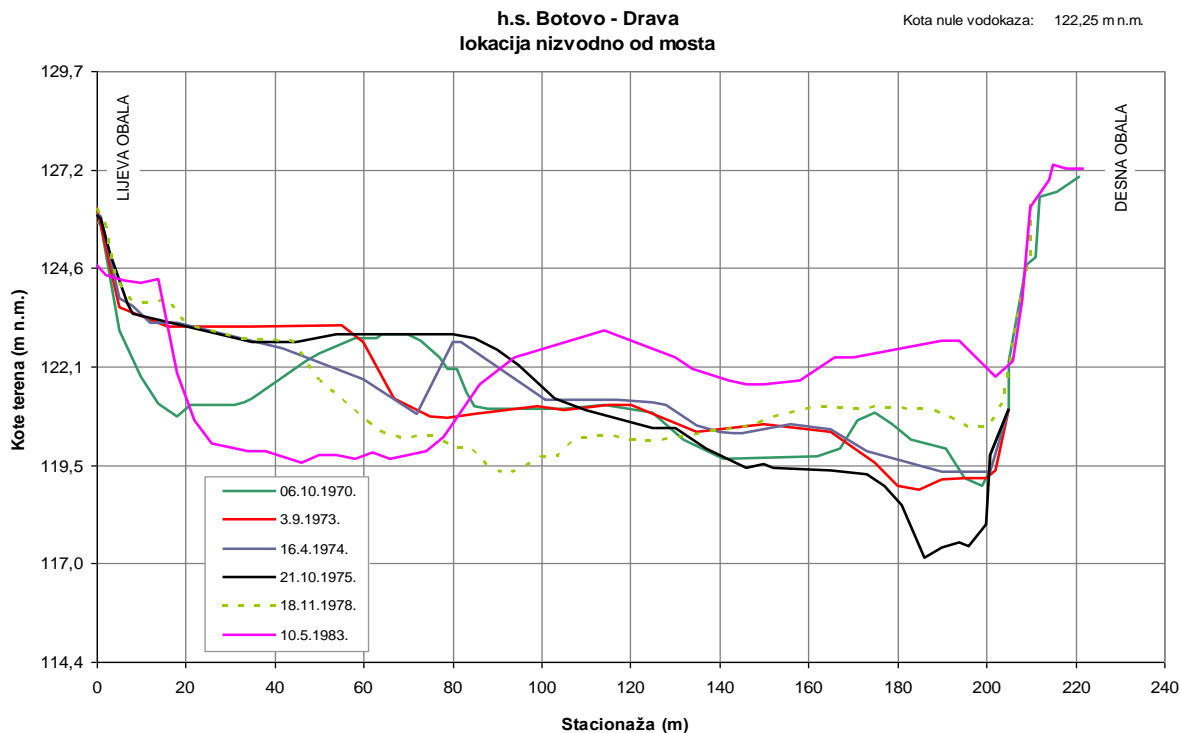


Slika 3.1-2: Protočne krivulje za h. s. Varaždin

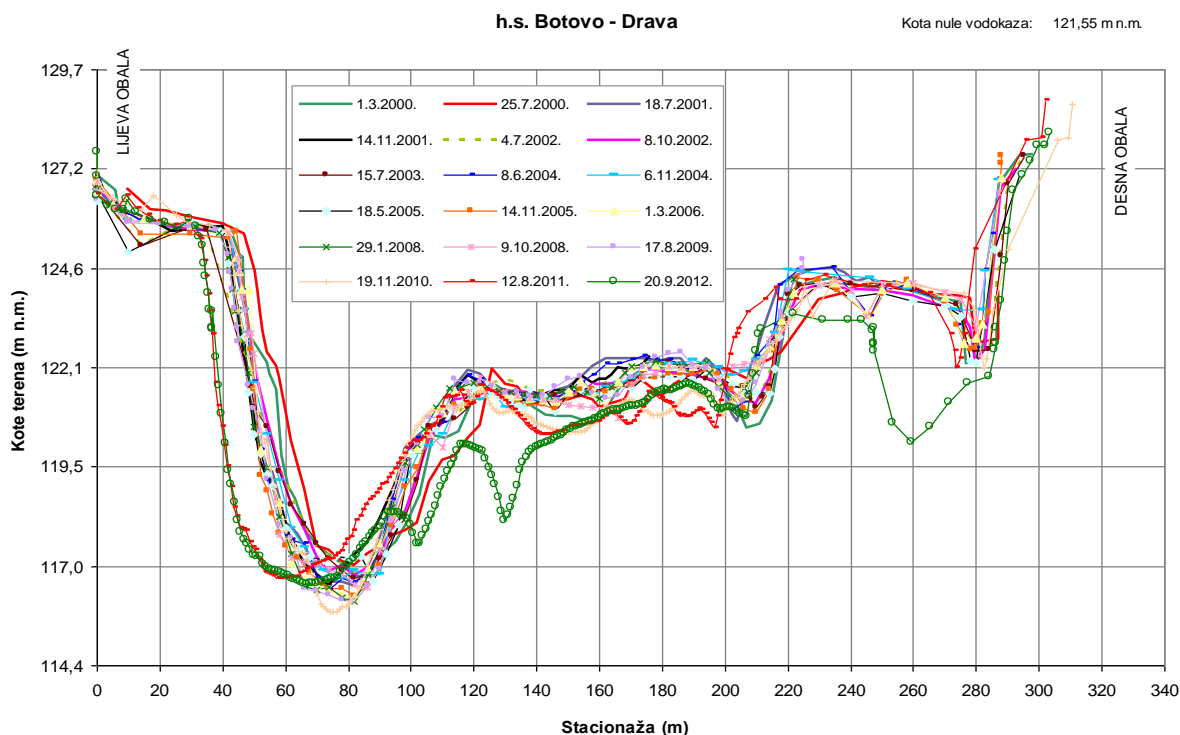
Na h. s. Botovo iz prikaza promjena protočnih krivulja danog na slici 3.1-5 u nastavku vidljivo je konstantno sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita u razdoblju nakon 1965. godine, koju uz 1966. godinu karakterizira pojava velikih voda, izrazito odnošenje nanosa i povećana erozija korita. Donju anvelopnu krivulju protoka čini krivulja definirana za 1980. i 1981. godinu. Krivulje definirane za 1982. i 1983. godinu pokazuju povišenje vodostaja, odnosno zasipanje presjeka nanosom, naročito u 1983. godini, što je po svoj prilici posljedica izgradnje cestovnog mosta i prokopa Botovo na potezu neposredno uzvodno od lokacije postaje, a dijelom posljedica početka rada HE Čakovec. Ovo pokazuje i snimka poprečnog presjeka u 1983. godini (slika 3.1-3). Naime, presjek snimljen u toj godini pokazuje u odnosu na prethodno razdoblje da je dno u lijevom dijelu presjeka produbljeno i do 1,5 m u odnosu na do tada najniže zabilježene kote, dok je u desnom dijelu presjeka zasuto nanosom, pa je vodokaz ostao na suhom. Ove promjene geometrije korita uzrokovale su premještanje postaje na desnu obalu, oko 100 m nizvodno od prethodne lokacije. Kao što se i vidi iz prikaza Q-H krivulja (slika 3.1-5) promjena lokacije stanice nakon 1984. godine, odnosno promjena poprečnog presjeka, izazvala je skok u području minimalnih vodostaja, a nepovoljna je okolnost što se nisu mogli paralelno očitavati vodostaji na staroj i novoj lokaciji.

Krivulje protoka za razdoblje 1984-1990. godina pokazuju sniženje vodostaja u profilu Botovo. Od 1990. do 1993. godine krivulje protoka određuju se i za pojedina godišnja doba, što pokazuje da su promjene u koritu izrazite i tokom godine, kao moguća posljedica izgradnje i rada HE Dubrava (slika 3.1-6). Prema krivuljama definiranim za 1994. i 1995. godinu vidljivo je daljnje sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita, što pokazuje i snimanje poprečnog presjeka u 1994. godini. Također prema krivuljama definiranim i za sljedeća razdoblja, kao i prema zadnjoj krivulji definiranoj za 2015. i 2016. godinu vidi se da

je prisutno daljnje sniženje vodostaja, što je u skladu sa snimkama poprečnih presjeka na lokaciji stanice Botovo koji su raspoloživi do 2012. godine (slika 3.1-4).

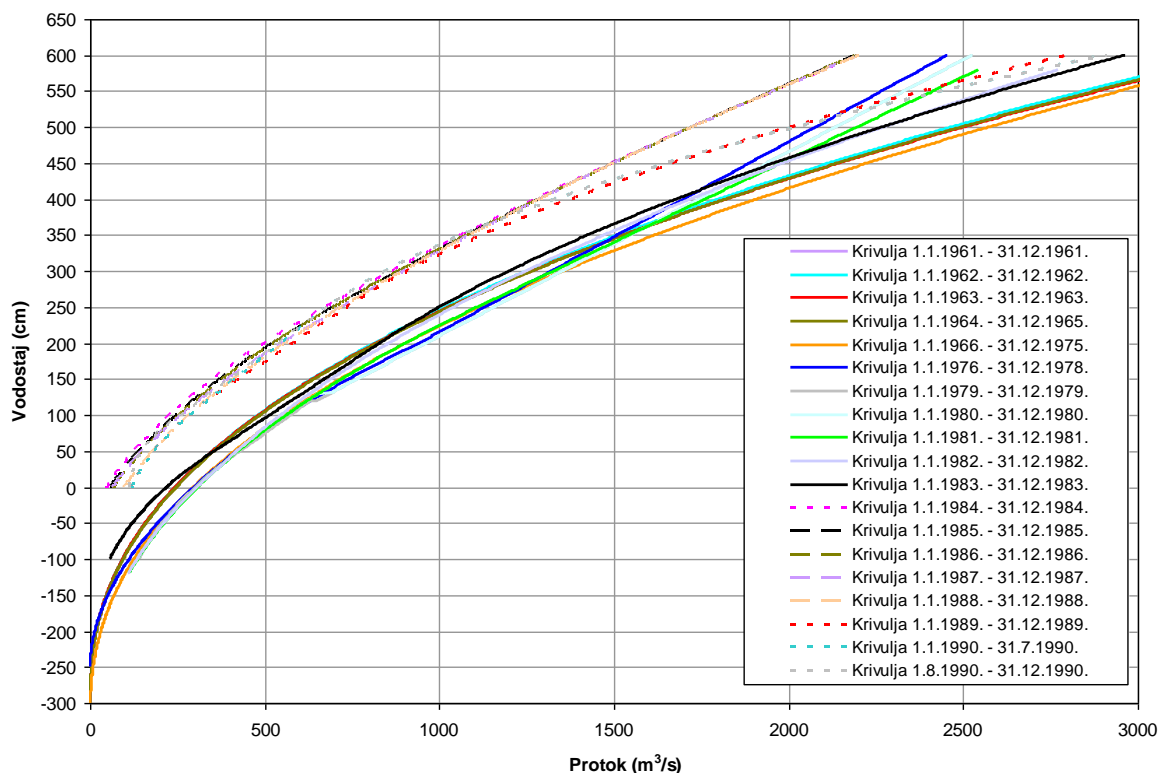


Slika 3.1-3: Poprečni presjeci korita na lokaciji stare h. s. Botovo



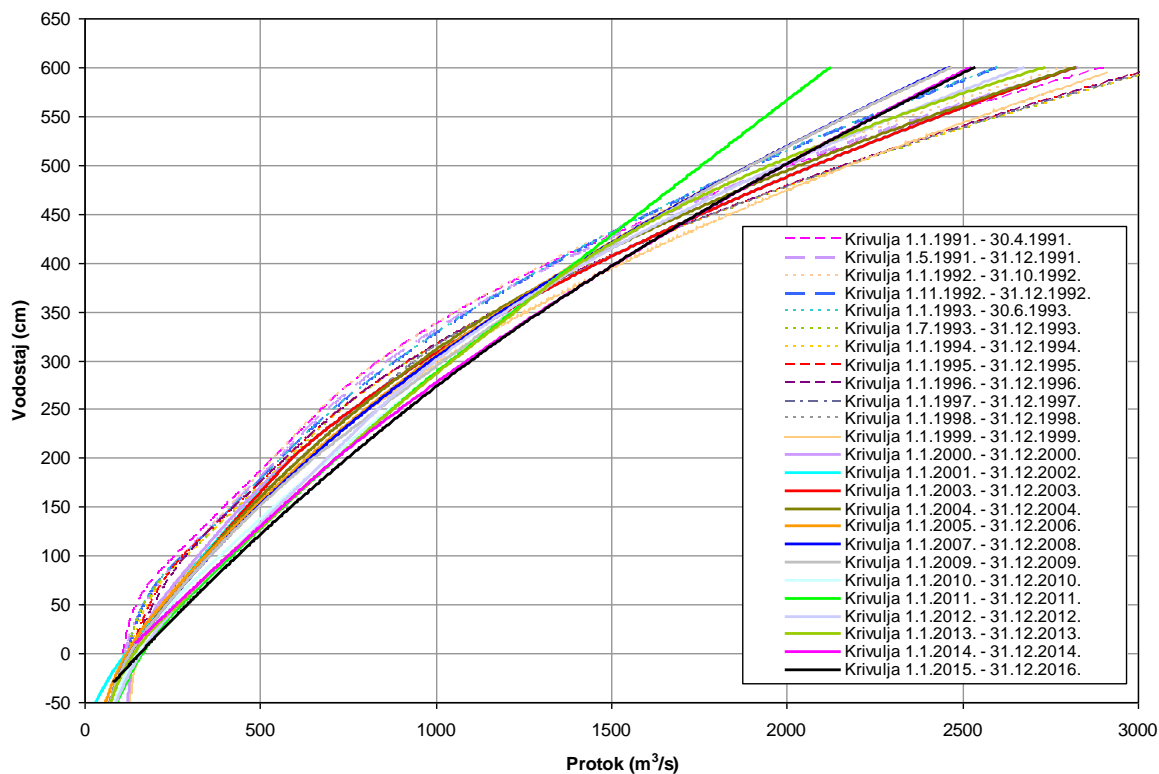
Slika 3.1-4: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Botovo

Krivulje protoka BOTOVO - DRAVA
1.1.1961. - 31.12.1990.



Slika 3.1-5: Protočne krivulje za h. s. Botovo za razdoblje 1961-1990. godine

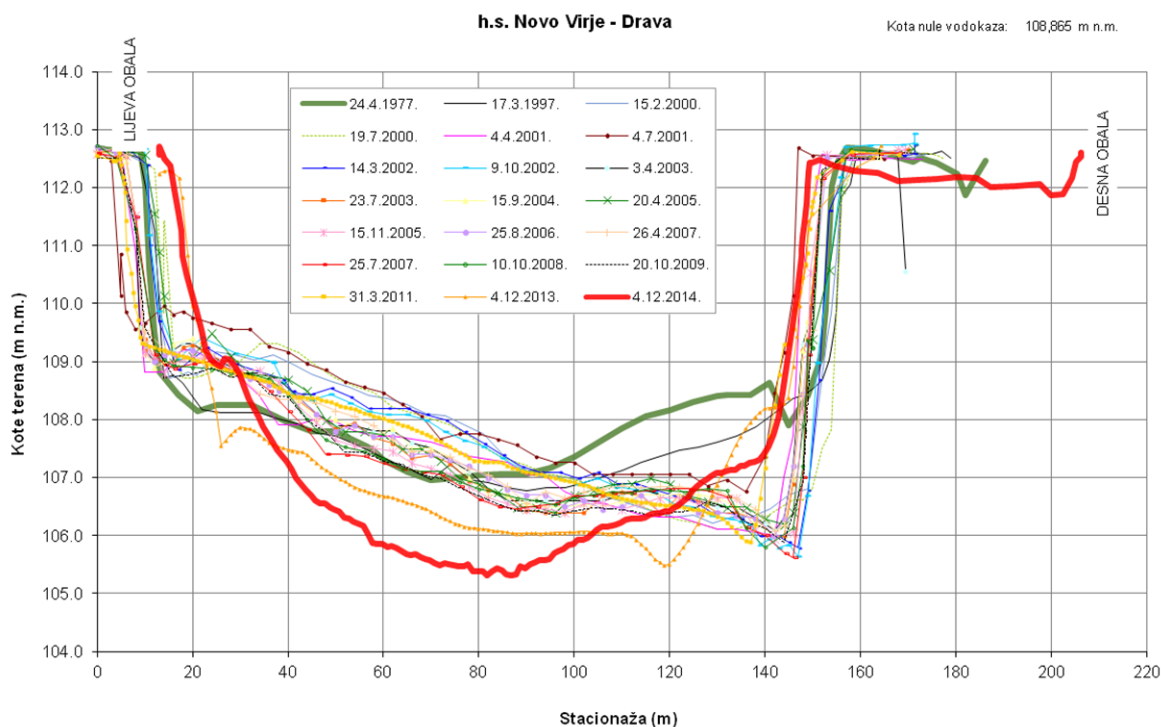
Krivulje protoka BOTOVO - DRAVA
1.1.1991. - 31.12.2016.



Slika 3.1-6: Protočne krivulje za h. s. Botovo za razdoblje 1991-2016. godine
Na h. s. Novo Virje Skela iz prikaza promjena protočnih krivulja danog na slici 3.1-8 vidljivo

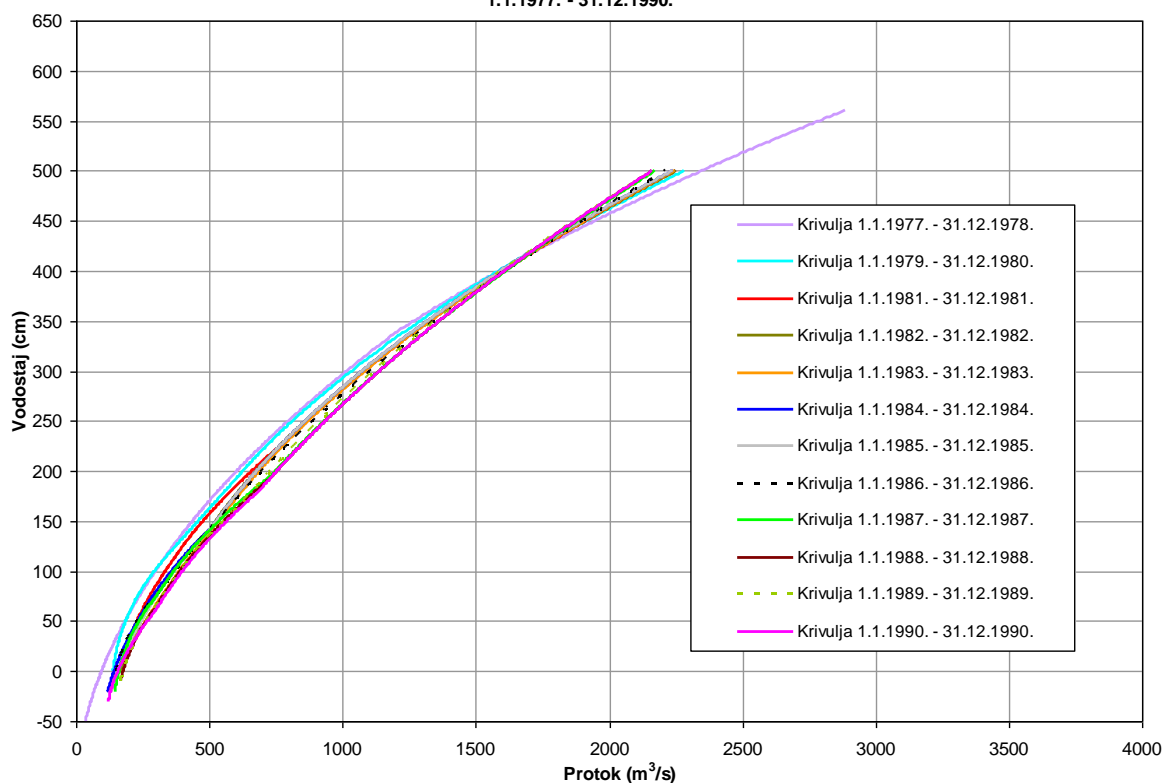
je konstantno sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita u razdoblju od 1977. do 1990. godine. Prema krivuljama protoka definiranim u razdoblju od 1991. do 2011. godine (slika 3.1-9) razdoblja zasipanja korita (povišenje vodostaja) smjenjuju se se s razdobljima u kojima je prisutna erozija korita (sniženje vodostaja), što potvrđuju i snimke poprečnih presjeka na lokaciji hidrološke stanice dane na slici 3.1-7.

Nakon 2012. godine prema definiranim protočnim krivuljama može se zaključiti da je došlo do daljnjeg sniženja vodostaja, odnosno do erozije korita u profilu stanice Novo Virje Skela. Trend produbljenja korita vidljiv je i do kraja 2017. godine. (slika 3.1-9).



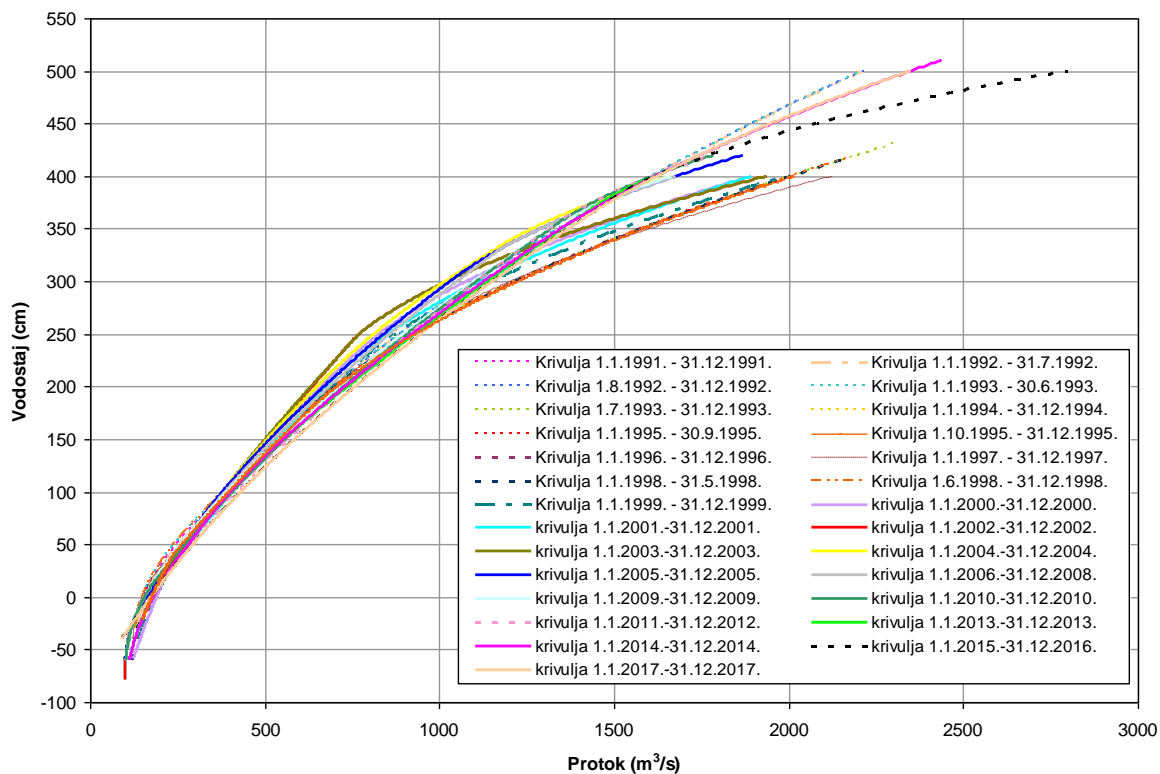
Slika 3.1-7: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Novo Virje Skela

Krivulje protoka NOVO VIRJE SKELA - DRAVA
1.1.1977. - 31.12.1990.



Slika 3.1-8: Protočne krivulje za h. s. Novo Virje Skela za razdoblje 1977-1990. godine

Krivulje protoka NOVO VIRJE SKELA - DRAVA
1.1.1991. - 31.12.2017.

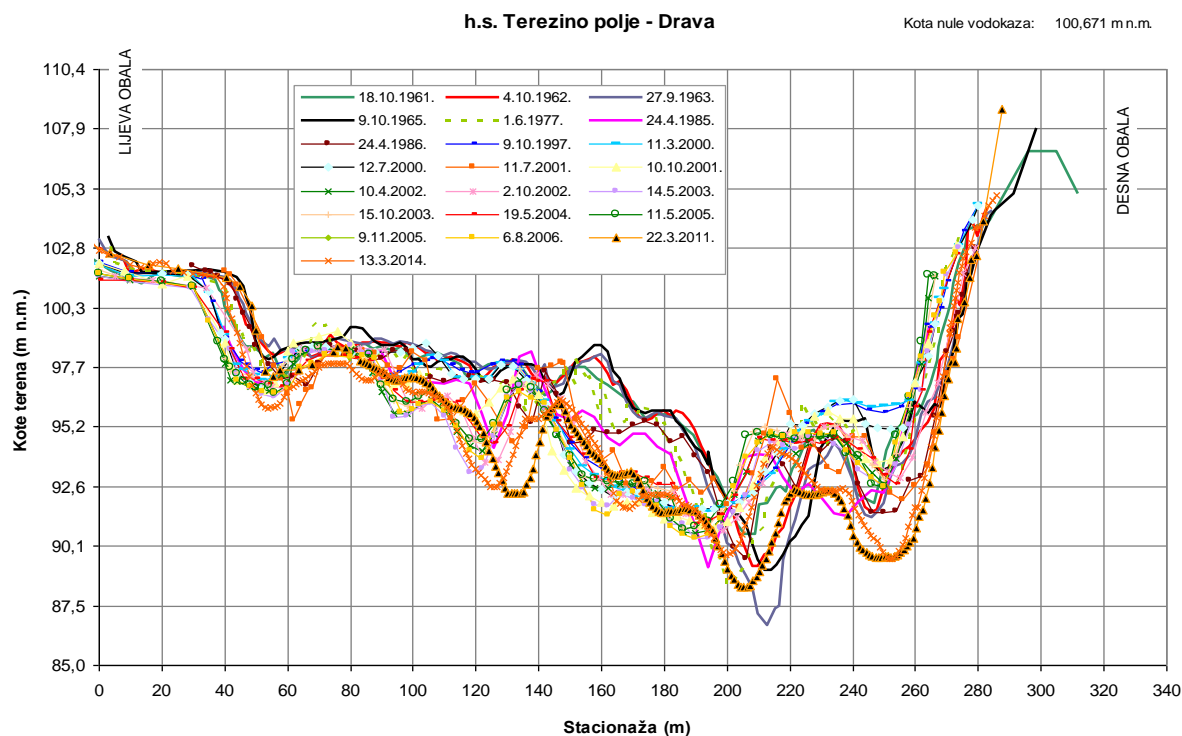


Slika 3.1-9: Protočne krivulje za h. s. Novo Virje Skela za razdoblje 1991-2017. godine
Za razliku od Botova, na stanici Terezino Polje prema jednoj krivulji protoka definiranoj za

razdoblje 1961-1967. godina nema značajnijeg sniženja vodostaja u tom razdoblju, odnosno značajnije promjene morfologije korita, pa ova krivulja definira prosječne vrijednosti vodostaja cijelog razdoblja (slika 3.1-11).

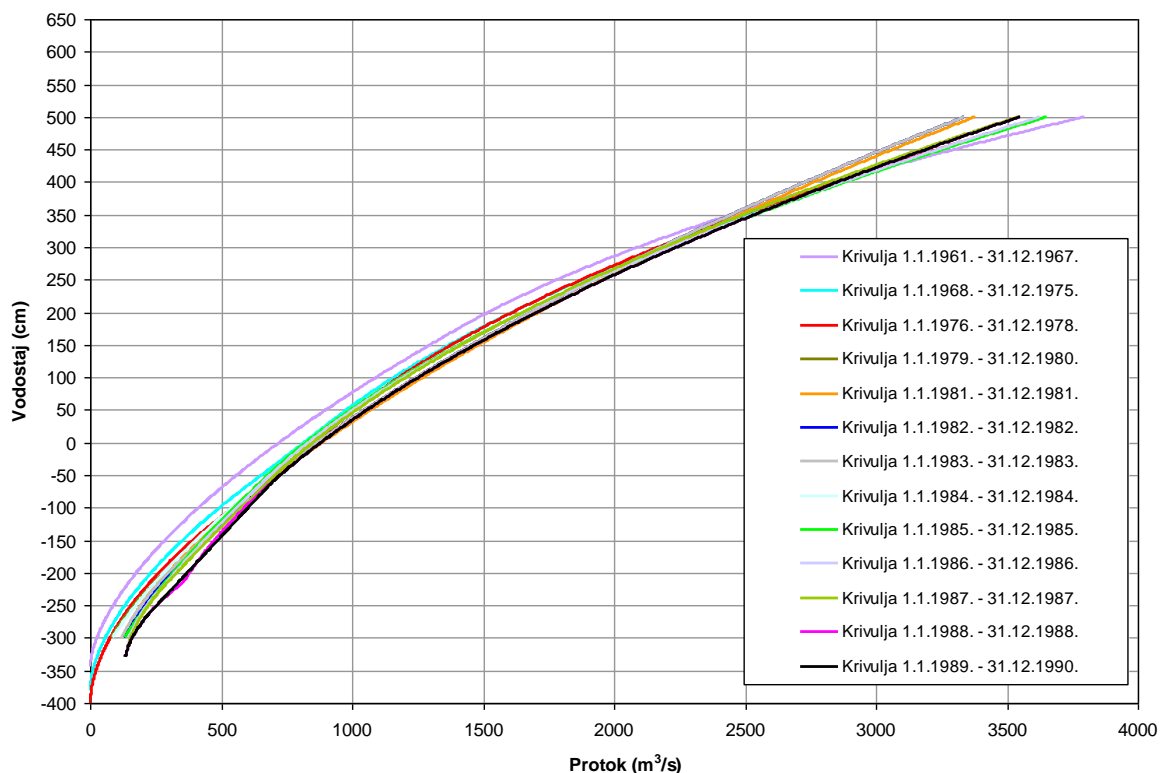
Jednako tako i definirana krivulja protoka za sljedeće razdoblje 1968-1975. godina, koja pokazuje izrazito sniženje vodostaja, tj. produbljenje korita u odnosu na prethodno razdoblje, definira prosječne vrijednosti vodostaja cijelog razdoblja.

Trend produbljenja dna vidljiv je i u razdoblju 1976-1980. godina. Od 1981. godine u mjernom presjeku je prisutno konstantno sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita, a krivulje protoka se mijenjaju svake godine, što većim dijelom potvrđuju i raspoloživa snimanja poprečnih presjeka na lokaciji hidrološke postaje (slika 3.1-10).



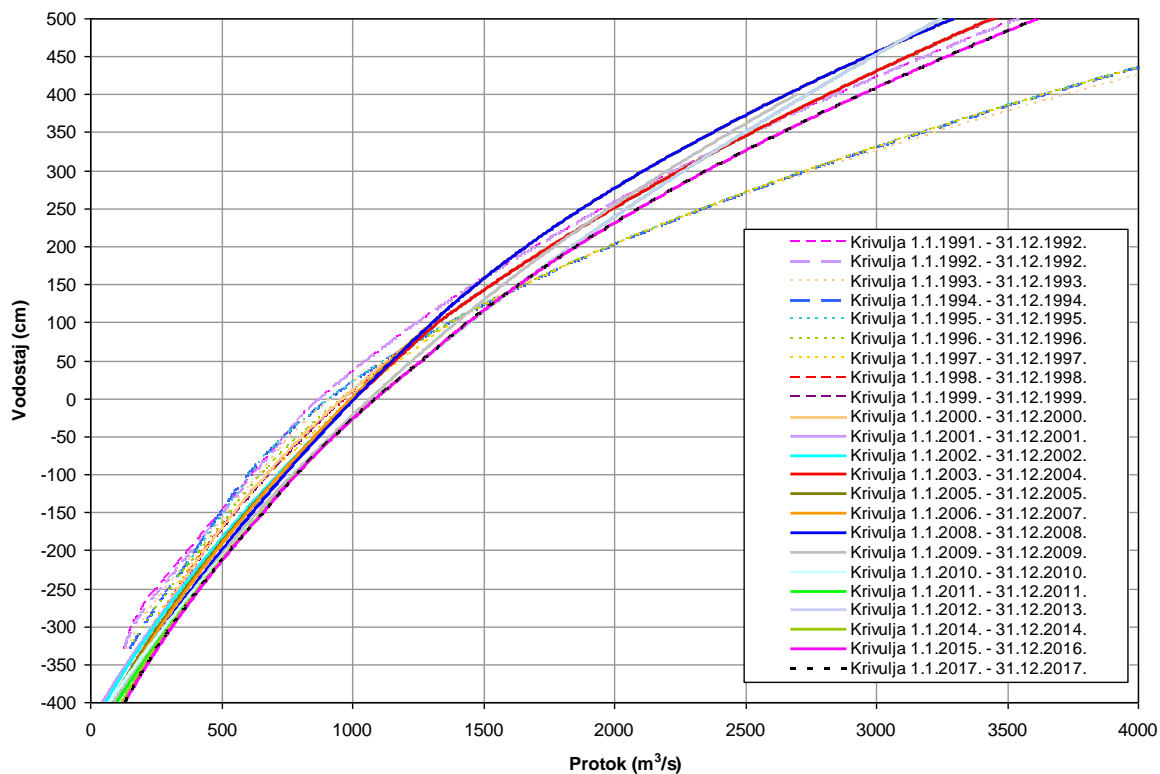
Slika 3.1-10: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Terezino Polje

Krivulje protoka TEREZINO POLJE - DRAVA
1.1.1961. - 31.12.1990.



Slika 3.1-11: Protočne krivulje za h. s. Terezino Polje za razdoblje 1961-1990. godine

Krivulje protoka TEREZINO POLJE - DRAVA
1.1.1991. - 31.12.2016.



Slika 3.1-12: Protočne krivulje za h. s. Terezino Polje za razdoblje 1991-2017. godine
Na stanici Donji Miholjac prva mjerenja protoka obavljena su 1904. godine, a zatim nekoliko

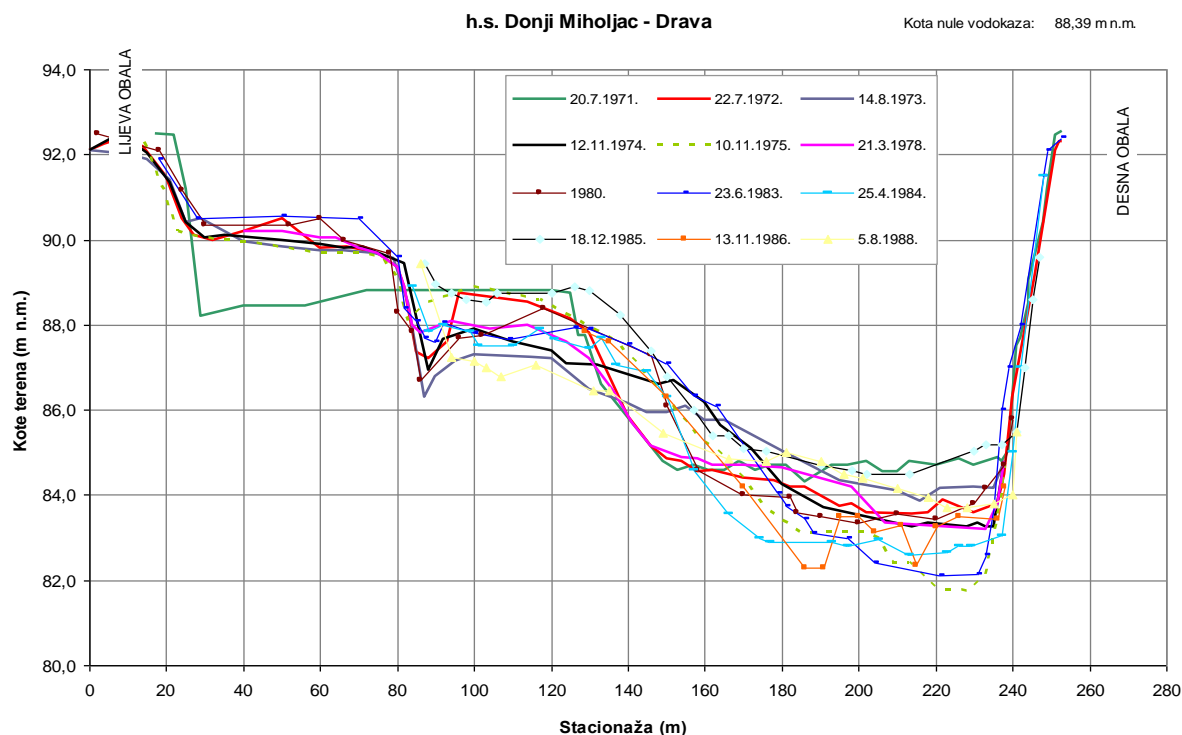
mjerena između 1927. i 1933. godine. To što rezultati ovih mjerenja nisu značajnije odstupali od rezultata mjerenja koja se na ovoj stanici sustavno provode od 1961. godine, samo potvrđuje stabilnost presjeka kroz duži niz godina, pa je krivulja protoka definirana za razdoblje 1961-1965. godina korištena i za proračun protoka u razdoblju 1926-1960. godina (slika 3.1-15).

Međutim, već u 1966. i 1967. godini krivulje protoka pokazuju značajno sniženje vodostaja i ukazuju na produbljenje korita. Ovaj je proces nastavljen i u 1968. godini.

Krajem 1969. godine hidrološka postaja mijenja lokaciju, a od sredine 1970. prelazi se na limnigrafski zapis vodostaja. Krivulje protoka za razdoblje 1969-1972. godina pokazuju povišenje vodostaja, koje je naročito izraženo u 1971. godini, dok poprečni presjeci snimljeni u 1971. i 1972. godini pokazuju produbljenje korita (slika 3.1-13). Prema krivuljama protoka definiranim u razdoblju od 1973. do 1992. godine razdoblja zasipanja korita (povišenje vodostaja) smjenjuju se s razdobljima u kojima je prisutna erozija korita (sniženje vodostaja). U 1993. godini postaja je promijenila lokaciju, što je uvjetovalo promjene minimalnih vodostaja, a krivulje definirane za razdoblje 1993-1995. godina pokazuju njihov porast za jednake vrijednosti protoka.

U razdoblju od 1996. do 2005. godine prema definiranim krivuljama izmjenjuju se razdoblja zasipanja korita s razdobljima u kojima je prisutna erozija korita (sniženje vodostaja).

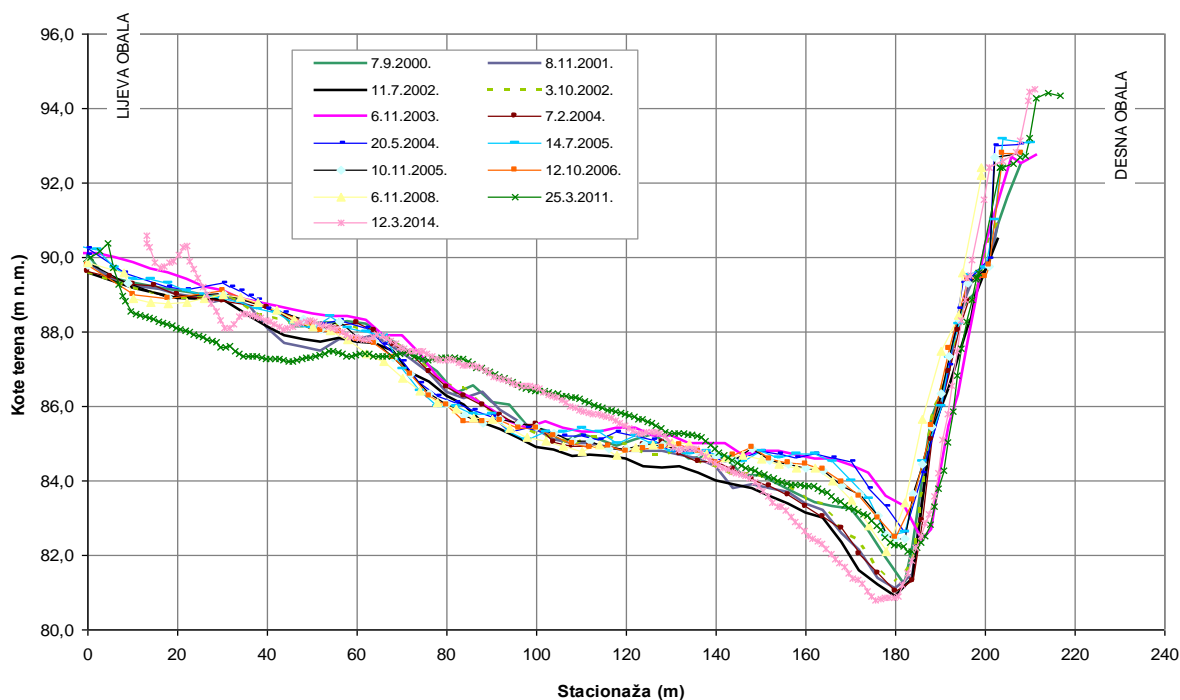
Krivulje protoka za razdoblje 2001-2004. godina pokazuju povišenje vodostaja, koje je naročito izraženo u 2003. godini. Nakon 2012. godine prema definiranim krivuljama može se zaključiti da je došlo do sniženja vodostaja, odnosno do erozije korita u profilu stanice Donji Miholjac c.s., što većim dijelom potvrđuju i raspoloživa snimanja poprečnih presjeka na lokaciji hidrološke stanice. Trend produbljenja korita vidljiv je i do kraja 2017. godine.



Slika 3.1-13: Poprečni presjeci korita na staroj lokaciji h. s. Donji Miholjac

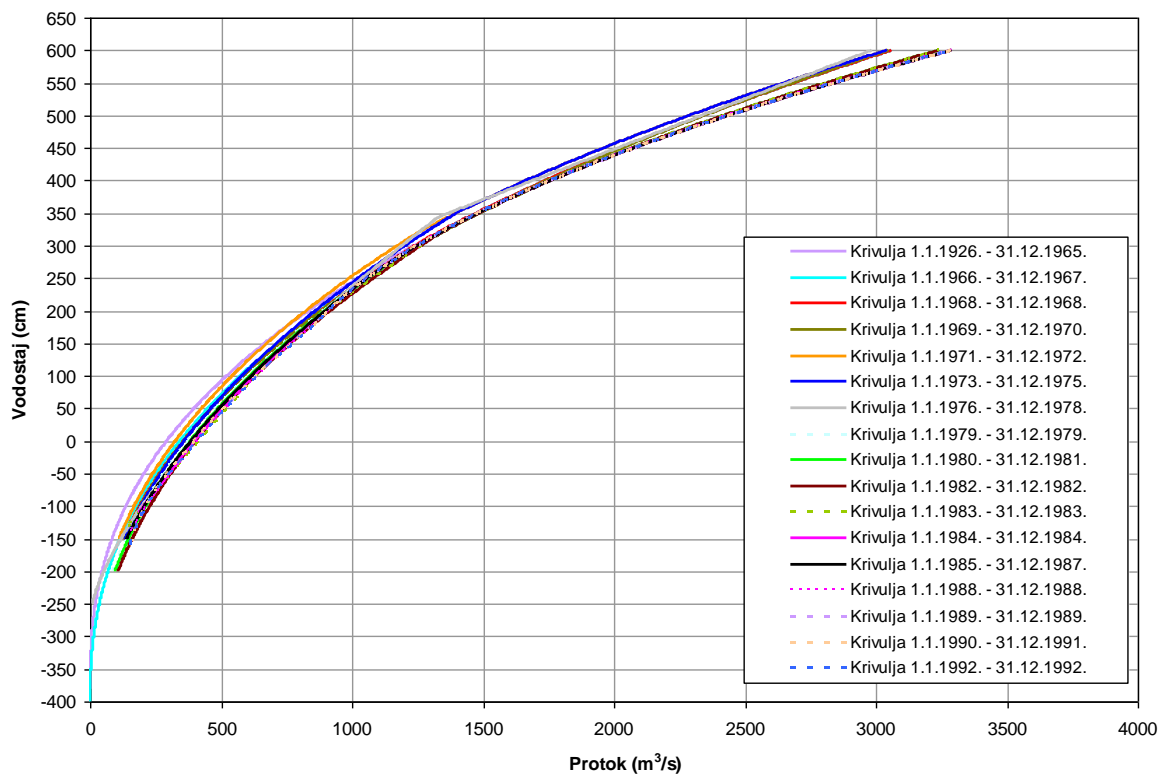
h.s. Donji Miholjac - Drava

Kota nule vodokaza: 88,57 m.n.m.



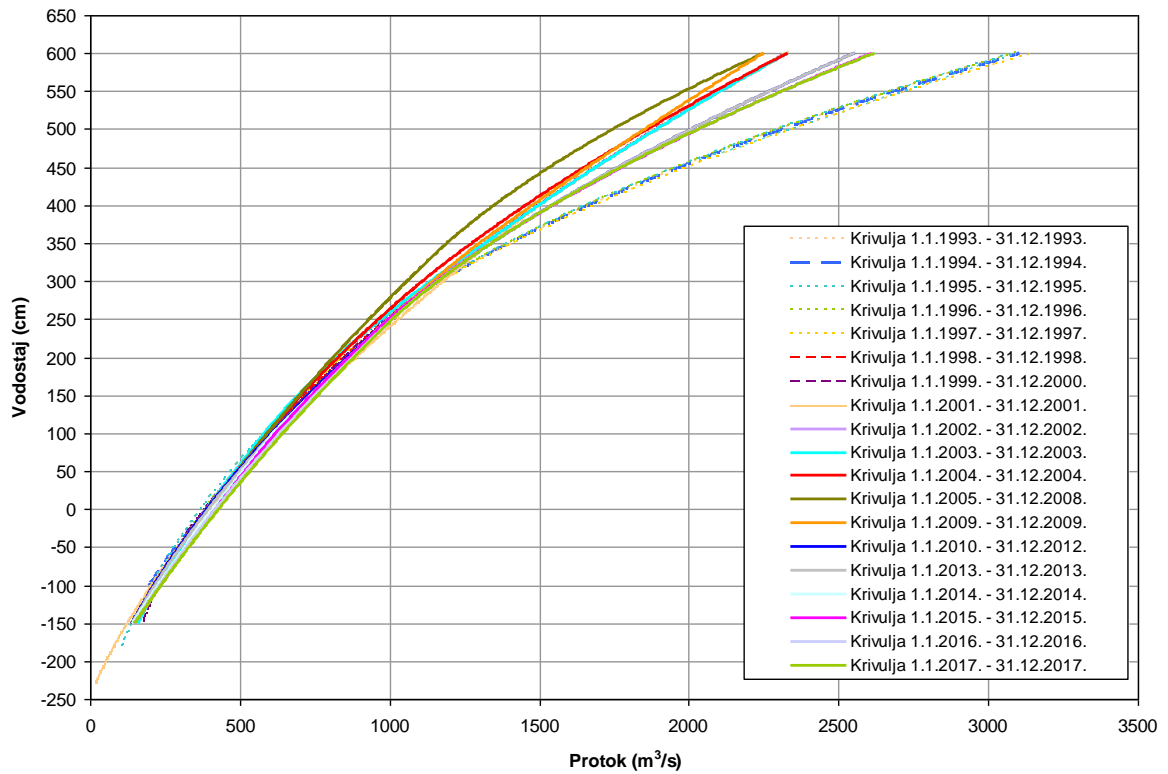
Slika 3.1-14: Poprečni presjeci korita na novoj lokaciji h. s. Donji Miholjac c.s.

**Krivulje protoka DONJI MIHOLJAC - DRAVA
1.1.1926. - 31.12.1992.**



Slika 3.1-15: Protočne krivulje za h. s. Donji Miholjac za razdoblje 1926-1992. godine

Krivulje protoka DONJI MIHOLJAC - DRAVA
1.1.1993. - 31.12.2016.



Slika 3.1-16: Protočne krivulje za h. s. Donji Miholjac c.s. za razdoblje 1993-2017. godine

3.1.2 Analiza nizova minimalnih godišnjih vodostaja i protoka na hidrološkim stanicama na Dravi

Pokazatelj kvantitativnih promjena u režimu površinskih voda svakako su promjene u veličini vodostaja i protoka u razdoblju obrade, te rezultati analize trenda u nizovima karakterističnih godišnjih vodostaja i protoka. Prema hidrološkim podacima i podlogama i rezultatima obrada prikazanim u prethodnim poglavljima, očito je da promjene u koritu rijeke Drave nisu lokalnog karaktera, već se radi o općim promjenama uzrokovanim brojnim i postupnim regulacijskim radovima u koritu i inundacijskom području, izgradnjom i radom hidroenergetskog sustava uzvodno od ušća Mure, ali i vađenjem šljunka i pijeska iz korita i inundacija. Promjene se prije svega odražavaju na procese otjecanja kod malih voda, pa se i obrade koje slijede odnose na nizove minimalnih godišnjih vodostaja i protoka.

Obradom dnevnih podataka vodostaja i protoka za razdoblje 1926-2016. godina, pohranjenih u Banci hidroloških podataka DHMZ-a formirani su nizovi maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka. Pregled raspoloživih karakterističnih godišnjih vodostaja u razdoblju 1926-2016. godina na svim hidrološkim stanicama dan je u tablici 3.1-1, a u tablici 3.1-2 dan je prikaz karakterističnih godišnjih protoka u istom razdoblju.

U *Prilogu poglavlju 2.1.2-1* tablično su prikazani karakteristični mjesečni i godišnji vodostaji i odgovarajući protoci Drave (s pripadajućom osnovnom statističkom obradom) za razmatrane mjerodavne hidrološke stanice za raspoloživo razdoblje obrade. Uz tablični iskaz, dan je i grafički prikaz hoda maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka. Vodostaji su osim u relativnim visinama (cm), iskazani i u apsolutnima prema kotama nule danim u tablicama po evidenciji DHMZ-a koje se odnose na „stari“ sustav mjerenja (prema Trstu).

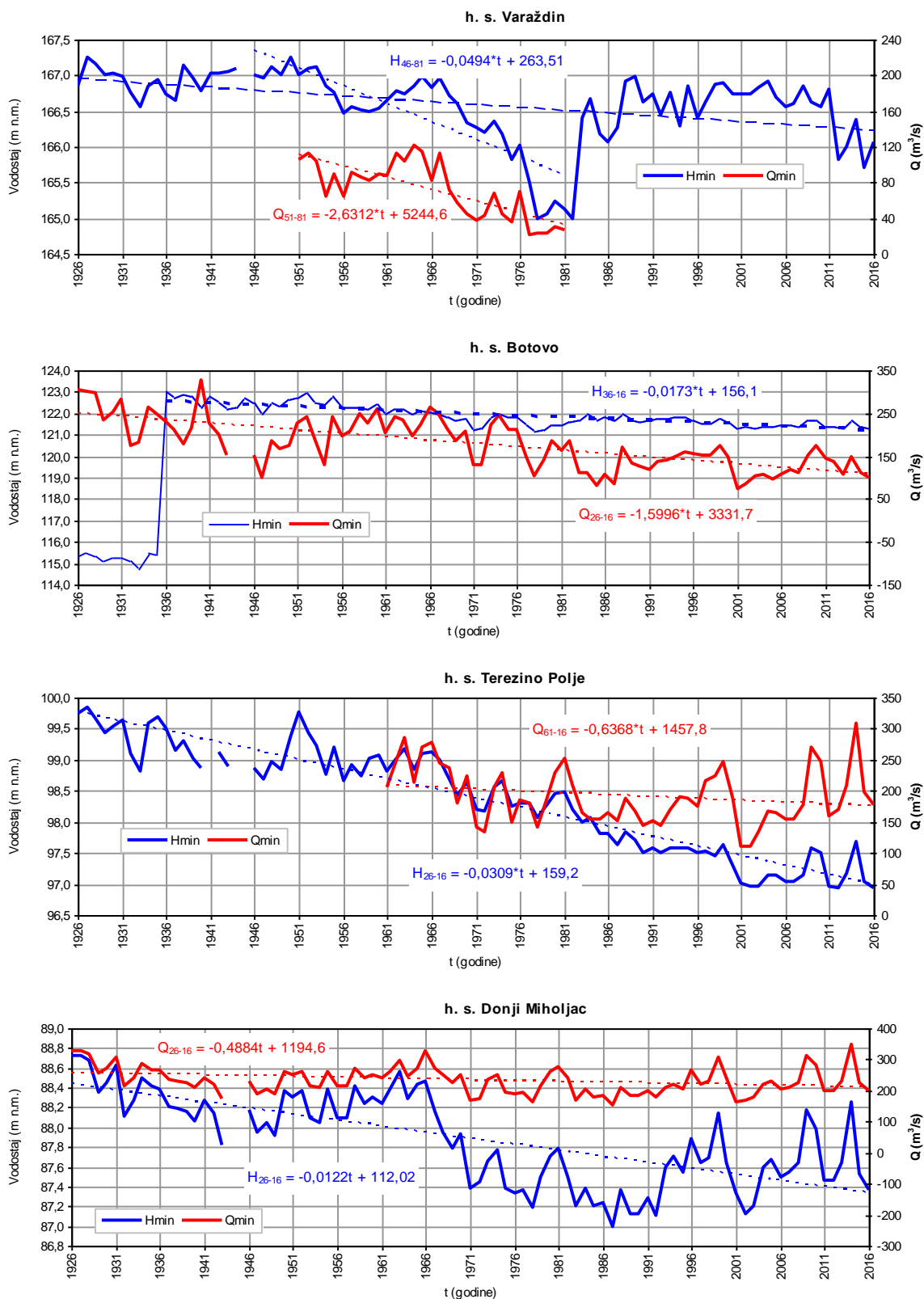
Tablica 3.1-1: Pregled karakterističnih godišnjih vodostaja Drave na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 1926-2016. godina, iskazani u relativnim visinama (cm)

Hidrološke stanice	Kota nule (m n.m.)	Razdoblje obrade	VODOSTAJ (cm)								
			maksimalni			minimalni			srednji		
			sr	max	min	sr	max	min	sr	max	min
Varaždin	166,06	1926-2016	292	424	190	52	120	-106	154	206	67
Donja Dubrava	129,7	1978-2016	282	418	117	-121	20	-218	38	154	-54
Botovo	116,50	1926-1935	166	238	50	-124	-102	-174	-24	14	-72
	124,25	1936-1941	189	216	138	-150	-120	-200	-18	23	-56
	122,25	1942-1983	344	511	150	-18	69	-105	105	191	25
	121,55	1984-2017	421	577	284	4	44	-24	147	200	90
Novo Virje	108,865	1977-2016	355	502	251	-6	56	-48	130	196	79
Terezino Polje	100,67	1926-2016	157	403	-57	-232	-82	-374	-102	61	-262
Donji Miholjac	88,542	1926-1970	322	460	186	-28	19	-76	101	182	23
	88,39	1971-1992	315	500	156	-102	-60	-140	49	124	8
	88,57	1993-2016	338	529	186	-93	-32	-145	52	157	-22

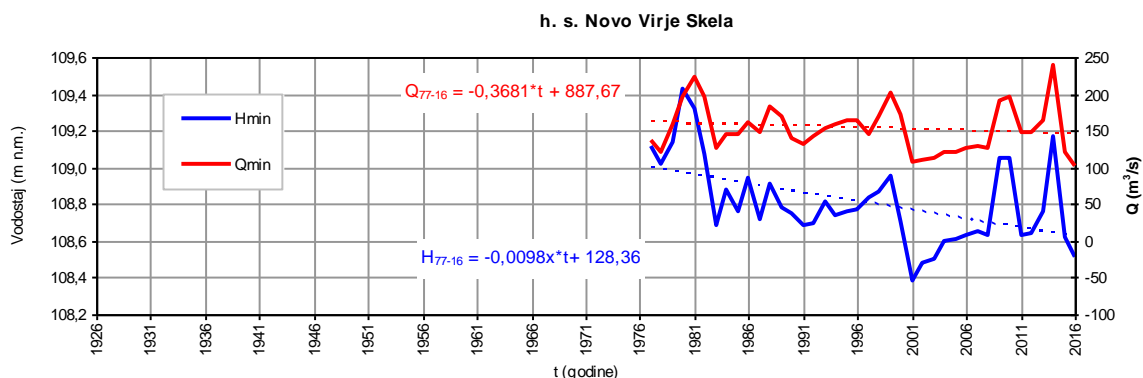
Tablica 3.1-2: Pregled karakterističnih godišnjih protoka Drave na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 1926-2016. godina

Hidrološke stanice	Razdoblje obrade	PROTOK (m ³ /s)								
		maksimalni			minimalni			srednji		
		sr	max	min	sr	max	min	sr	max	min
Varaždin	1951-1981	1286	2842	613	71,6	122	22,1	341	477	231
Donja Dubrava	1978-2016	1137	2061	646	53,3	115	19,1	308	501	212
Botovo	1926-2016	1470	2652	755	178	326	72,7	509	779	326
Novo Virje	1977-2016	1434	2367	862	153	238	102	491	733	336
Terezino Polje	1961-2016	1452	2889	717	192	308	111	517	815	346
Donji Miholjac	1926-2016	1343	2288	692	232	351	152	537	823	349

U nastavku je na slikama 3.1-17 i 3.1-18 dan prikaz minimalnih godišnjih vodostaja i protoka na hidrološkim postajama na Dravi, te rezultati analize trenda u nizovima karakterističnih godišnjih vodostaja i protoka.



Slika 3.1-17: Minimalni godišnji vodostaji i protoci na hidrološkim stanicama na Dravi u razdoblju 1926-2016. godina



Slika 3.1-18: Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Novo Virje Skela na Dravi u razdoblju 1977-2016. godina

Iz prikaza minimalnih godišnjih vodostaja na hidrološkim postajama na Dravi (slika 3.1-17) vidljiv je trend njihova sniženja u razdoblju obrade, međutim, nema značajnih razlika u njihovu hodu, osim u pogledu veličine godišnjeg sniženja ili porasta minimalnih vodostaja. Izuzetak su podaci s postaje Varaždin, koji ukazuju na znatno sniženje minimalnih vodostaja poslije početka rada HE Varaždin, kao i na promjene u režimu vodostaja od 1982. godine, otkad je stanica pod utjecajem uspora akumulacije HE Čakovec. Treba ukazati i na promjene vodostaja na hidrološkoj postaji Botovo u razdoblju poslije 1936. godine (kao posljedica premještanja lokacije h. s.), kao i u razdoblju 1981-1983. godina, koje ne prate hod vodostaja ostalih stanica. One su rezultat promjena geometrije korita, a dovele su do premještanja postaje na novu lokaciju 1984. godine, što pokazuje i znatniji skok u hodu minimalnih godišnjih vodostaja u toj godini.

S druge strane, premještanje hidrološke stanice Donji Miholjac na nove lokacije krajem 1969. i 1992. godine nije se značajnije odrazilo u hodu minimalnih godišnjih vodostaja, kao što bi se očekivalo s obzirom na promjenu mjernog presjeka na toj postaji, ili je skok u hodu minimalnih godišnjih vodostaja prikriven općim promjenama koje se opažaju na svim postajama u razdoblju nakon 1968. godine.

Naime, iz prikaza je vidljivo da je na svim stanicama u razdoblju poslije 1968. godine došlo do izrazitijeg sniženja minimalnih godišnjih vodostaja, što se može dovesti u vezu s više uzroka.

Najprije, velike vode u 1965. i 1966. godine svojim su prolaskom značajnije promijenile sliku riječnog korita, što svakako utječe i na kretanje vodostaja. Godine koje slijede manje su bogate vodom, tako je, na primjer, srednji godišnji protok za razdoblje 1967-1969. godina na Botovu $517 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je u 1965. bio za $259 \text{ m}^3/\text{s}$, a u 1966. godini za $151 \text{ m}^3/\text{s}$ veći od ovog prosjeka. Ništa manje važan nije podatak da je tokom 1969. godine završena izgradnja HE Zlatoličje, prve derivacijske hidroelektrane na Dravi, koja svojim radom pospješuje procese erozije korita na nizvodnom potezu.

Pojava izrazitijeg sniženja vodostaja u presjeku Terezino Polje tumači se utjecajem suženog dijela korita, u kojem se stanica nalazi, na procese u dinamici protoka vode, pronošenja nanosa i morfoloških promjena u koritu, koje se očituju konstantnim produbljenjem korita.

U razdoblju nakon 1983. godine na stanicama Botovo i Donji Miholjac je vidljivo postupno

ujednačenje vodostaja (ublažene su oscilacije između ekstremnih veličina, koje se kreću u uskim granicama ispod prosječnog višegodišnjeg protoka) što je moguće dovesti u vezu s početkom rada HE Čakovec, međutim, razdoblje rada HE Čakovec vremenski se podudara i sa sušnim dijelom hidrološkog ciklusa, za kojeg je karakteristična manja vodnost i pojava većeg taloženja nanosa. Na Terezinom Polju stabilnije razdoblje je, što se sniženja vodostaja tiče, nastupilo poslije 1990. godine, odnosno početka rada HE Dubrava.

Općenito, sa slika je vidljiv trend *sniženja* minimalnih godišnjih vodostaja i *smanjenja* minimalnih godišnjih protoka na svim hidrološkim postajama u razdoblju 1926-2016. godina. Analiziraju li se kraća razdoblja, sniženja su, ovisno o vodnosti pojedinog razdoblja još izrazitija. Isto tako unutar razdoblja 1946-2016. godina na Botovu i Donjem Miholjcu je prisutan i trend porasta minimalnih godišnjih vodostaja, na Botovu u razdoblju 1978-1999. godina, Donjem Miholjcu u razdoblju 1946-1967. godina. Može se kazati da na trend porasta minimalnih godišnjih vodostaja na Donjem Miholjcu utječe vodnost razdoblja, a promjene na Botovu rezultat su rada uzvodnih hidroelektrana. Također nakon 2002. godine prisutan je trend porasta minimalnih godišnjih vodostaja na svim analiziranim stanicama uslijed vodnijeg razdoblja.

U razdoblju 1926-2016. godina na svim razmatranim stanicama na Dravi prisutan je trend smanjenja minimalnih protoka. Ovo se smanjenje kreće u granicama od prosječno godišnje 0,5 m³/s na Donjem Miholjcu do 1,6 m³/s na Botovu.

Prema provedenim analizama u (lit. 72) u razdoblju 1926-1943. godina trend smanjenja minimalnih protoka kreće se od prosječno godišnje 4,9 m³/s na Botovu, do 6,8 m³/s na Donjem Miholjcu. U dijelu razdoblja 1946-1967/75. godina na ovim je postajama prisutan trend povećanja minimalnih godišnjih protoka od prosječno 1,7 m³/s do 4,4 m³/s godišnje, što je posljedica veće vodnosti razdoblja. U razdoblju 1968-1995. godina na svim se stanicama uočava trend smanjenja minimalnih godišnjih protoka. Međutim, gledaju li se kraća razdoblja, u razdoblju nakon 1983. godine na ovim je stanicama vidljiv trend povećanja minimalnih godišnjih protoka, što je vjerojatno rezultat rada uzvodnih hidroelektrana, prvenstveno HE Čakovec i HE Dubrava, na što upućuju i rezultati analiza malovodnih perioda provedenih u studiji "Identifikacija promjena režima površinskih voda Drave na zajedničkoj hrvatsko-mađarskoj dionici", Institut za elektroprivredu i energetiku, koji pokazuju da hidroelektrane svojim radom popravljaju režim malih voda u malovodnim periodima dužeg trajanja.

S većom udaljenošću pojedine postaje od najnižvodnije hidroelektrane u nizu (HE Dubrava) trend smanjenja ili povećanja minimalnih godišnjih protoka na postaji je manji, što se može pripisati utjecaju prirodnog dotoka s pripadajućeg međusliva i djelovanju podzemnih voda na površinski režim malih voda.

Ovdje ponovno treba skrenuti pozornost na utjecaj razdoblja obrade na veličinu i predznak trenda u analiziranim nizovima podataka, što je i razlog više za korištenje rezultata samo kao približnih pokazatelja očekivanih promjena u režimu protoka. Naime, što su razdoblja kraća, izrazitiji je i veći utjecaj vodnosti razdoblja, ali i promijenjenih uvjeta tečenja, uvjetovanih radom uzvodnih hidroelektrana i uređenjem sliva.

Prethodne analize pokazuju da su promjene u koritu i slivu rijeke Drave značajne i postupno su se, ovisno o opsegu i vrsti radova na slivu, pojačavale, uvjetujući promjene režima vodostaja i protoka Drave.

Svakako, u razdoblju manje izgrađenosti hidroenergetskog sustava i izostanka radova na slivu, ove su promjene više rezultat ciklične izmjene vlažnih i sušnih razdoblja, dok u posljednjih četrdesetak godina uz utjecaj vodnosti razdoblja jača i utjecaj svih aktivnosti na

slivu, a posebno rada uzvodnih hidroelektrana na režim malih voda Drave.

3.1.3 Analiza vremenskih nizova podataka o mjerenju nanosa na hidrološkim stanicama na Dravi - svakodnevna mjerenja u jednoj točki presjeka i profilna mjerenja

Analiza vremenskih nizova podataka o mjerenju nanosa na hidrološkim stanicama na Dravi temeljem svakodnevnih mjerenja u jednoj točki presjeka

Promjene u koritu rijeke Drave izazvane brojnim regulacijskim radovima, sve intenzivnija eksploatacija šljunka i pijeska iz korita i inundacijskog područja, a prvenstveno izgradnja i rad hidroenergetskih objekata uzvodno od ušća Mure značajno utječu na režim nanosa u rijeci Dravi. Za razliku od opažanja vodostaja, koja na hidrološkim postajama provodi gotovo dva stoljeća, nanos je DHMZ započeo mjeriti tek šezdesetih godina ovoga stoljeća.

Obradama u nastavku su obuhvaćeni raspoloživi dnevni podaci pronosa i koncentracija suspendiranog nanosa u razdoblju 1967-2016. godina, određeni na temelju svakodnevnih zahvaćanja uzorka vode u jednoj točki mjernih presjeka na lokacijama hidroloških stanica Varaždin, Botovo, Donji Miholjac i Terezino Polje.

Svakodnevna mjerenja ni u kom slučaju nisu reprezentativna za cijeli presjek, ali imaju svojih prednosti u odnosu na profilna. Jedna od njih jest što su jeftina i jednostavna, a druga, koja proizlazi iz prethodne, je da se kontinuirano provode kroz duže razdoblje, pa se na taj način ipak prikupljaju vrijedni podaci, na temelju kojih se može procijeniti pronos suspendiranog nanosa duž toka.

Tablični i grafički prikaz karakterističnih mjesečnih i ukupnih mjesečnih i godišnjih pronosa suspendiranog nanosa na Dravi u Hrvatskoj, kao i mjesečna i godišnja koncentracija suspendiranog nanosa dobiven na osnovi svakodnevnih uzorkovanja dan je u *Prilogu poglavlju 2.1.3.*

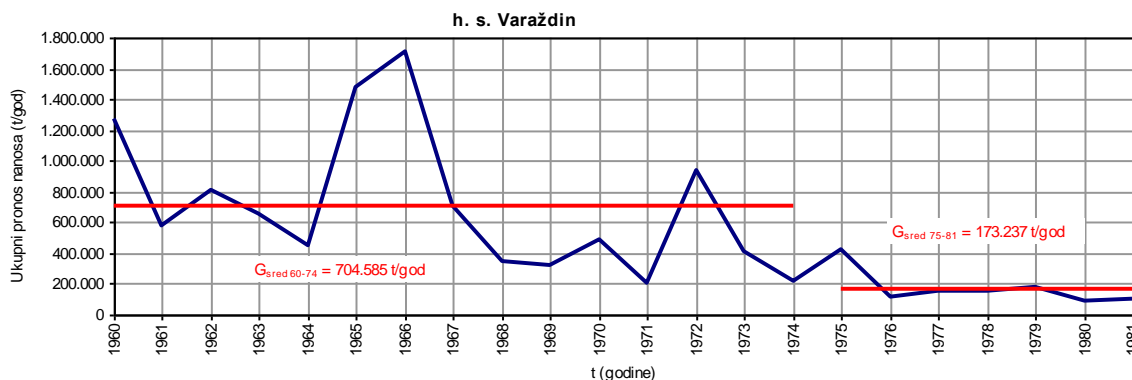
Budući da je u presjecima Botovo i Donji Miholjac bilo prekida u opažanju, za potrebe ovih analiza iz (literature 72) su preuzeti dnevni podaci pronosa nanosa dopunjeni na temelju linearne korelacijske ovisnosti mjesečnih podataka u razdoblju 1967-1995. godina.

Općenito, promjene režima pronosa nanosa, koje se očituju u smanjenju pronosa suspendiranog nanosa vezane su uz početak rada uzvodnih hidroelektrana na Dravi, čijom izgradnjom je prekinut prirodni pronos nanosa duž toka. One se najbolje uočavaju iz prikaza danih u nastavku na slikama 3.1-19 do 3.1-22 gdje su prikazani odnosi prosječnih vrijednosti ukupnog pronosa nanosa po razdobljima. Smanjenje ili povećanje godišnjeg pronosa nanosa, uglavnom kao posljedica izgradnje i rada pojedine hidroelektrane, ali i eksploatacije riječnog nanosa ili ekstremnih hidroloških prilika na slivu, uzrokuje promjenu u pronosu nanosa.

Analize izmjerenih količina pokazuju slijedeće:

Šezdesete i prva polovica sedamdesetih, godine su čestih pojava izrazito velikih voda i povećanog pronosa nanosa: veliki protoci u 1965, 1966. i 1972. godini uzrokom su povećanog pronosa suspendiranog nanosa. Smanjenje godišnjeg pronosa nanosa na postaji Varaždin vidljivo je u 1971. godini, koja je po svojoj vodnosti znatno ispod prosjeka vodom bogatijih šezdesetih godina, pa je i pronos nanosa manje, a uz to je moguće vezati i početak rada HE Zlatoličje (1969. godina), prve derivacijske hidroelektrane na Dravi. Značajnije smanjenje pronosa nanosa izazvala je izgradnja i rad HE Varaždin, naime,

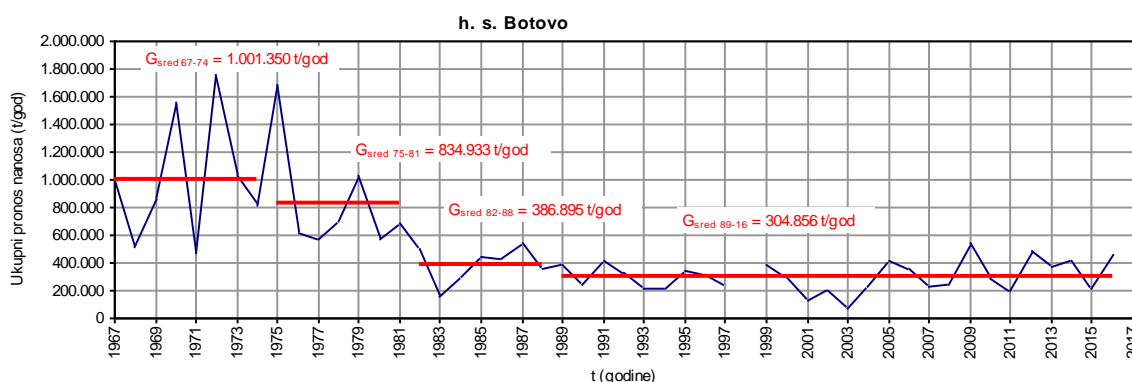
prosječni godišnji pronos nanosa poslije 1975. godine je čak 4 puta manji od pronosa u razdoblju 1967-1974. godina (slika 3.1-19).



Slika 3.1-19: Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Varaždin na Dravi s ucrtanim prosječnim vrijednostima ukupnog pronosa nanosa po razdobljima vezano za početak rada HE Varaždin

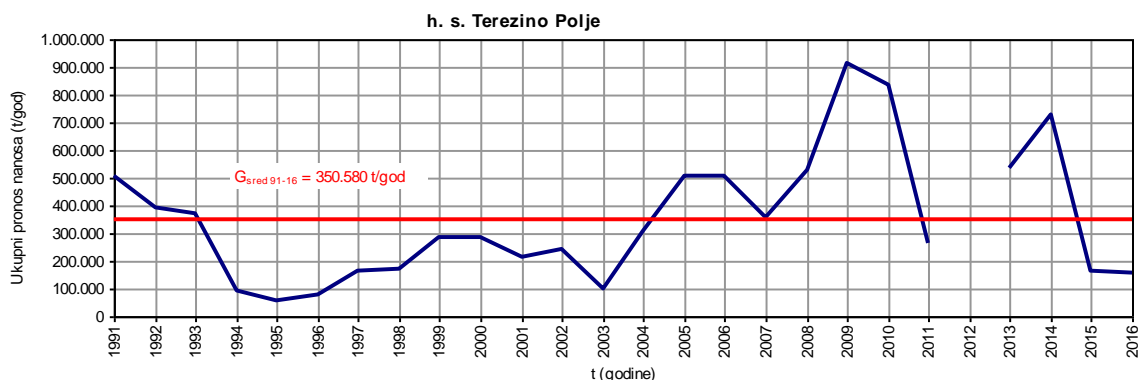
Na Botovu (slika 3.1-20) je situacija nešto povoljnija jer u ukupno izmjerenoj količini nanosa koja prođe kroz presjek, u određenom iznosu sudjeluje i nanos koji u Dravu donosi Mura, pa je prosječni pronos nanosa u Botovu u razdoblju od 1975. do 1981. godine “samo” 1,2 puta manji od pronosa u razdoblju 1967-1974. godina. U razdoblju rada HE Čakovec (1982-1989.) prosječni ukupni godišnji pronos nanosa u Botovu smanjen je 2 puta u odnosu na razdoblje 1975-1981. godina, dok je u razdoblju rada HE Dubrava (1989-2016.) smanjen 1,3 puta u odnosu na pronos nanosa u prethodnom razdoblju.

Usporedi li se prosječni godišnji pronos suspendiranog nanosa kroz presjeke Varaždin i Botovo u razdobljima 1967-1975. i 1976-1981. godina, proizlazi da Mura u Dravu donosi najmanje polovicu ukupno izmjerenih količina na Botovu.



Slika 3.1-20: Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Botovo na Dravi s ucrtanim prosječnim vrijednostima ukupnog pronosa nanosa po razdobljima vezano za početak rada uzvodnih hidroelektrana na Dravi

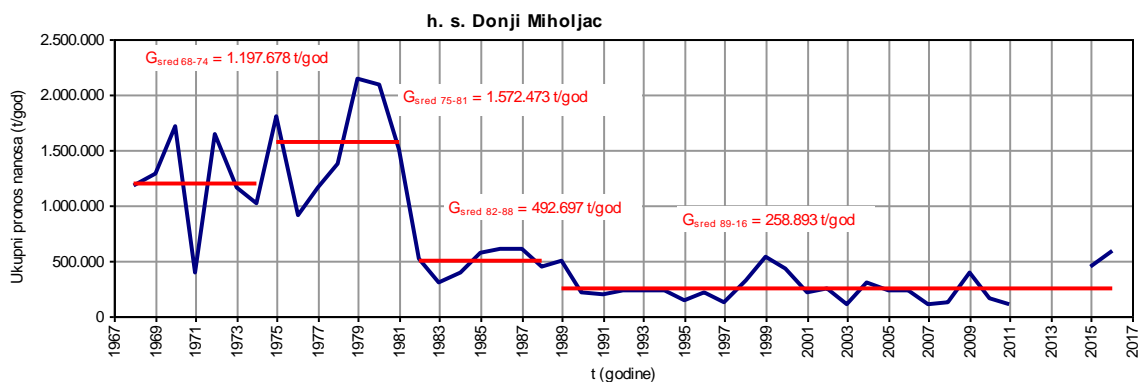
Budući da se suspendirani nanos u presjeku Terezino Polje mjeri tek od 1990. godine, nije moguće ocijeniti u kojoj mjeri je smanjen pronos suspendiranog nanosa vezano uz početak rada uzvodnih hidroelektrana na Dravi.



Slika 3.1-21: Ukupni godišnji prinos suspendiranog nanosa na h. s. Terezino Polje na Dravi s ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razdoblje 1991-2016.

U profilu Donji Miholjac smanjenje pronosa (slika 3.1-22) vidljivo je također u 1971. godini, koja je po svojoj vodnosti znatno ispod prosjeka razmatranog razdoblja. Izgradnja i rad HE Varaždin nije se značajnije odrazila na pronošenje nanosa u ovom presjeku, štoviše, u razdoblju 1975-1981. godina prosječni godišnji prinos nanosa u Donjem Miholjcu povećan je 1,3 puta u odnosu na razdoblje 1968-1974. godina, a to je moguća posljedica erozije vlastitog korita na dionici toka uzvodno od Donjeg Miholjca, ali i točnosti mjerenja. U razdoblju 1982-1989. godina, tj. nakon početka rada HE Čakovec prosječni ukupni godišnji prinos nanosa smanjen je 3 puta u odnosu na prinos u prethodnom razdoblju (1975-1982), dok su u razdoblju 1989-2016. godina u Donjem Miholjcu prosječne količine 2 puta manje od količina izmjenjenih u razdoblju 1982-1988. godina. Ovo je smanjenje izrazitije negoli u presjeku Botovo, a uzrok treba tražiti u pretpostavci da se dio nanosa nataložio u koritu negdje između Botova, odnosno Terezinog Polja i Donjeg Miholjca.

Na ovaj zaključak upućuju i rezultati mjerenja pronosa suspendiranog nanosa u razmatranim presjecima: u razdoblju od 1991. do 2016. godine srednji godišnji prinos nanosa u Botovu je iznosio 304 196 t/god, u Terezinom Polju 350 580 t/god, a u Donjem Miholjcu 250 958 t/god. Nepovoljna je okolnost što se na razmatranoj dionici ne provode kontinuirana snimanja poprečnih presjeka koja bi pružila mogućnost razjašnjenja navedenih pretpostavki i rezultirala realnim zaključcima o promjeni režima nanosa i morfološkim promjenama u koritu Drave.



Slika 3.1-22: Ukupni godišnji prinos suspendiranog nanosa na h. s. Donji Miholjac na Dravi s ucrtanim prosječnim vrijednostima ukupnog pronosa nanosa po razdobljima vezano za početak rada uzvodnih hidroelektrana na Dravi

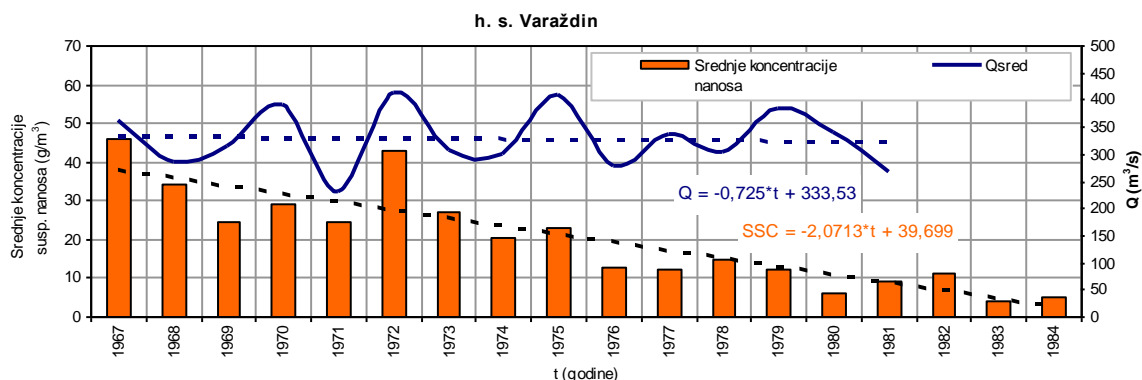
Prema navedenom, odnosi prosječnih vrijednosti ukupnog pronosa nanosa po razdobljima, dani u ovom poglavlju, ne daju stvarnu sliku stanja suspendiranog nanosa, ali mogu poslužiti kao orijentacijske vrijednosti granica unutar kojih se kreće pronos suspendiranog nanosa, tj. za opću procjenu smanjenja pronosa suspendiranog nanosa: u razdoblju poslije početka rada HE Čakovec prosječni ukupni godišnji pronos nanosa u Botovu čini otprilike trećinu, a u Donjem Miholjcu četvrtinu prosječnih količina pronosa u razdoblju prije 1982. godine.

Iz danih prikaza vidljivo da se neposredno nakon početka rada pojedine hidroelektrane količina godišnjeg pronosa nanosa na lokacijama hidroloških postaja značajno smanjuje, zatim postupno raste, da bi se, nakon što Drava uspostavi ravnotežno stanje toka erodirajući vlastito korito i obale, uspostavilo i ravnotežno stanje pronosa.

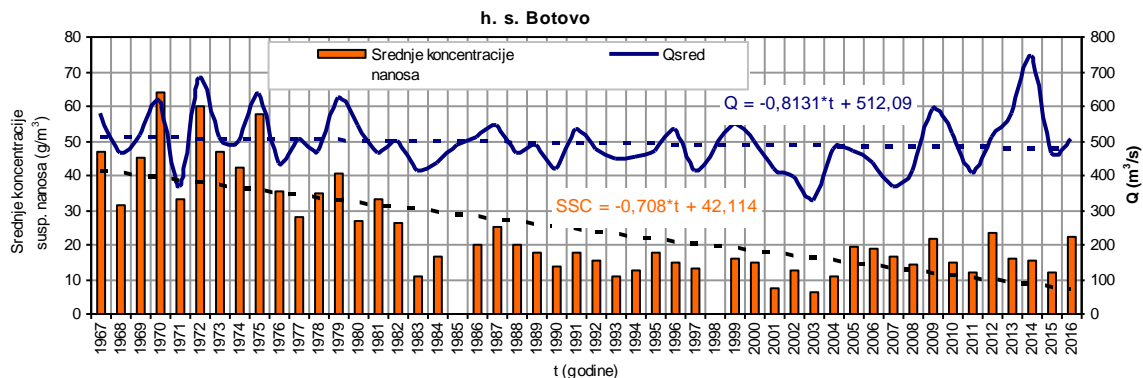
Ovdje treba istaknuti da, za razliku od šezdesetih i prve polovice sedamdesetih godina koje karakterizira učestala pojava velikih voda i povećan pronos nanosa, osamdesete godine pripadaju sušnom dijelu hidrološkog ciklusa, što u vrijeme velikih voda pretpostavlja manje prelijevne protoke preko brana hidroelektrana, njihovo kraće trajanje, dakle i manju transportnu moć, pa se veći dio ispranog nanosa, nataloženog kroz određeni broj godina u akumulacijskim jezerima, zadržava u starim koritima hidroelektrana. Prema tome, može se reći da to što sušno razdoblje koincidira s razdobljem izgradnje i početka rada hidroelektrana Varaždin, Formin, Čakovec i Dubrava pridonosi izrazitijem smanjenju pronosa suspendiranog nanosa.

Raspodjela ukupnog pronosa suspendiranog nanosa unutar godine na svim stanicama prati vodni režim Drave: primarni maksimumi se javljaju u razdoblju svibanj-kolovoz, sekundarni u rujnu ili listopadu, a minimumi u zimskim mjesecima (siječanj, veljača, studeni i prosinac).

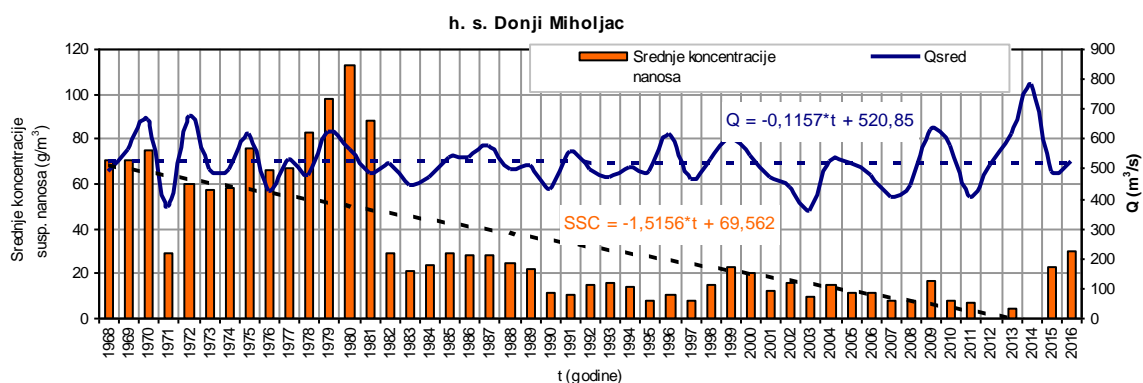
Rad elektrana utječe i na koncentracije suspendiranog nanosa. Prema prikazu srednjih godišnjih koncentracija suspendiranog nanosa danim na slikama u nastavku na svim je stanicama vidljivo smanjenje srednjih mjesečnih i godišnjih koncentracija u razdoblju poslije 1975., odnosno 1981. godine. Izuzetak je hidrološka stanica Terezino Polje s obzirom na razmatrano razdoblje raspoloživih podataka, tek nakon 1991. godine.



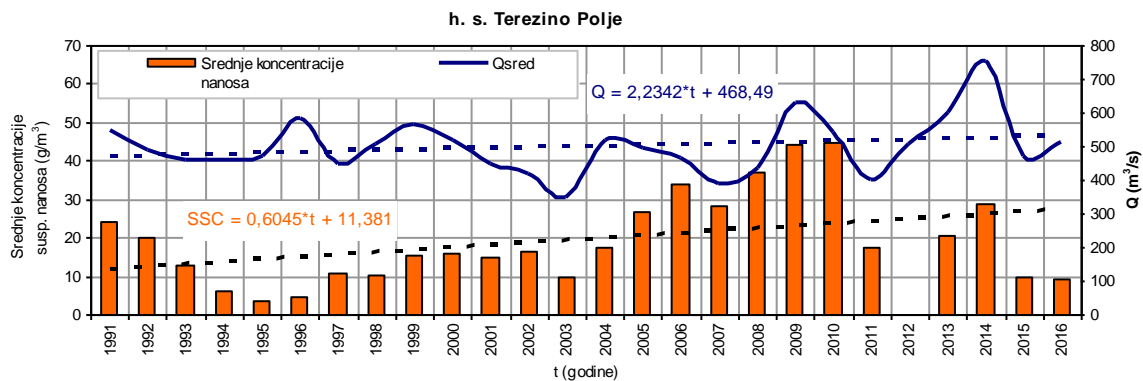
Slika 3.1-23: Srednja godišnja koncentracija suspendiranog nanosa i srednji godišnji protok s iskazanim trendom na h. s. Varaždin na Dravi



Slika 3.1-24: Srednja godišnja koncentracija suspendiranog nanosa i srednji godišnji protok s iskazanim trendom na h. s. Botovo na Dravi



Slika 3.1-25: Srednja godišnja koncentracija suspendiranog nanosa i srednji godišnji protok s iskazanim trendom na h. s. Donji Miholjac na Dravi



Slika 3.1-26: Srednja godišnja koncentracija suspendiranog nanosa i srednji godišnji protok s iskazanim trendom na h. s. Terezino Polje na Dravi

Analiza rezultata mjerenja srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i trenutnog pronosa nanosa u mjernim profilima na Dravi

Osim prethodno provedenih analiza temeljem dnevnih vrijednosti koncentracije na osnovi površinskih uzoraka iz jedne točke pri površini kao i analiza dnevnih, mjesečnih i godišnjih pronosa suspendiranog nanosa, pomoću kojih su na osnovi promjena u povijesnim nizovima dnevnih podataka definirani trendovi za pojedine hidrološke parametre, u nastavku su analizirani i rezultati mjerenja srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i trenutnog pronosa koja se u mjernim profilima Botovo, Terezino Polje i Donji Miholjac vrše najviše šest puta godišnje.

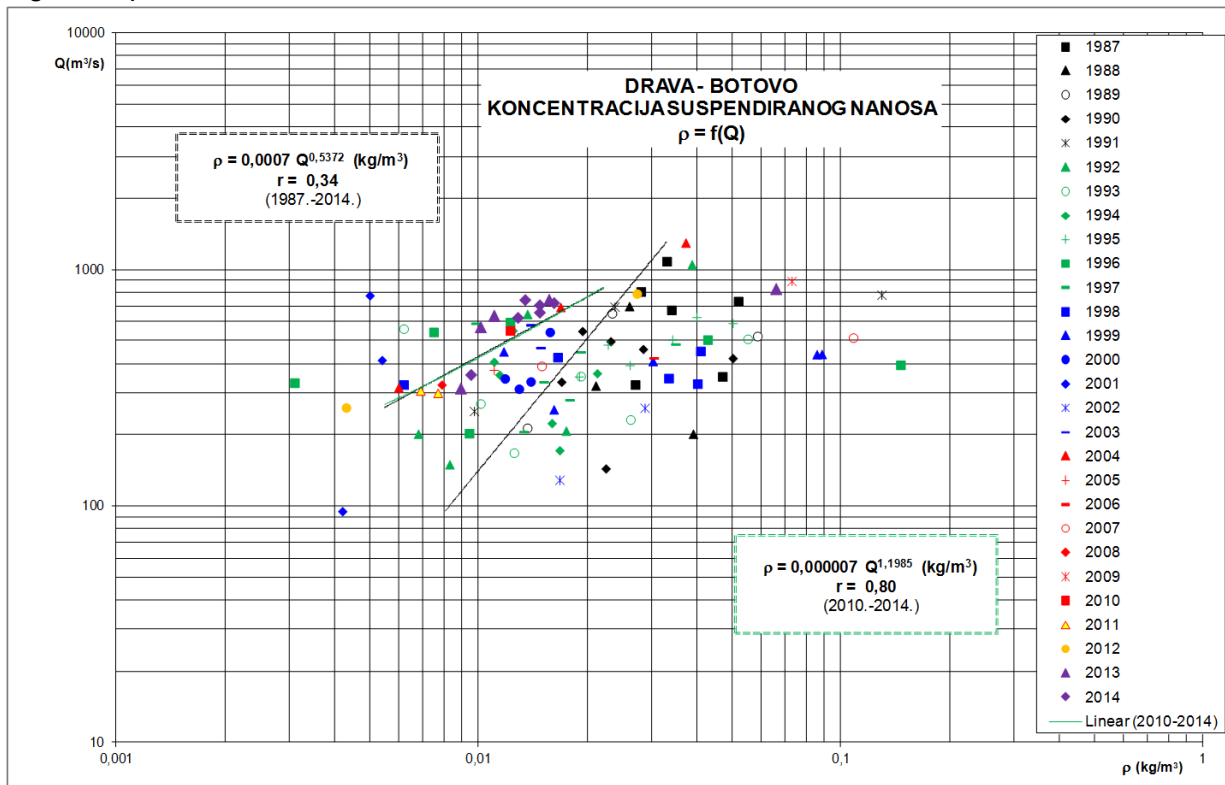
Na temelju dosad izvršenih profilskih mjerenja i obrada suspendiranog nanosa na Dravi i Muri, u Izvještajima od DHMZ-a dobivenih za razdoblje do 2014. godine (literatura 44-71) definirani su korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija i protoka $K=f(Q)$, između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke, $P=f(Q)$, kao i odnos između srednje profilске i površinske koncentracije suspendiranog nanosa, $K_{prof}-K_{pov}$. Odnosi su grafički prikazani za tri hidrometrijska profila na Dravi: Botovo, Terezino Polje, Donji Miholjac c.s., a grafički prikazi tih korelacija preuzeti su iz Izvještaja i iskazani su u **Prilozima poglavlju 2. 1-3** i u nastavku na slikama 3.1-27 do 3.1-35.

Rezultati mjerenja profilске koncentracije za profil **Botovo** u periodu 1987.-2014. pokazuju značajno raspršenje, na što i ukazuje koeficijent $r_k = 0,34$. Razlog ovakvom raspršenju leži u utjecaju rada hidroelektrane, odnosno velikim dnevnim i naglim satnim oscilacijama u prirodnom režimu vodostaja i protoke, što ima za posljedicu nejednoznačnu vezu sa koncentracijama suspendiranog nanosa. No, s druge strane, ukoliko u obzir uzmemo period od zadnjih 5 godina (2010.-2014.), uočavamo izuzetno malo raspršenje vrijednosti izmjerenih profilskih koncentracija sa koeficijentom 0,80. Osim toga krivulja je osjetno pomaknuta "u lijevo". Znači kod istih protoka imamo znatno manje koncentracije za razliku od ukupnog promatranog perioda od 1987.-2014. Profilska mjerenja formiraju anvelopu malih vrijednosti kao i ranijih godina. Te male vrijednosti dobivene su tokom cijele godine, dok je pri izuzetno maloj vodi ($H=76$ cm) dobivena minimalna koncentracija od $0,0095$ kg/m^3 . Najdrastičniji primjer su vrijednosti koncentracija izmjerenih u 1996. godini, koje se kreću od minimalnih $0,003$ kg/m^3 do maksimalne vrijednosti ikad izmjerene profilске koncentracije koja je 13.5.1996. bila 50 puta veća i iznosila je $0,146$ kg/m^3 .

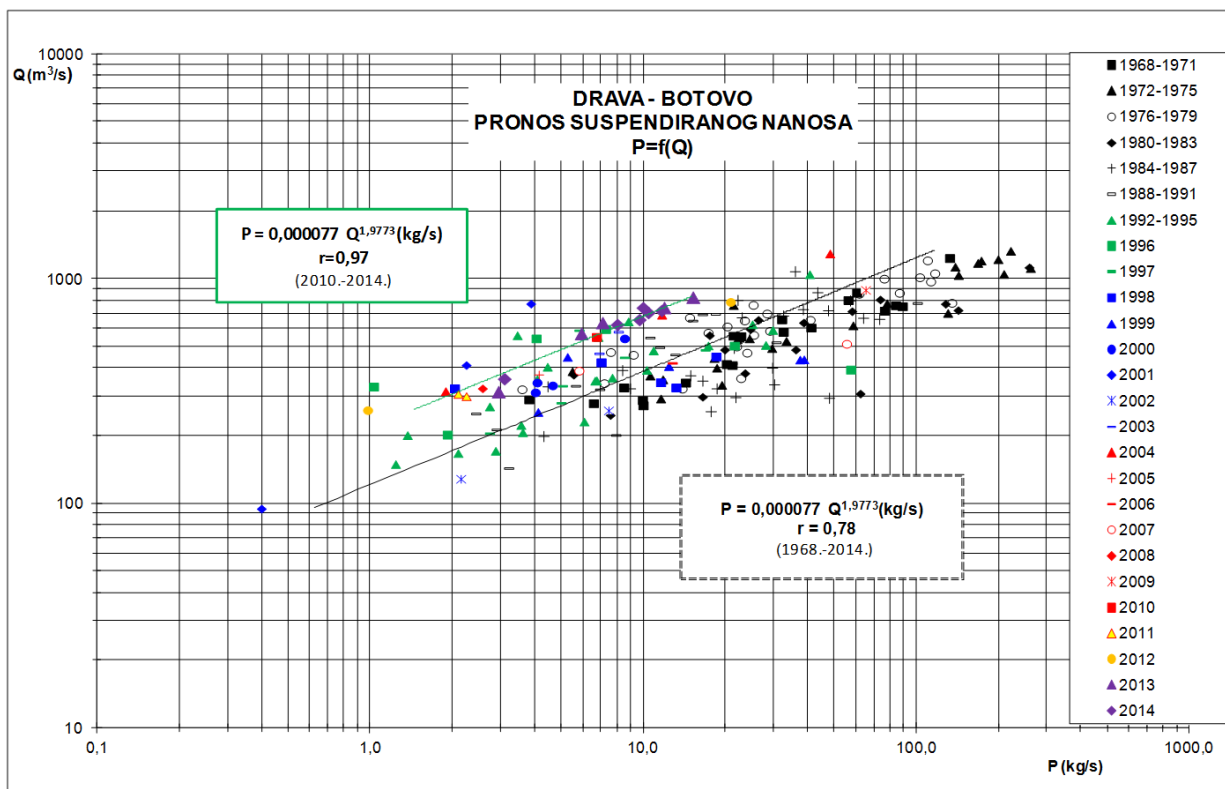
Na grafičkom prikazu $P=f(Q)$, u istom prilogu prikazane su vrijednosti sekundnog pronosa nanosa od 1968. do 2014. godine, uz napomenu da je i ovdje vidljivo grupiranje podataka za period od 2010. do 2014. uz anvelopu minimalnih vrijednosti. Jedino što u slučaju ovog odnosa treba naglasiti jest činjenica da je korelacijska veza puno čvršća jer nema toliki rasap rezultata kao kod koncentracija, a što pokazuje i koeficijent $r_p = 0,78$. No, za posljednjih 5 godina on iznosi čak 0,97. Regresijski odnosi su definirani slijedećim analitičkim izrazima:

$$\begin{array}{lll}
 \rho = 7 \cdot 10^{-4} Q^{0,537} & (\text{kg/m}^3) & (1987.-2014.) \\
 \rho = 7 \cdot 10^{-6} Q^{1,199} & (\text{kg/m}^3) & (2010.-2014.) \\
 P = 7,7 \cdot 10^{-5} Q^{1,977} & (\text{kg/s}) & (1987.-2014.) \\
 P = 1,9 \cdot 10^{-5} Q^{2,019} & (\text{kg/s}) & (2010.-2014.)
 \end{array}$$

a grafički prikazi su dani u nastavku na slikama 3.1-27 do 3.1-28.



Slika 3.1-27: Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Drave u profilu Botovo



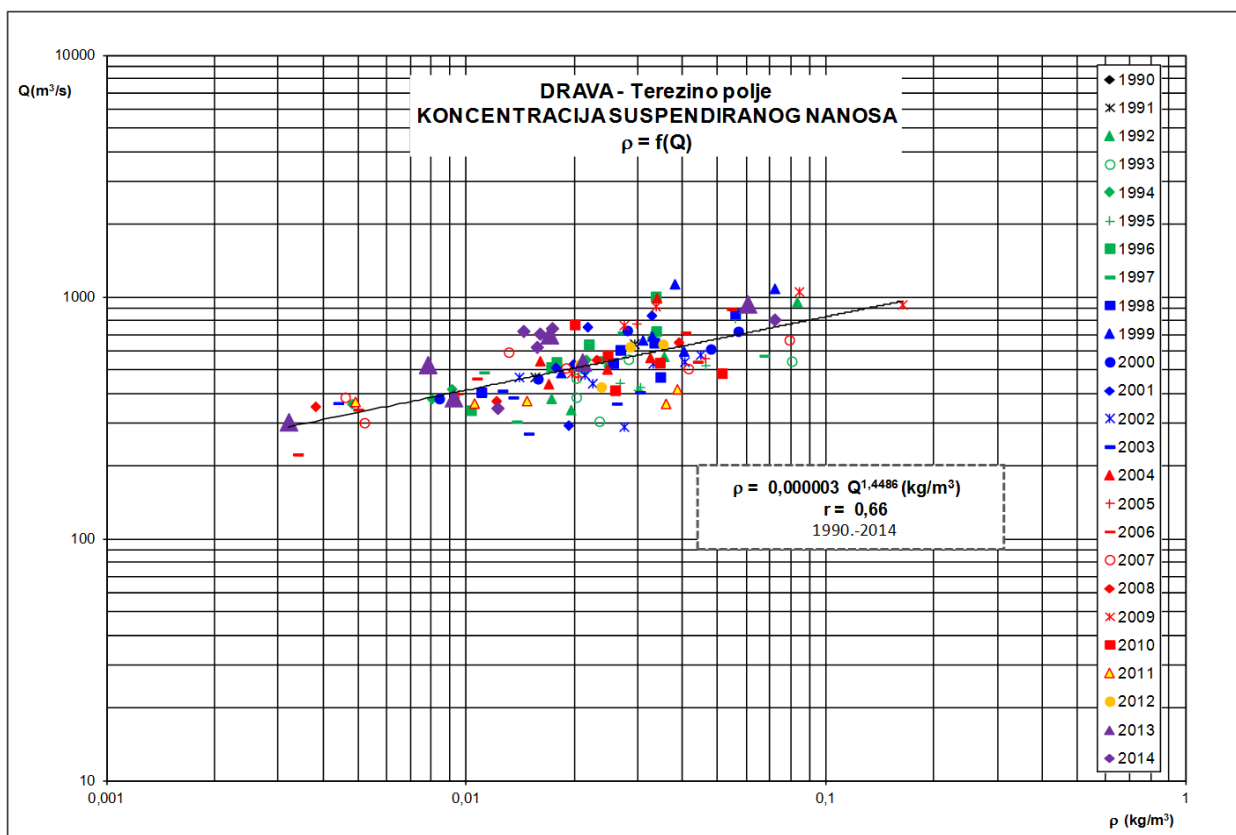
Slika 3.1-28: Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne

protoke Drave u profilu Botovo

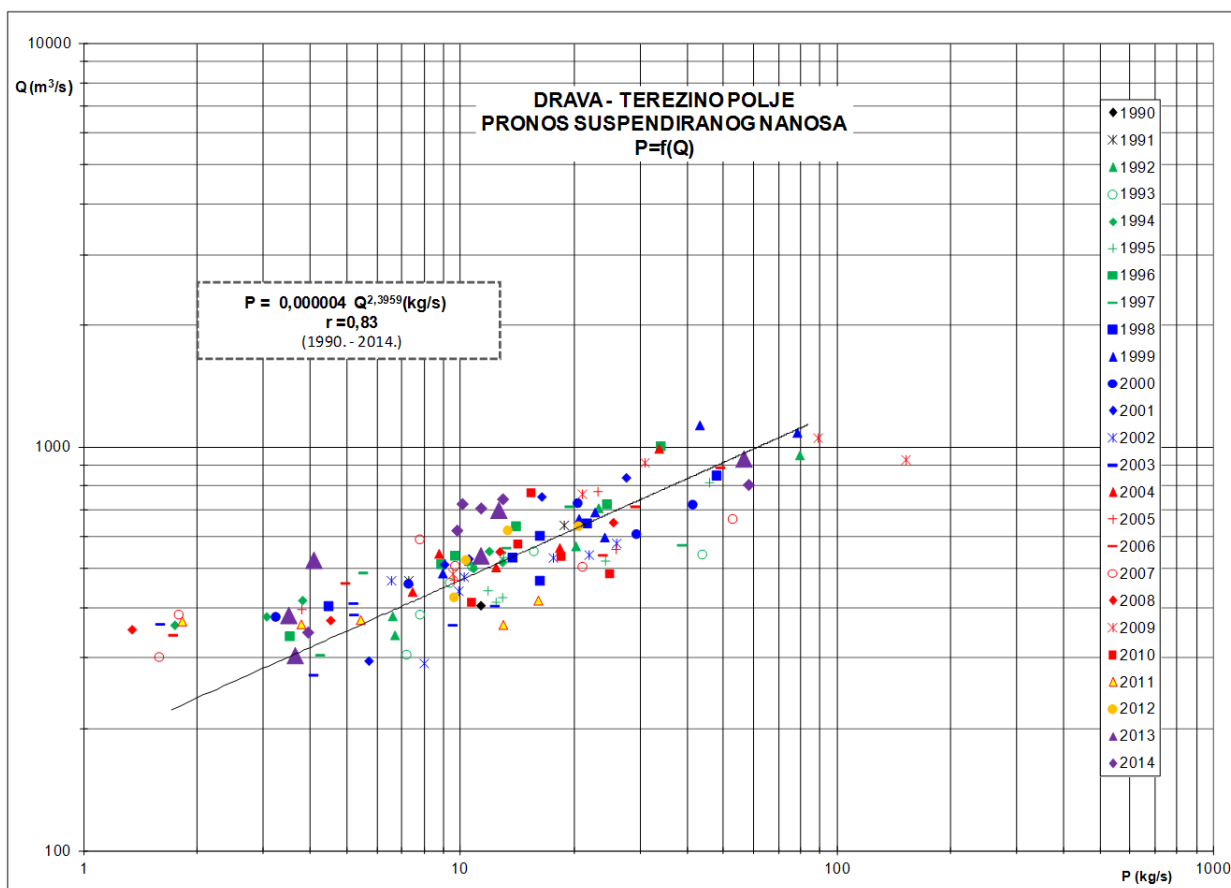
U slučaju **Terezinog Polja** korelacijski odnosi $\rho = f(Q)$ i $P = f(Q)$ pokazuju stabilan odnos, kao što je vidljivo iz koeficijenta raspršenja $r_k = 0,66$ i $r_p = 0,83$ prikazanima na grafičkim prikazima na slikama u nastavku. Raspršenje podataka o koncentracijama nije toliko značajno kao kod Botova jer je režim toka manje pod utjecajem rada hidroelektrane, što znači da su dnevne oscilacije vodostaja manje izražene te režim kretanja nanosa teži ka prirodnijem u odnosu na Botovo. Rezultati mjerenja iz 2014. godine se dobro uklapaju i potvrđuju definirane regresijske odnose definirane za raniji period te su izraženi analitičkim izrazima:

$$\rho = 3 \cdot 10^{-6} Q^{1,449} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$P = 4 \cdot 10^{-6} Q^{2,396} \text{ (kg/s)}$$



Slika 3.1-29: Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Drave u profilu Terezino Polje

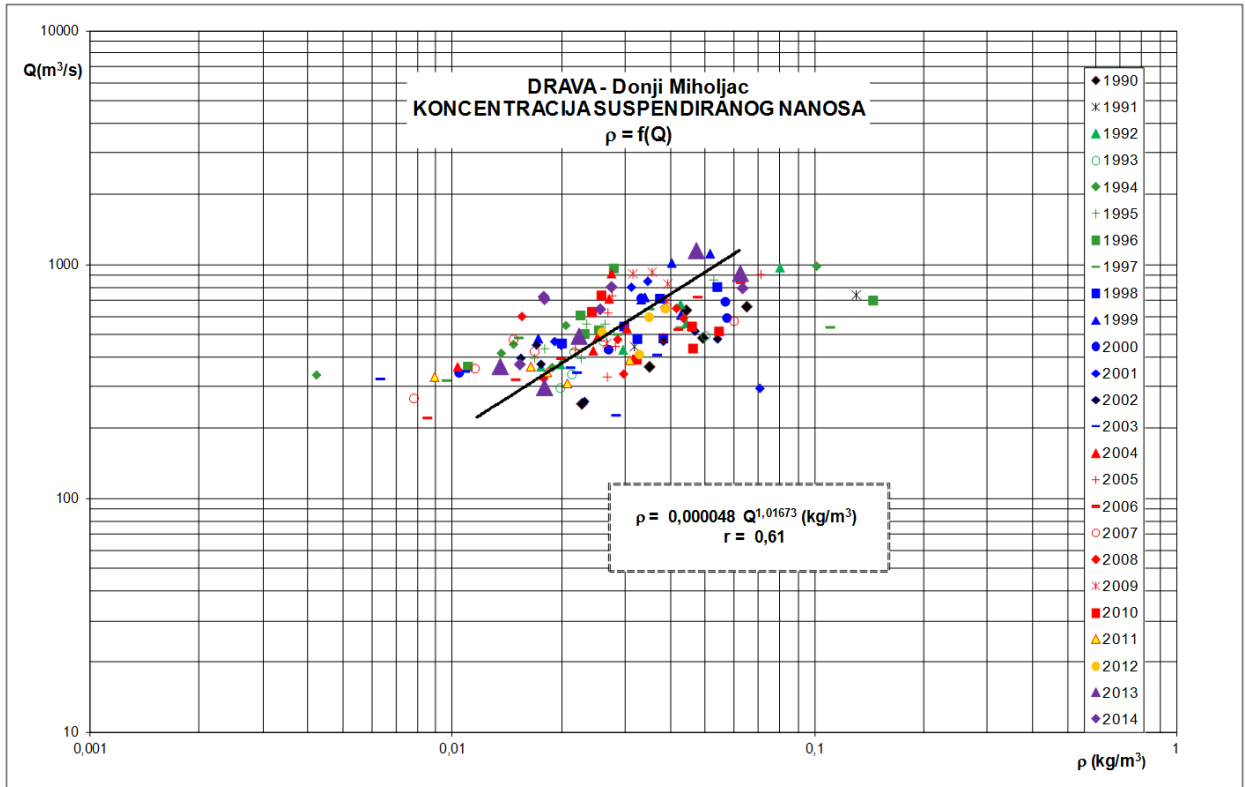


Slika 3.1-30: Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Drave u profilu Terezino Polje

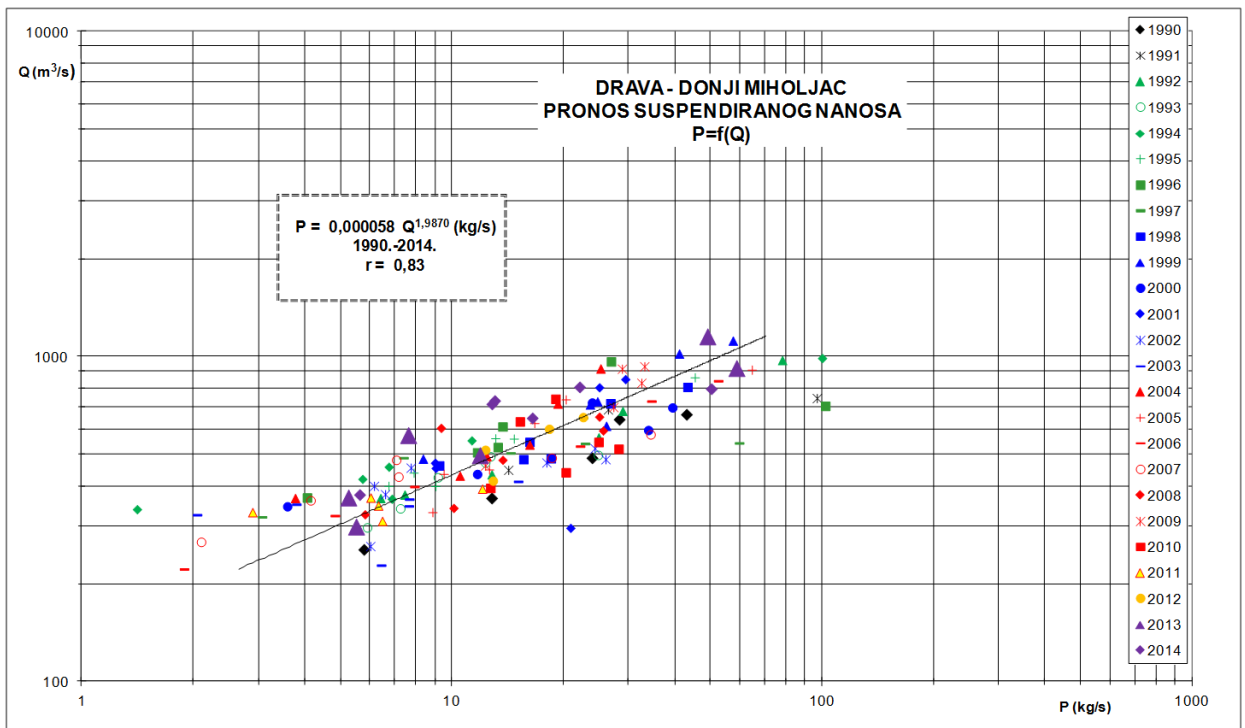
Iz analiziranog niza podataka za referentni profil **Donji Miholjac C.S.** na grafičkim prikazima je vidljivo da su rezultati mjerenja profilskih koncentracija u 2014. godini potvrdili definirani regresijski odnos za period 1990.-2014. Osim toga, odstupanja su nešto manje izražena nego u Botovu, što i pokazuje koeficijent korelacije $r_k=0,61$. Što se tiče podataka o sekundnom pronosu za period 1990.-2014., također je potvrđen ranije definiran regresijski odnos uz napomenu da je u ovom slučaju veza još čvršća, na što ukazuje koeficijent $r_p = 0,83$. Slijedom toga regresijski odnosi glase:

$$\rho = 4,8 \cdot 10^{-5} Q^{1,017} (\text{kg/m}^3)$$

$$P = 5,8 \cdot 10^{-5} Q^{1,987} (\text{kg/s})$$



Slika 3.1-31: Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Drave u profilu Donji Miholjac

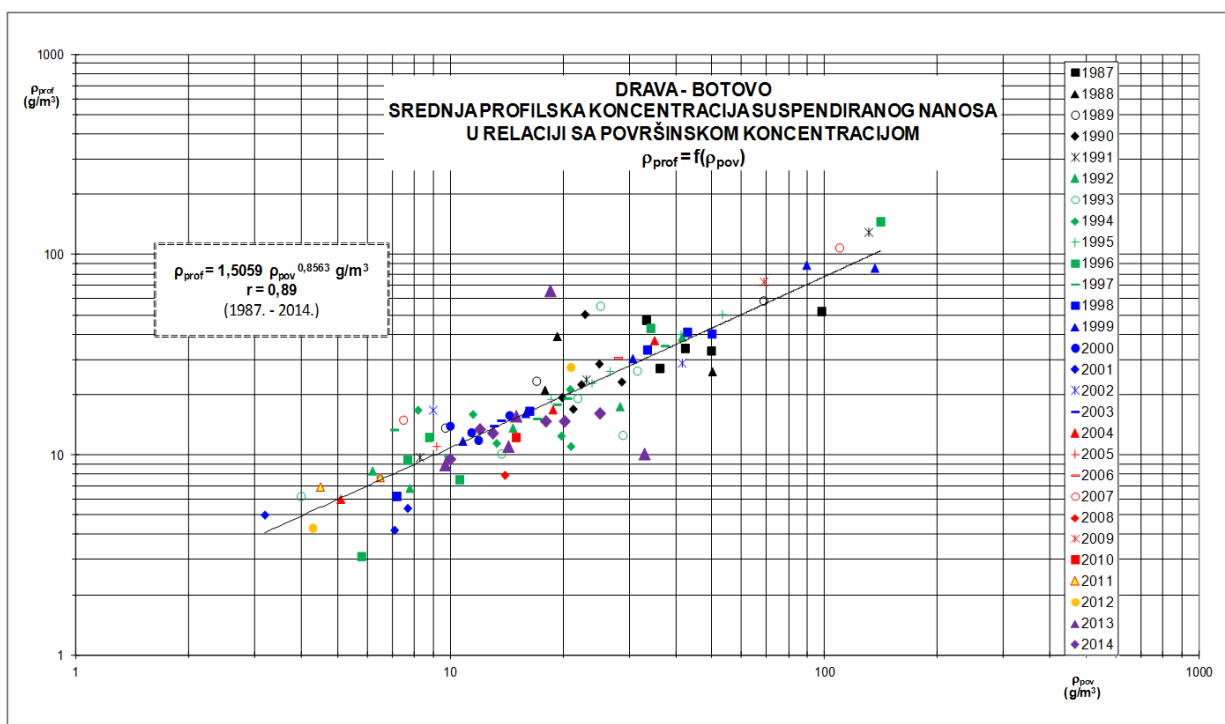


Slika 3.1-32: Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Drave u profilu Donji Miholjac

Osim korelacijskog odnosa između koncentracija, sekundnog pronosa i trenutnog protoka, analiziraju se i odnosi između profilskih vrijednosti koncentracija i onih dobivenih na temelju svakodnevnih uzimanja površinskih uzoraka (motritelj). Naime, profilski mjerenja suspendiranog nanosa vrše se najviše šest puta godišnje, dok se svakodnevni uzorci uzimaju iz jedne točke pri površini, uz obalu ili iz sredine protočnog profila gdje je to moguće. Kako bi se došlo do što bolje spoznaje o pronošenju nanosa po čitavom protjecajnom profilu, za vrijeme profilskih mjerenja uzimaju se i obalni površinski uzorci i to na istim mjestima gdje ih svakodnevno uzimaju motritelji. Rezultati analize površinskih uzoraka koji služe za definiranje odnosa $K_{prof} - K_{pov}$, objavljuju se u Godišnjim izvještajima zajedno sa rezultatima profilskih mjerenja, a grafički prikazi definiranih korelacijskih odnosa dani su u **Prilozima poglavlju 2.1-3** i u nastavku na slikama 3.1-33 do 3.1-35.

U profilu **Botovo** odnos između srednje profilске i površinske koncentracije vrlo je stabilan ($r = 0,89$), a rezultati mjerenja iz 2014. vrlo dobro se uklapaju u postojeći niz podataka (slika 3.1-33). Posebice kod malih protoka i stabilnih režima mjerenja pokazuju vrlo ujednačene vrijednosti površinskih i profilskih koncentracija. Odnos za cijeli period mjerenja 1987.-2014. definiran je slijedećim izrazom:

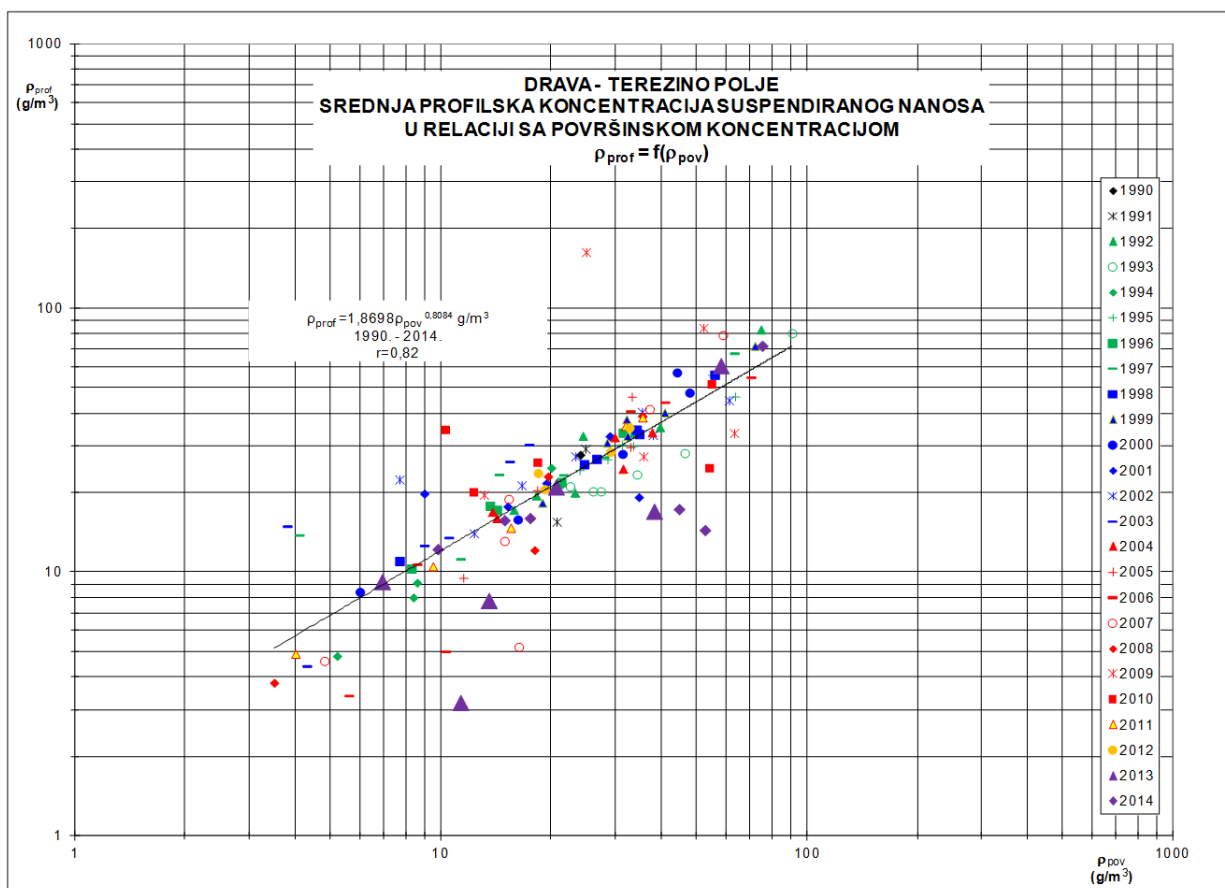
$$\rho_{prof} = 1,51 \rho_{pov}^{0,856}$$



Slika 3.1-33: Definirani korelacijski odnos između srednje profilске i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Drave u profilu Botovo

U **Terezinom Polju** vrijednosti profilskih i površinskih koncentracija (slika 3.1-34) se uklapaju u trend od 1990. godine, sa napomenom da su 2 obalna uzorka pokazala znatno veću koncentraciju od profilskih koncentracija i formiraju anvelopu maksimalnih vrijednosti. Razlog tome je što se pri nekim uvjetima skuplja nanos na površini uz desnu obalu, stoga treba obratiti naročitu pažnju lokaciji za uzimanje obalnih uzoraka.

$$\rho_{prof} = 1,87 \rho_{pov}^{0,808}$$

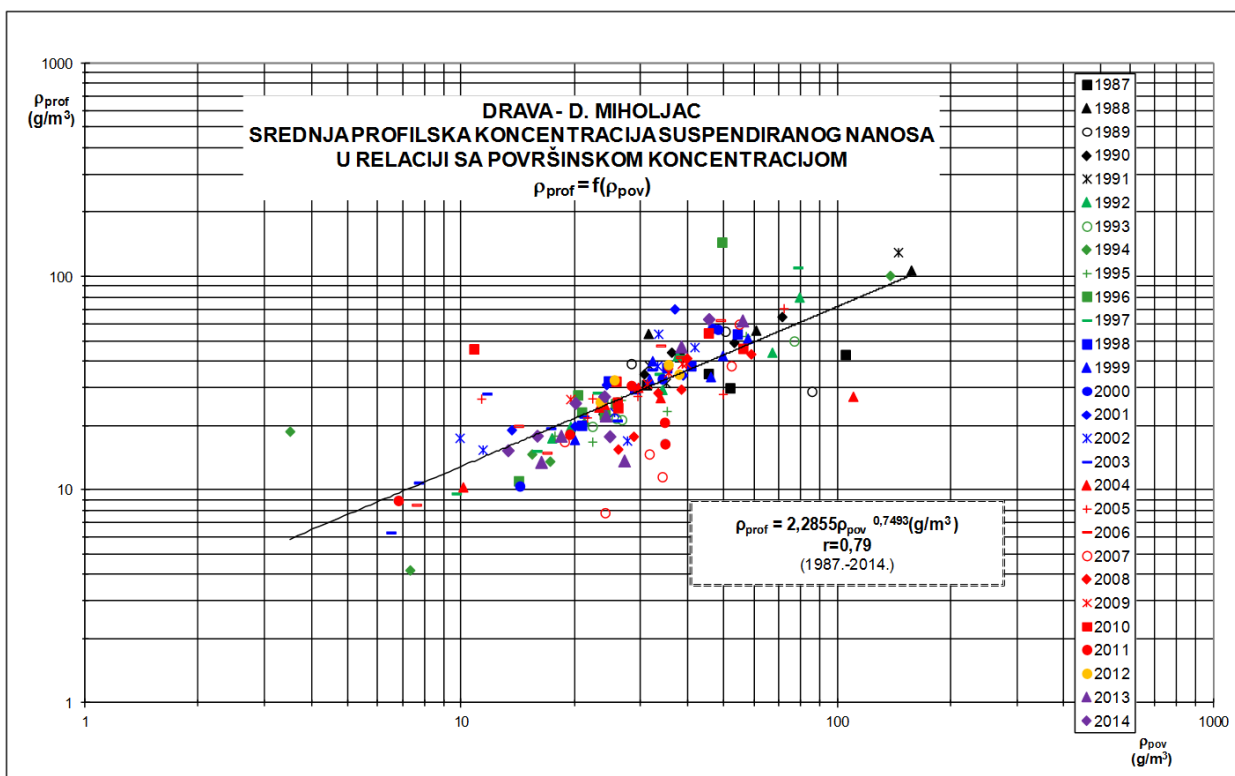


Slika 3.1-34: Definirani korelacijski odnos između srednje profilske i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Drave u profilu Terezino Polje

Kod **Donjeg Miholjca** vidi se da profilska mjerenja pokazuju vrlo slične srednje koncentracije suspendiranog nanosa u usporedbi sa onima izmjerenim pri obali (slika 3.1-35). Odnos na osnovi profilskih i površinskih mjerenja prikazanih od 1987. godine definiran je funkcijom:

$$\rho_{\text{prof}} = 2,29 \rho_{\text{pov}}^{0,749}$$

Mjerenja iz 2014. se uklapaju u taj niz.



Slika 3.1-35: Definirani korelacijski odnos između srednje profilske i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Drave u profilu Donji Miholjac

Granulometrijski sastav nanosa sa dna rijeke Drave

Kako bi se utvrdio sastav nanosa redovito se uzimaju uzorci nanosa sa dna na Dravi u profilima Botovo, Terezino Polje, Donji Miholjac, te na kanalu HE u profilu Hrženica, i njihov grafički prikaz u vidu granulometrijskih krivulja daje se u godišnjim izvještajima kako je prikazano u *Prilogu poglavlju 2.1-3*. Kao što je već u prijašnjem tekstu spomenuto (poglavljje 2.1,3), uzorci za analizu se standardno uzimaju na tri lokacije u poprečnom profilu i to uz lijevu obalu, u sredini korita i uz desnu obalu.

U nastavku se daju granulometrijske krivulje dobivene analizama provedenim u 2014. godini na razmatranim hidrološkim stanicama.

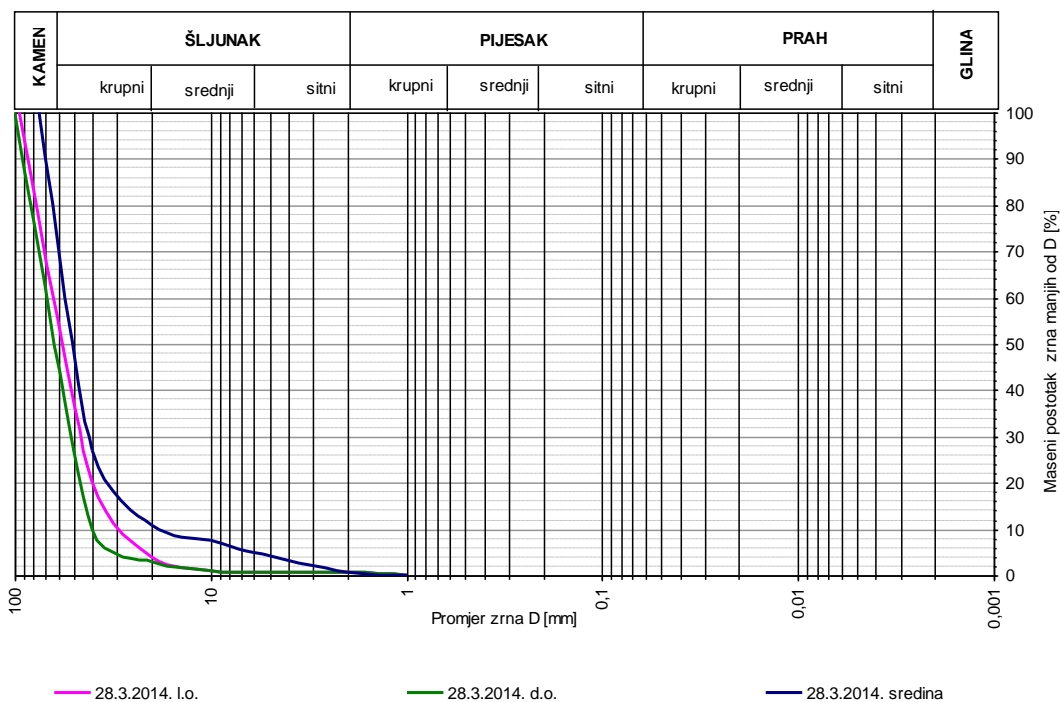
Na temelju granulometrijske analize provedene u 2014. godini, vidljivo je da je riječno dno u kanalu HE kod Hrženice (sva 3 uzorka), sastavljeno uglavnom od šljunkovitog materijala (>99%), uz vrlo male primjese pijeska.

U Botovu uz lijevu i desnu obalu prevladava šljunak (>83,1%) dok se u sredini korita uz također prevladavajući šljunak pojavljuje i pijesak (uzorak uzet cca 50 m nizvodno od stupa cestovnog mosta).

Na Dravi u Terezinom Polju lijeva obala i sredina korita sastavljeni su od finog pijeska uz dodatak šljunka. Desna obala sastavljena je pretežno od pijeska i praha.

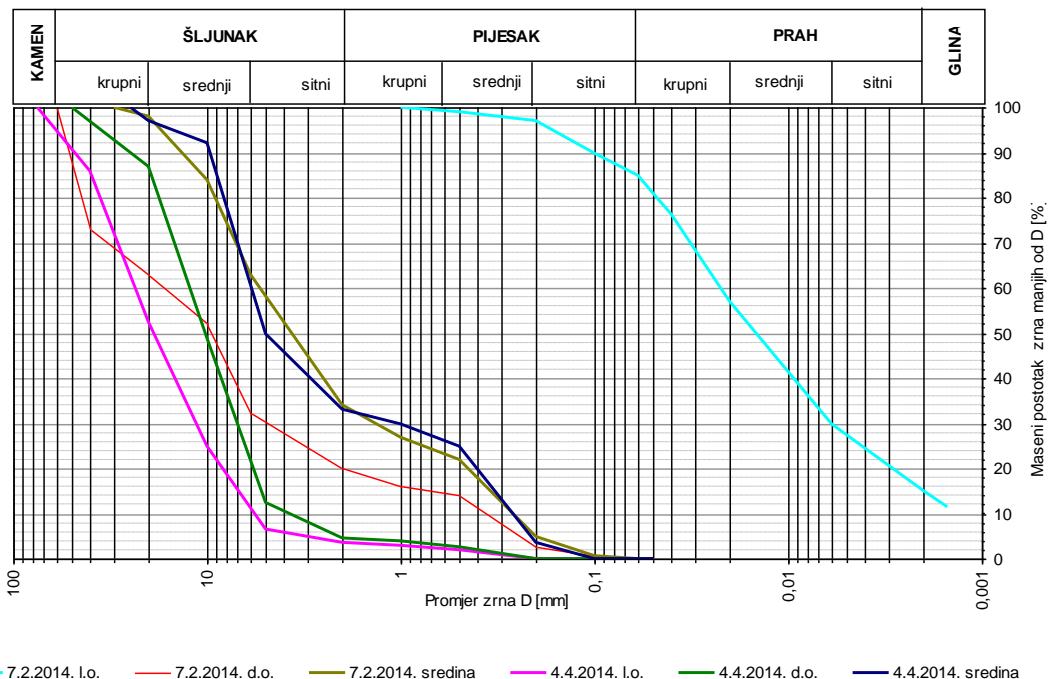
U Donjem Miholjcu je korito u pravilu sastavljeno od pijeska (>87,83 %).

GRANULOMETRIJSKI DIJAGRAM



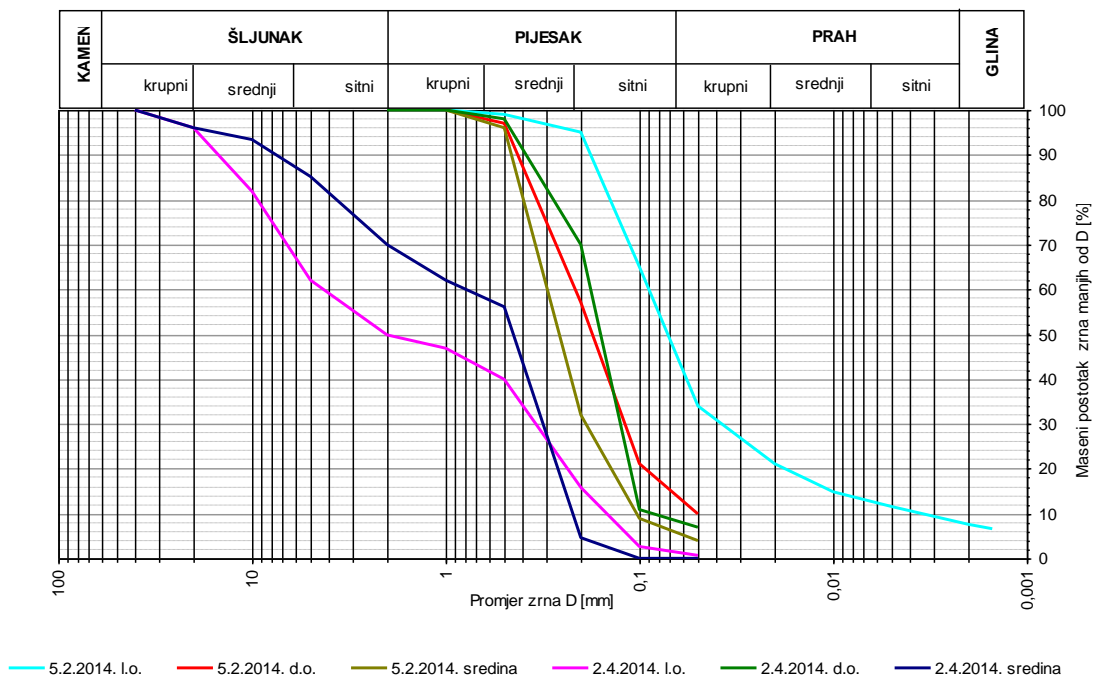
Slika 3.1-36: Granulometrijske krivulje nanosa sa dna na kanalu HE u profilu Hrženica iz 2014. godine

GRANULOMETRIJSKI DIJAGRAM



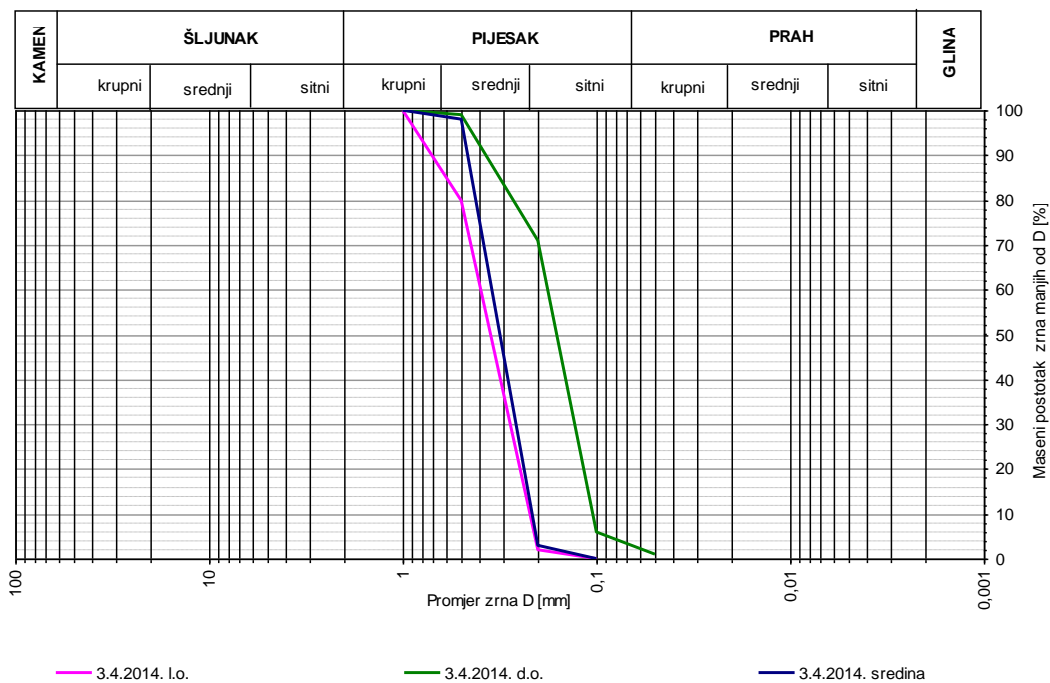
Slika 3.1-37: Granulometrijske krivulje nanosa sa dna na Dravi u profilu Botovo iz 2014. godine

GRANULOMETRIJSKI DIJAGRAM



Slika 3.1-38: Granulometrijske krivulje nanosa sa dna na Dravi u profilu Terezino Polje iz 2014. godine

GRANULOMETRIJSKI DIJAGRAM



Slika 3.1-39: Granulometrijske krivulje nanosa sa dna na Dravi u profilu Donji Miholjac iz 2014. godine

Srednji promjeri zrna nanosa sa dna d_{sr} kretali su se od 47-65 mm u kanalu HE Hrženica. U Botovu na lijevoj obali d_{sr} od 23-27 mm, na desnoj od 13-18 mm, a u sredini nešto manji zbog primjesa pijeska, 5-10 mm. U Terezinom Polju se dno sastoji od pijeska uz dodatak šljunka pa se d_{sr} kreće od 0,215 do 5,311 mm.

U Donjem Miholjcu dno je sastavljeno uglavnom od sitnog pijeska pa se srednji promjeri zrna kreću od 0,161 do 0,426 mm. Maksimalne veličine zrna u kanalu HE iznose 95,6 x 79,5 x 44,9 a u Botovu na Dravi maksimalno zrno je 77,4 x 57,7 x 34,5 mm.

Zaključujući ovo poglavlje treba istaknuti da su dugogodišnji radovi na slivu, a prvenstveno se tu misli na izgradnju i rad sustava hidroelektrana na Dravi, izazvali značajne promjene režima suspendiranog nanosa na dionici toka nizvodno od ušća Mure.

Zbog toga je, da bi se dobila objektivna slika njihova utjecaja na smanjenje pronosa nanosa, potrebno povećati broj i kvalitetu mjerenja pronosa nanosa, dajući prednost profilskim pred mjerenjima u jednoj točki presjeka, vodeći pritom računa o njihovoj podjednako zastupljenosti pri raznim protocima (malim, srednjim i velikim vodama). Uz to, treba redovito snimati poprečne presjeke Drave na potezu od HE Dubrava do ušća.

3.2 Analize podataka za bilancu nanosa na rijeci Savi

3.2.1 Morfološke promjene riječnog korita Save na lokacijama hidroloških stanica

Redovita mjerenja vodostaja na nizu vodomjernih postaja Save upozorila su na procese snižavanja dna korita. Definiranje početka ovog procesa nije od presudne važnosti, već je bitno zaključiti da snižavanje dna korita još traje.

Geodetske snimke korita Save iz 1985. i 2003. godine, područja od km 673+000 do km 728+520, te snimke profila na vodomjernim postajama (literatura 76) upućuju na slijedeće:

- na dionici od Jesenica do VP Zagreb korito se produbilo za oko 2.5 m u periodu od 1985-2009 godine,
- na dionici od VP Zagreb do praga kod TE-TO nema značajnih promjena u niveleti dna korita što je rezultat utjecaja praga,
- nizvodno od praga do km 682+000 javlja se značajno sniženje dna korita što se pripisuje utjecaju praga te pojačanoj eksploataciji šljunka,
- na području VP Rugvica javlja se taloženje i izdizanje nivelete dna Save,
- dalje nizvodno do VP Gušće značajnije promjene profila vidljive su samo na lokaciji VP Crnac gdje je niveleta u periodu 2000. – 2009. snižena za oko 1.2 m.

U nastavku se daju analize promjena korita Save u profilu hidroloških stanica na temelju raspoloživih podataka o izmjerenim poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Savi i promjenama Q-H krivulja u profilu stanice.

Podaci i analize dane u nastavku ne mogu se koristiti za donošenje zaključaka o globalnim promjenama riječnog korita, jer se na njima često mogu uočiti lokalne erozije ili zasipavanja koja nastaju uslijed blizine nekih vodnih građevina ili uslijed prolaza velikih voda prije hidrografskih snimanja, pa u nastavku dane procjene treba smatrati orijentacijskim.

U *Prilogu poglavlju 2.2.2-2* dan je tablični i grafički prikaz krivulja protoka, koje je DHMZ definirao i koristio za proračun dnevnih protoka na stanicama Podsused žičara, Jasenovac; Stara Gradiška i Slavonski Brod na Savi, kao i na slikama u nastavku.

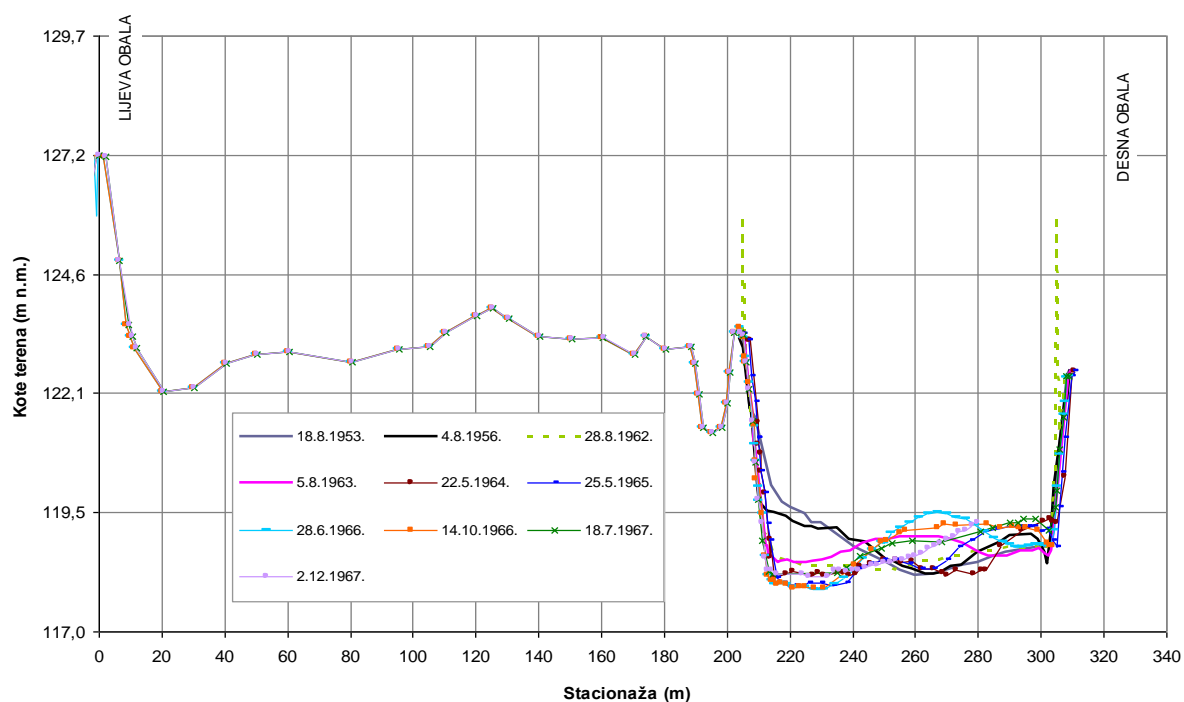
S obzirom na veliki broj krivulja protoka (na pojedinim profilima se određuju i za pojedina godišnja doba, što pokazuje da su promjene u koritu izrazite i tokom godine) prikazi su razdvojeni za razoblje do 1990. godine, i nakon 1991. godine.

U *Prilogu poglavlju 2.2.2-3* tablično i grafički dani su prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Savi. Poprečni presjeci korita rijeke Save na analiziranim profilima dani su i u nastavku teksta.

U okviru ovog projekta sistematizirane su snimke poprečnog presjeka korita na lokaciji hidrološke stanice Podsused žičara. Na osnovi prikazanih snimki poprečnih presjeka u razdoblju od 1969. do 2016. godine može se reći da je u području malih i srednjih voda vidljiv trend produbljivanja korita u cijelom razdoblju za oko 2,5 m (slika 3.2-2).

h.s. Podsused žičara - Sava

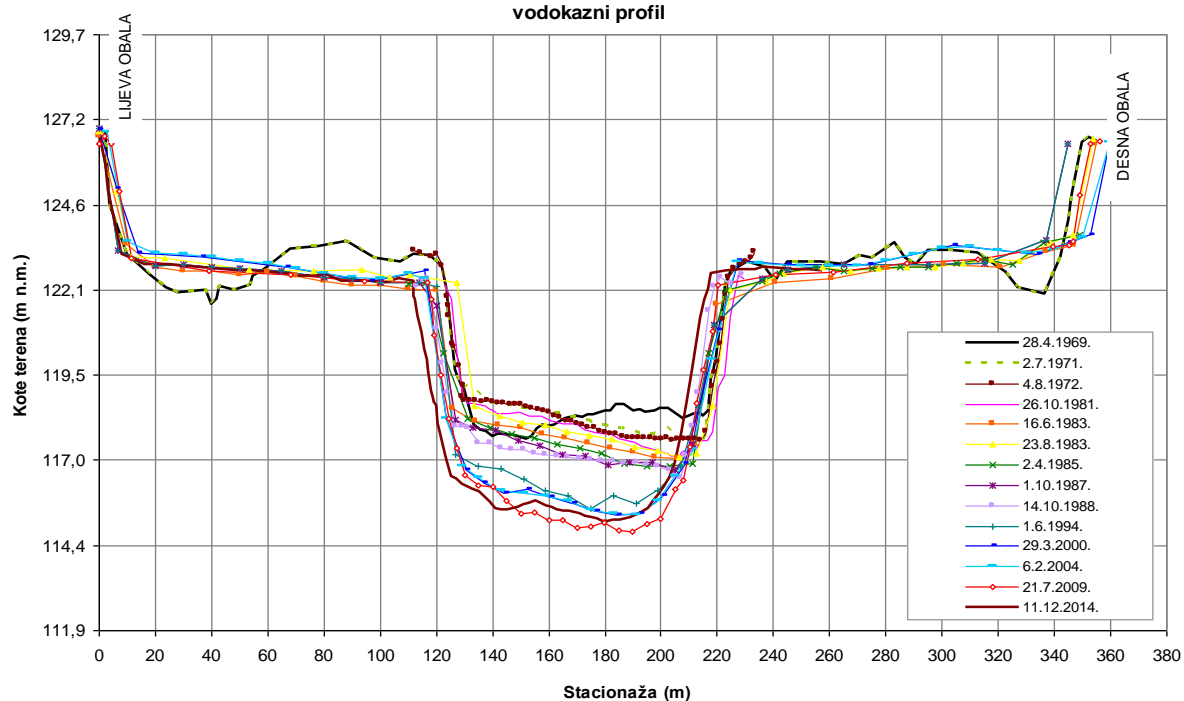
Kota nule vodokaza: 120,48 m n.m.



Slika 3.2-1: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Podsused žičara u razdoblju 1953-1967.

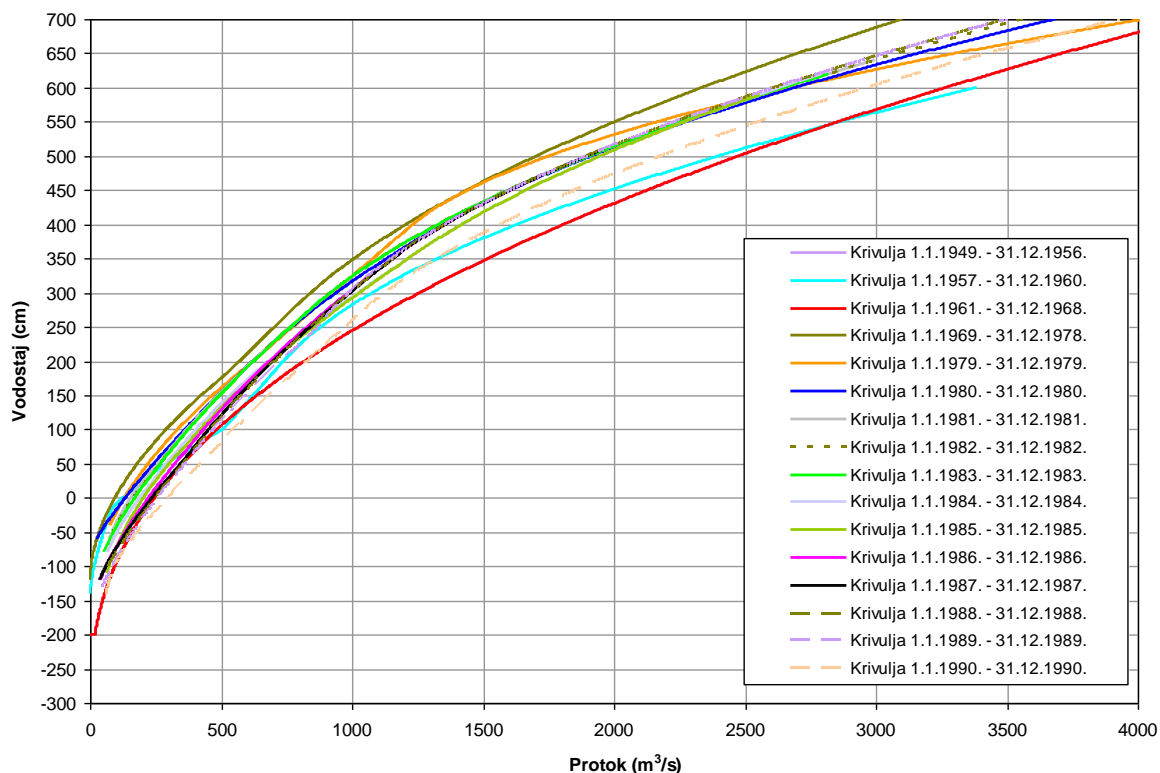
**h.s. Podsused žičara - Sava
vodokazni profil**

Kota nule vodokaza: 119,134 m n.m.



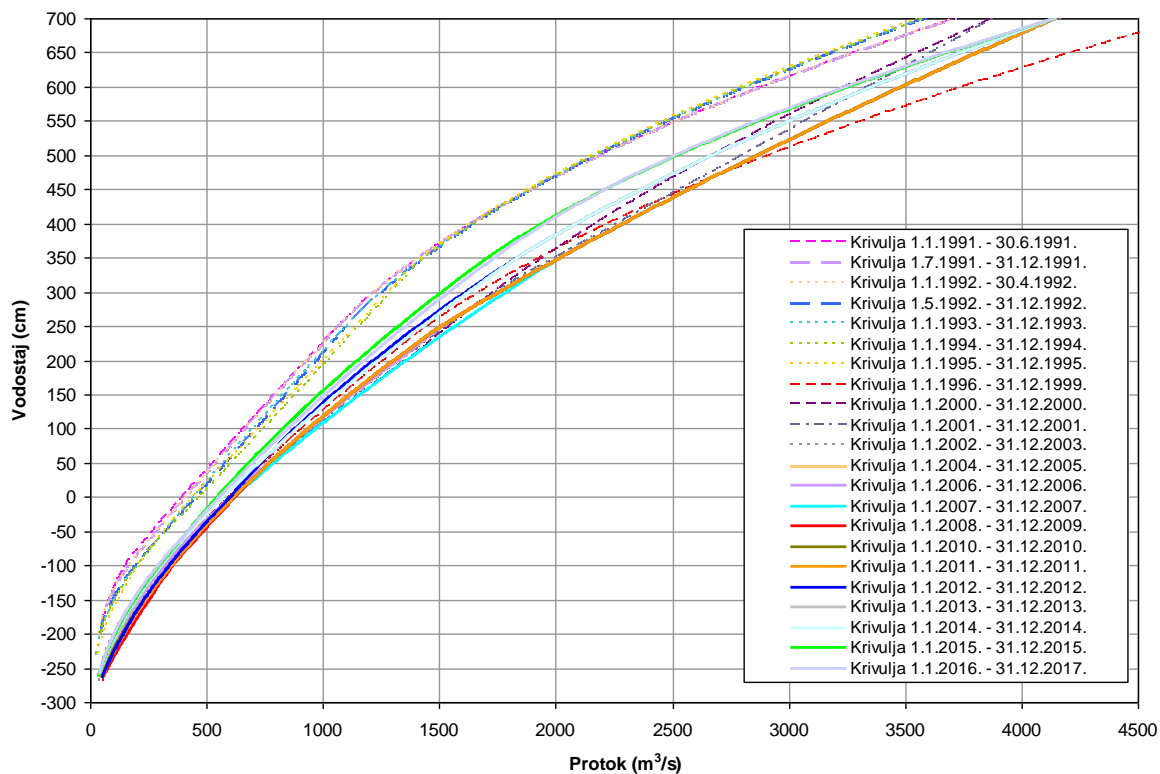
Slika 3.2-2: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Podsused žičara u razdoblju 1969-2014.

Krivulje protoka PODSUSED ŽIČARA - SAVA
1.1.1949. - 31.12.1990.



Slika 3.2-3: Protočne krivulje za h. s. Podsused žičara za razdoblje 1949-1990. godine

Krivulje protoka PODSUSED ŽIČARA - SAVA
1.1.1991. - 31.12.2017.



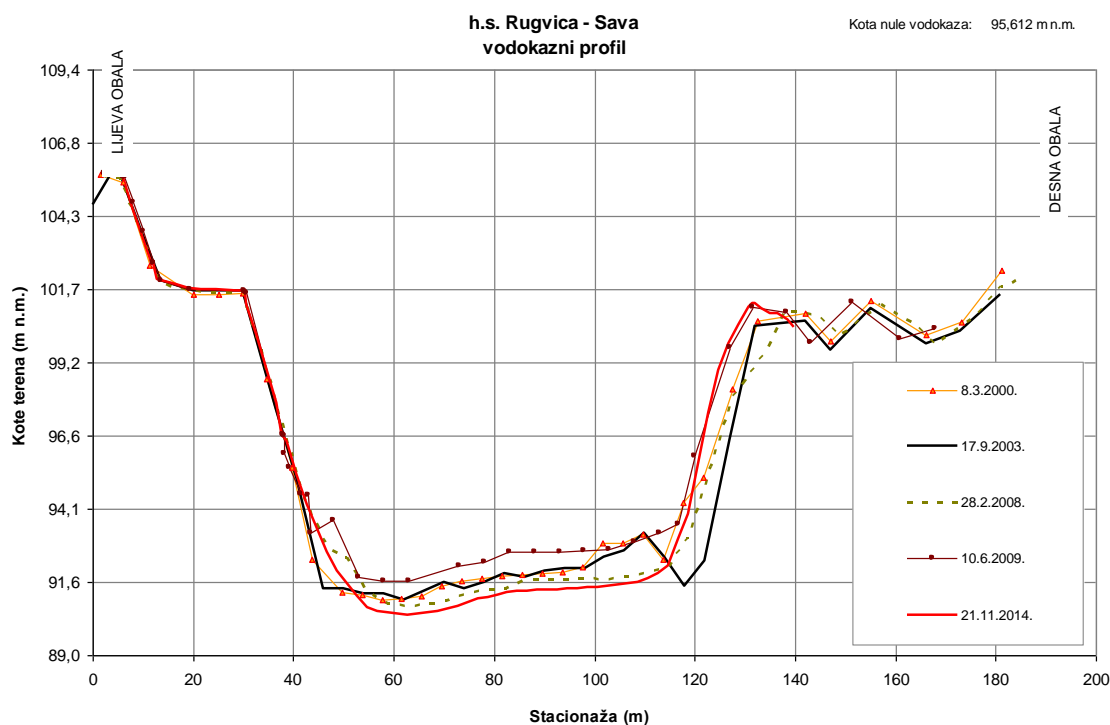
Slika 3.2-4: Protočne krivulje za h. s. Podsused žičara za razdoblje 1991-2017. godine
Korito Save je na ovom potezu regulirano, izgrađeni su nasipi za obranu od poplave te je

nizvodno od mosta Jankomir izgrađen preljev za evakuaciju velike vode u kanal Sava – Odra kojim se grad Zagreb štiti od poplave. Osnovno korito je usko i kanalizirano sa naglim padom dna, što rezultira velikim brzinama toka, naglom propagacijom vodnih valova i izraženim erozijskim procesima (literatura 36).

Profil h.s. Podsused žičara karakterizira veliki broj krivulja protoka definiranih u razdoblju od 1969. – 2016. (slike 3.2-3 i 3.2-4). Najveća je razlika nastupila između 1995.-1999. godine, gdje je u području malih i srednjih voda vidljivo znatno sniženje krivulje protoka, što potvrđuje prisutnost kontinuiranog procesa sniženje dna na lokaciji hidrološke stanice, a koja je vidljiva i na prethodno prikazanim snimkama poprečnog presjeka. Produbljenje je razlog i otežanom definiranju konsumpcijskih odnosa u profilu Podsused, zbog čega je DHMZ 1996. godine prestao nekoliko godina objavljivati krivulje protoka. U razdoblju 1996.-1998. godine, kada nisu definirani konsumpcijski odnosi, DHMZ protoke za te godine računa prema protočnoj krivulji za 1999. godinu.

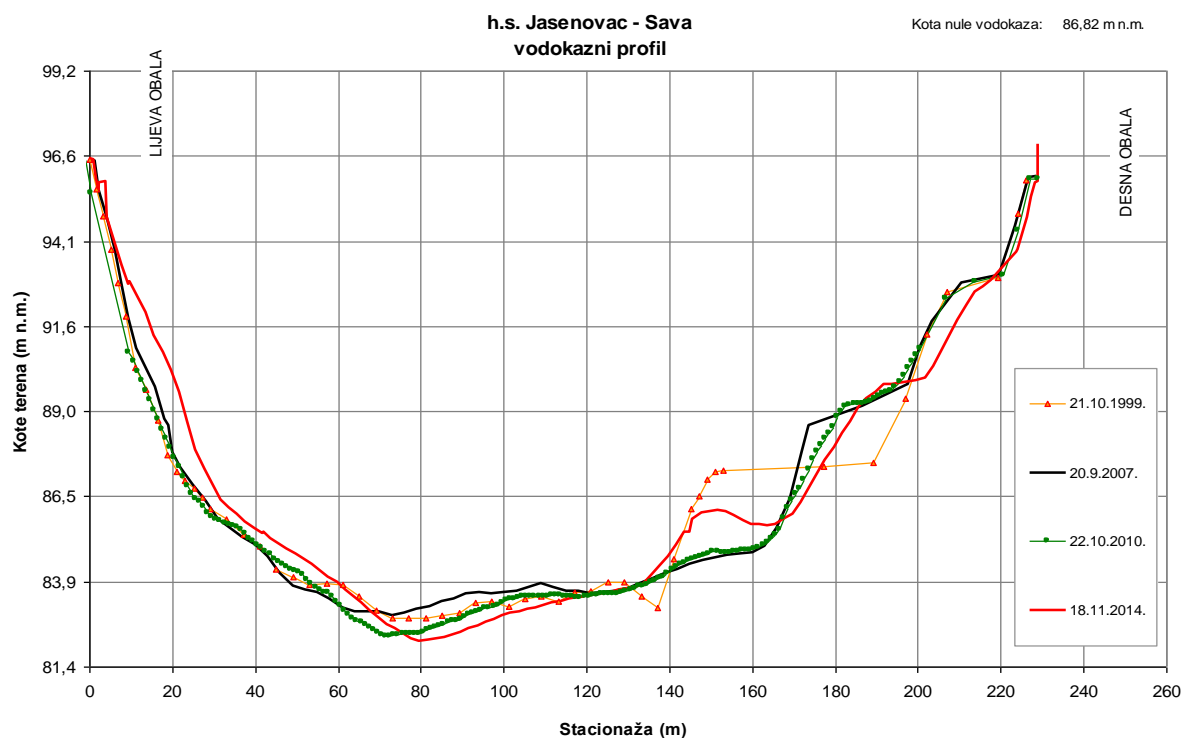
Karakter rijeke Save u dijelu njezinog toka kod Rugvice više nije dijelom planinski kao u Podsusedu, nego on prelazi u onaj ravničarskog tipa. Osnovno korito je također regulirano sa osnovnim kanalom te inundacijom za veliku vodu $H > 600$ cm i nasipima za obranu od poplave VV_{PR1000} . Ono je ujedno i nešto šire i dublje sa mnogo blažim padom dna, što rezultira manjim brzinama toka, dužom propagacijom vodenih valova i izraženim taložnim procesima (literatura 36).

Budući da baza hidroloških podataka HIS 2000 ne raspolaže s krivuljama protoka na profilu h.s. Rugvica, promjene u koritu moguće je komentirati na osnovi raspoloživih snimki poprečnog presjeka korita na lokaciji stanice. Sistematizirane su snimke poprečnog presjeka korita na lokaciji hidrološke stanice Rugvica na osnovi 5 novijih mjerenja. Na osnovi prikazanih poprečnih presjeka, u području malih i srednjih voda do 2008. godine dolazi do produblivanja korita, dok je u razdoblju 2008.-2009. godine došlo do zasipavanja korita nanosom za oko 1 m, a snimka iz 2014. godine ukazuje na daljnju eroziju korita.



Slika 3.2-5: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Rugvica u razdoblju 2000-2014.

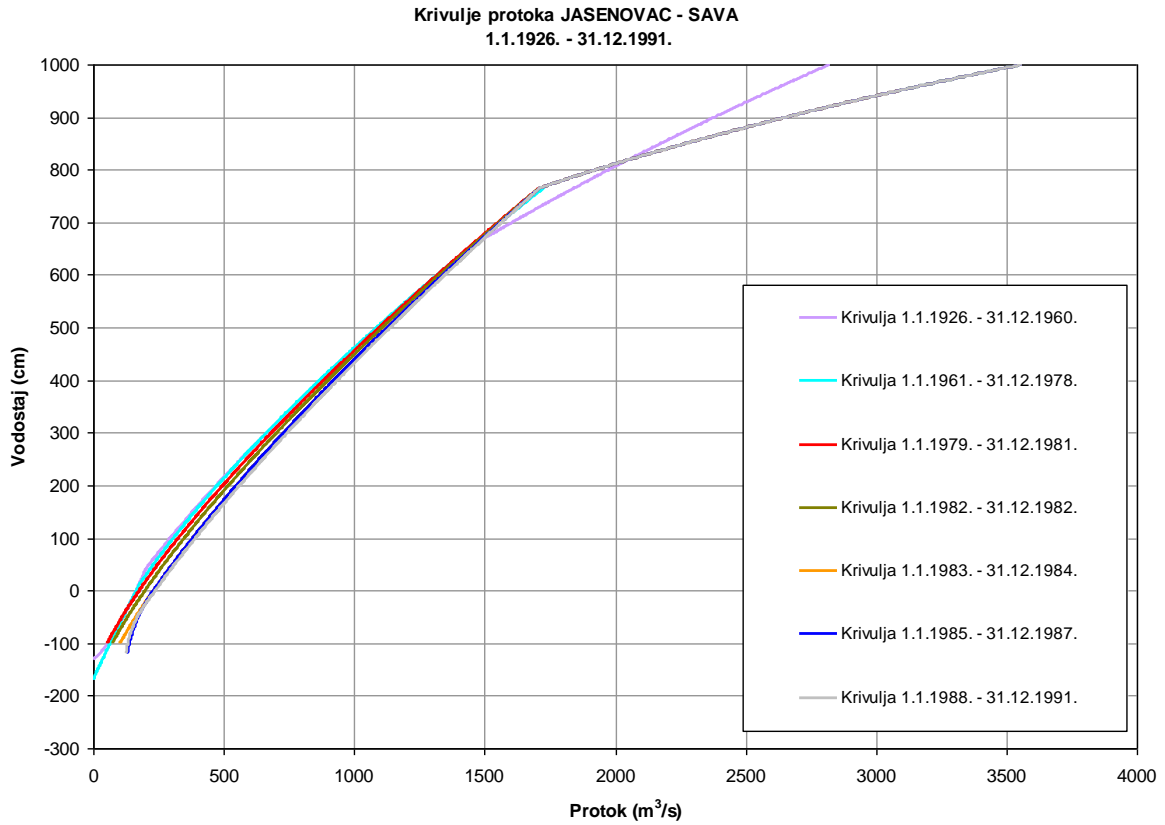
Lokacija hidrološke stanice Jasenovac je na lijevoj obali Save, uzvodno od ušća Une. Raspoloživi poprečni presjeci na lokaciji stanice snimljeni u razdoblju 1999. do 2014. godine ukazuju na produbljenje korita Save i na ovoj lokaciji.



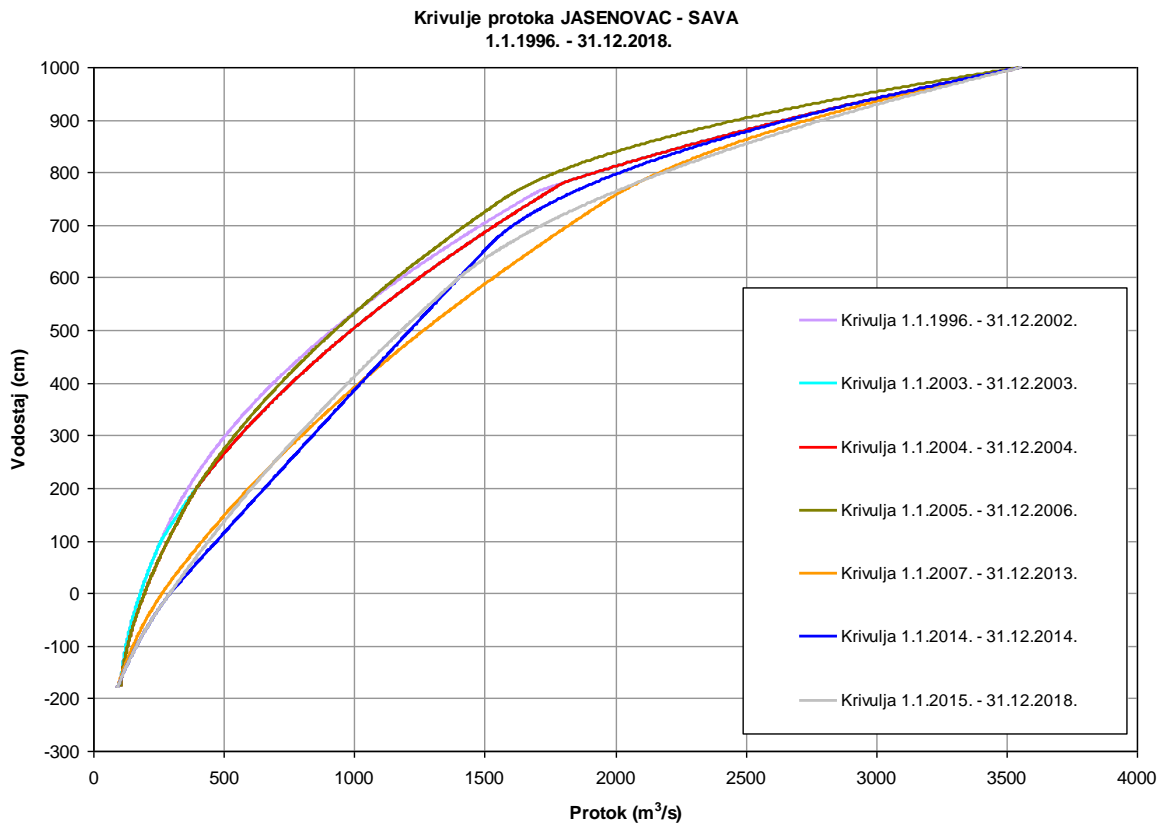
Slika 3.2-6: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Jasenovac u razdoblju 1999.-2014.

Međutim, lokacije za mjerenje protoka su se od 1990.- tih mijenjale, što je i opisano u literaturi [1-36]. Prema zahtjevu „Hrvatskih voda“ mjerenje protoka se od 2007. godine ponovo vrši u profilu nizvodno od ušća Une u Savu, kao što je to bio slučaj prije Domovinskog rata, do 1990. godine. Stoga vrijednost protoka u Jasenovcu nakon 2007. godine predstavlja ukupni protok Save i Une, kao što je i vidljivo na slici 3.2-8.

Iz prikaza promjena protočnih krivulja danog na slici 3.2-8 u razdoblju 2007. do 2014. godine u području malih i srednjih voda vidljivo je sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita, što potvrđuju i snimke poprečnih presjeka na lokaciji hidrološke stanice dane na slici 3.2-6 za razdoblje 2007-2014. godine. Nakon 2015. godine definirana krivulja protoka ukazuje na zasipanja korita (povišenje vodostaja).



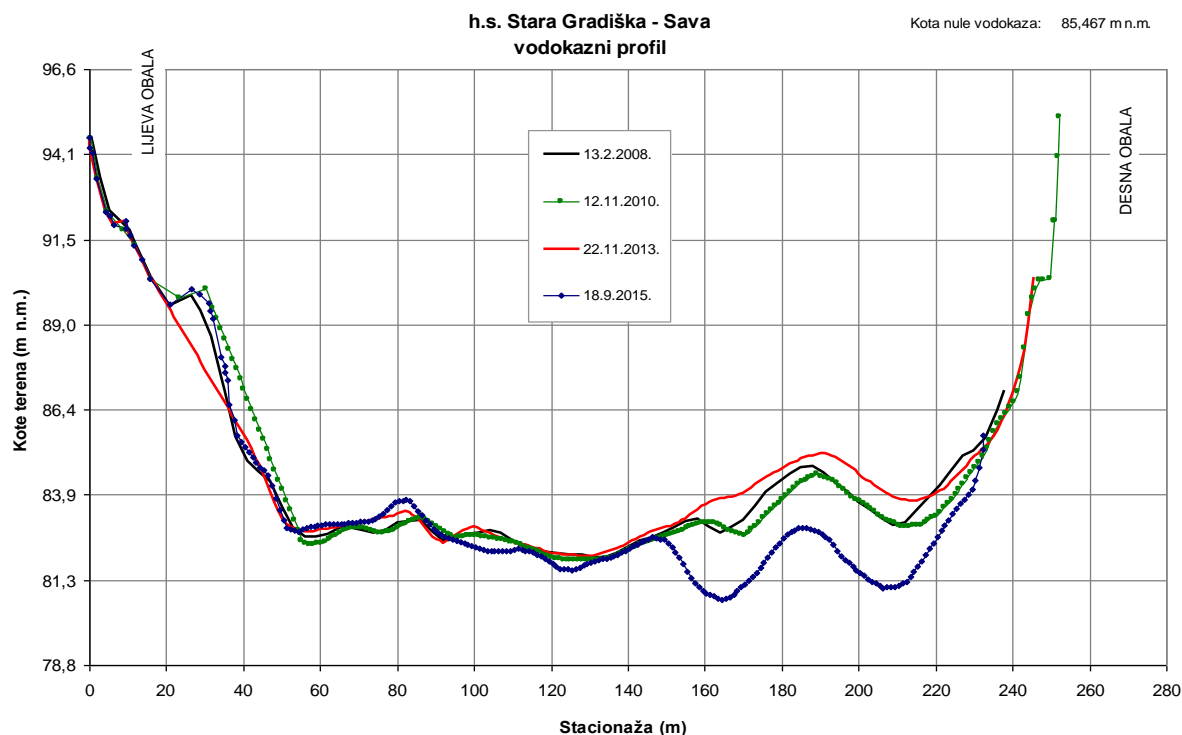
Slika 3.2-7: Protočne krivulje za h. s. Jasenovac za razdoblje 1926-1991. godine



Slika 3.2-8: Protočne krivulje za h. s. Jasenovac za razdoblje 1996-2017. godine

Na h. s. Stara Gradiška jedini dostupni podaci snimljenih profila korita na lokaciji stanice u novijem razdoblju dani su na slici 3.2-9.

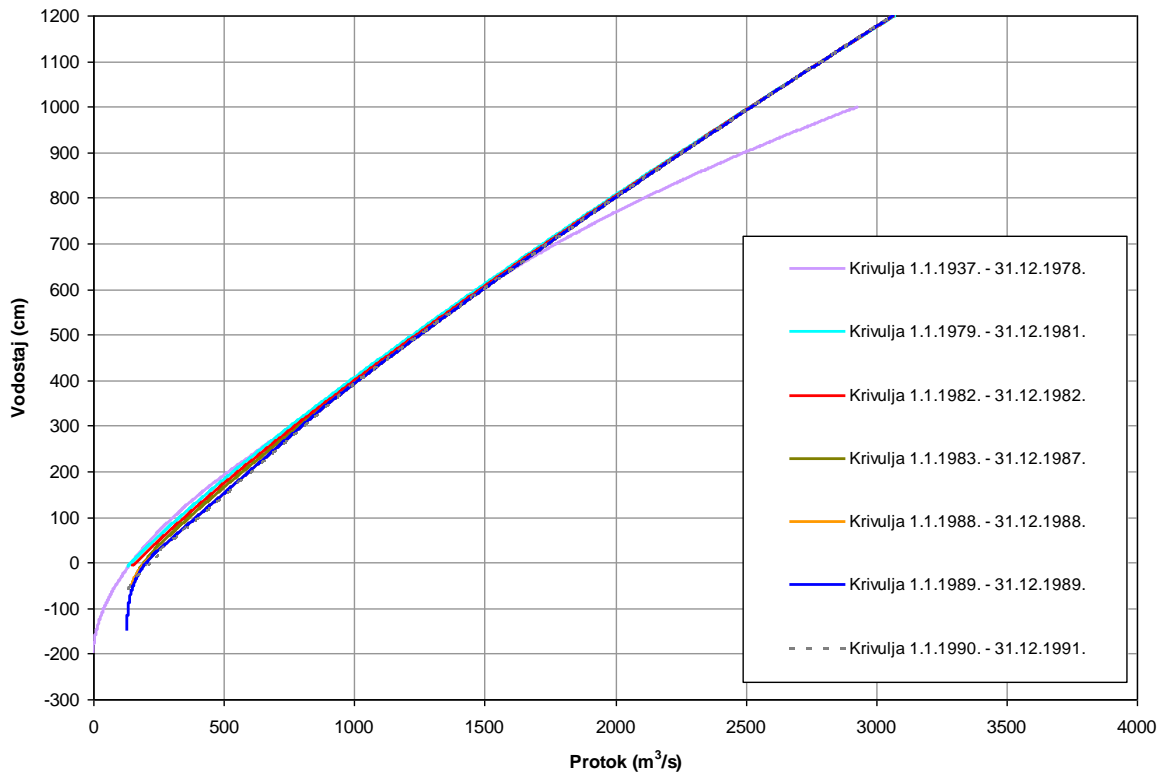
U razdoblju od 2008. do 2013. godine razdoblja zasipanja korita smjenjuju se se s razdobljima u kojima je prisutna erozija korita, a usporedbom snimke poprečnog presjeka iz 2015. godine u odnosu na prethodno razdoblje vidljivo je značajno produbljenje korita na lokaciji stanice.



Slika 3.2-9: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Stara Gradiška u razdoblju 2008.-2015.

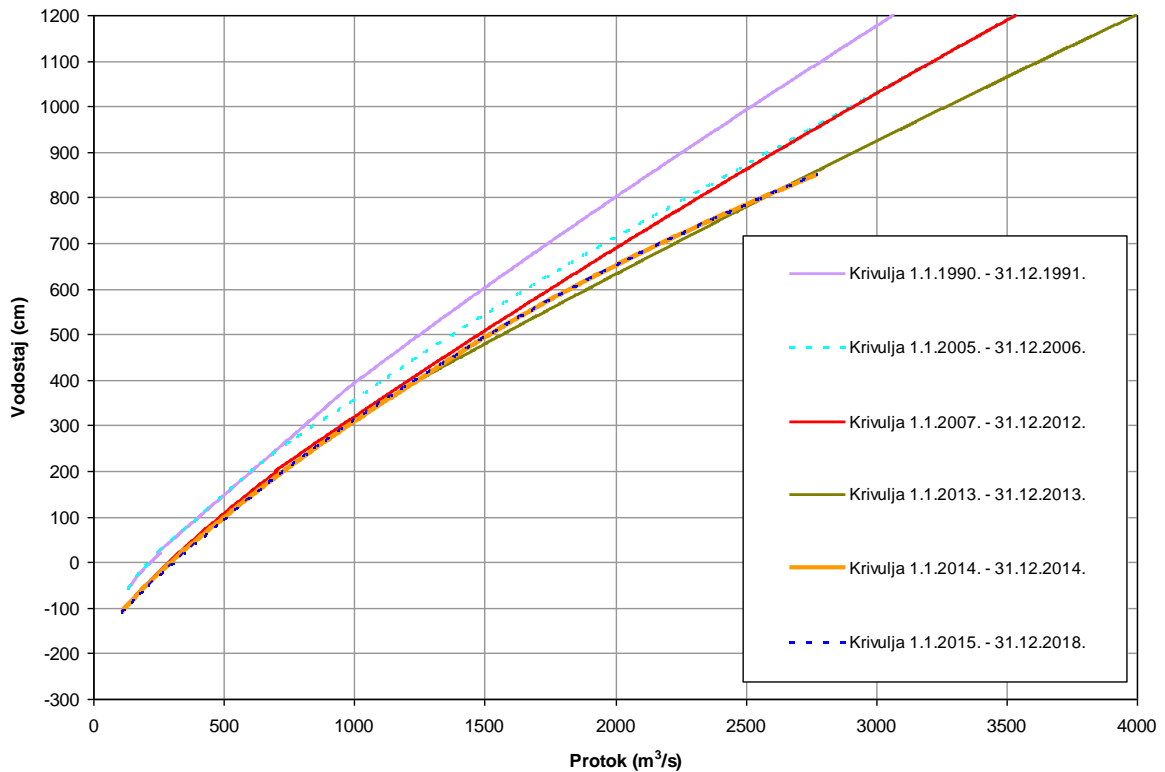
Iz prikaza promjena protočnih krivulja danog na slici 3.2-11 u razdoblju nakon 1991. godine u području malih i srednjih voda vidljivo je sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita koje u području srednjih voda iznosi i do 1,5 m.

Krivulje protoka STARA GRADIŠKA - SAVA
1.1.1937. - 31.12.1991.



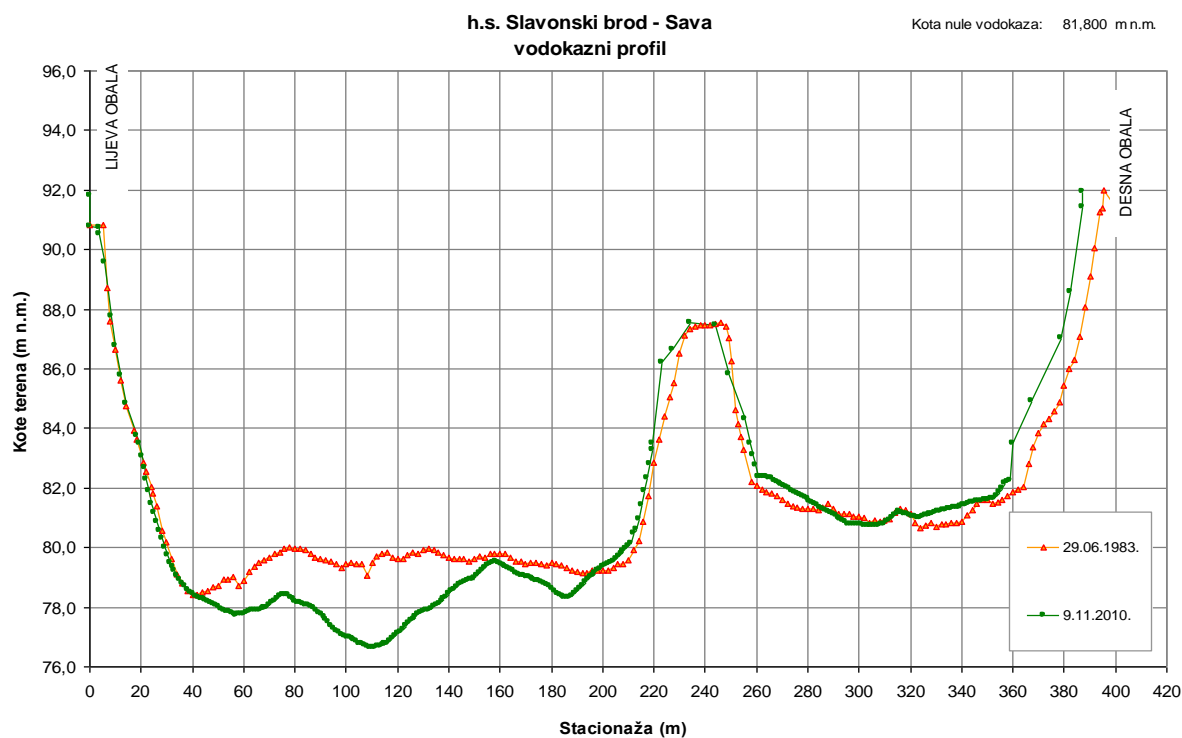
Slika 3.2-10: Protočne krivulje za h. s. Stara Gradiška za razdoblje 1937-1990. godine

Krivulje protoka STARA GRADIŠKA - SAVA
1.1.1990. - 31.12.2018.



Slika 3.2-11: Protočne krivulje za h. s. Stara Gradiška za razdoblje 1990-2017. godine

Na dijelu toka Save u profilu Slavenskog Broda gotovo redovito se izvode radovi na održavanju plovnog puta, a vršena je i eksploatacija šljunka za potrebe građevinarstva, što se i vidi na osnovi prikazanih snimki poprečnih presjeka na slici 3.2-12. Može se reći da je u području malih i srednjih voda u razdoblju 1983-2010. godine vidljivo produbljivanje korita za oko 1,5 m, što potvrđuju i prikazi promjena protočnih krivulja na slikama 3.2-13 i 3.2-14.

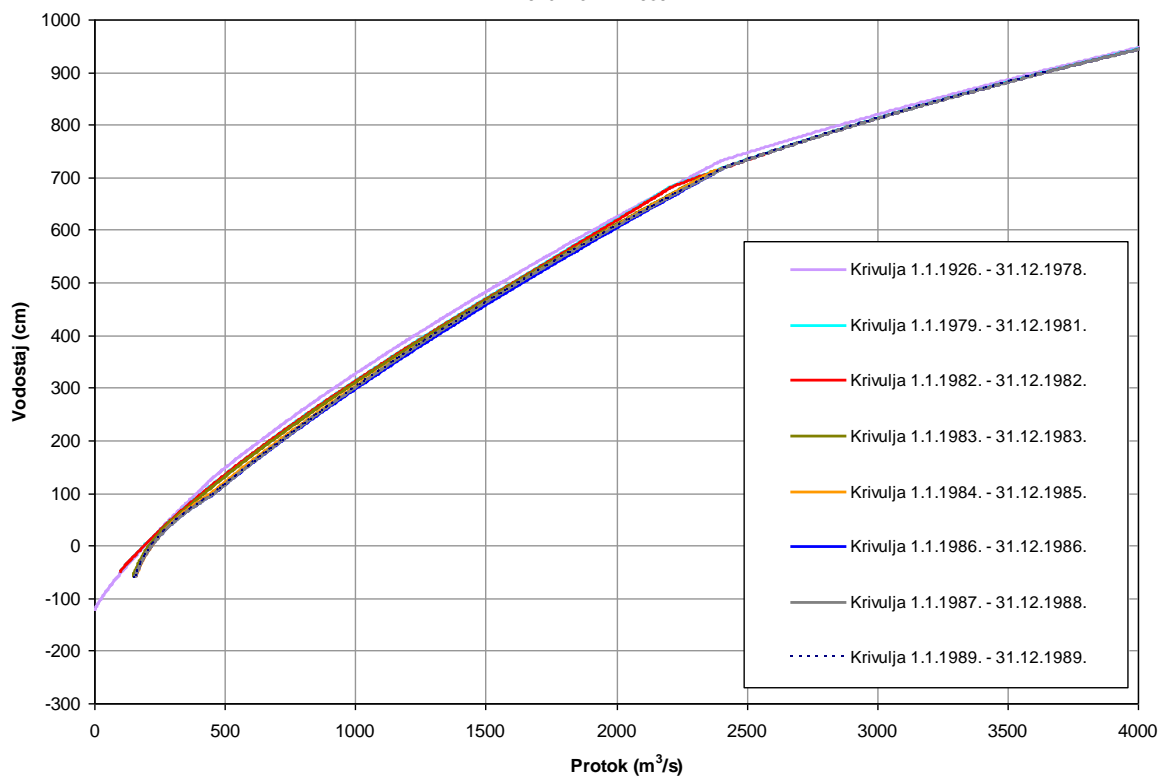


Slika 3.2-12: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Slavonski Brod u razdoblju 1983.-2010.

Na stanici Slavonski Brod se od 1926. godine provode mjerenja protoka, s prekidima u razdoblju 1993-2004. godine. Analizom rezultata mjerenja protoka u navedenom razdoblju DHMZ je definirao 14 krivulja protoka, na temelju kojih su izračunati dnevni protoci u istom razdoblju.

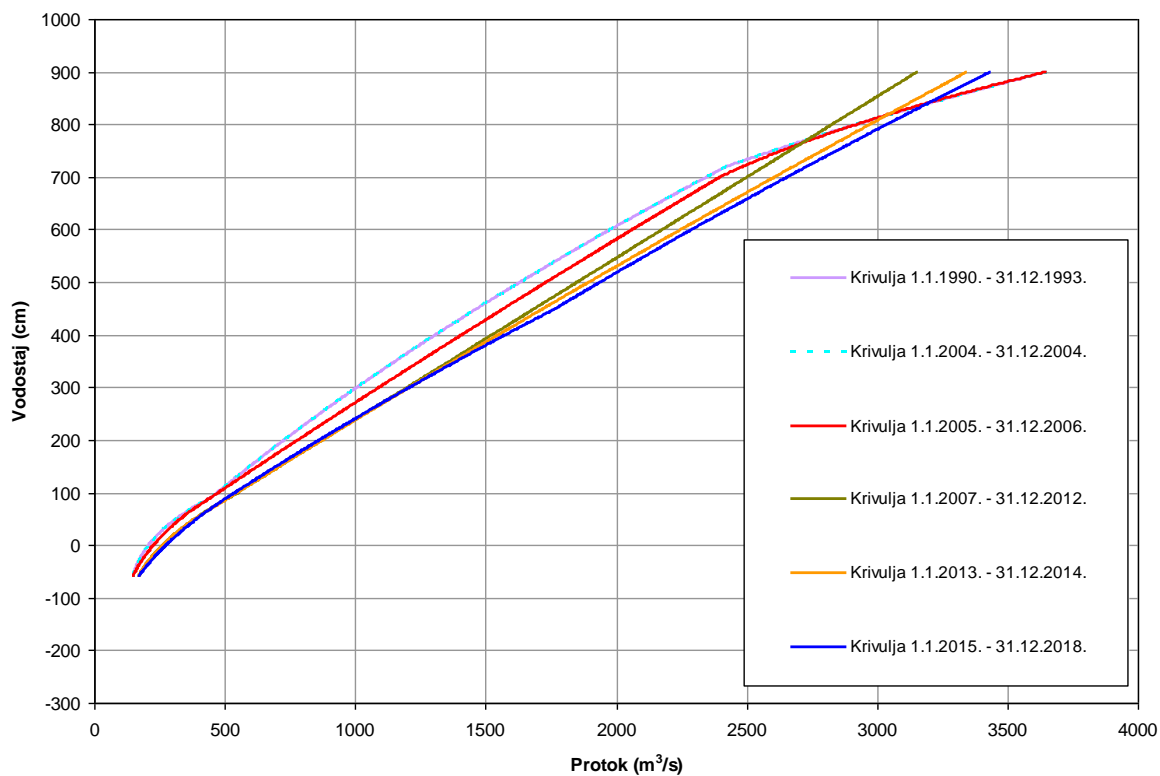
Na h. s. Slavonski Brod iz prikaza promjena protočnih krivulja danog na slikama 3.2-13 i 3.2-14 vidljivo je konstantno sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita u razdoblju od 1926. do 2017. godine.

Krivulje protoka SLAVONSKI BROD - SAVA
1.1.1926. - 31.12.1989.



Slika 3.2-13: Protočne krivulje za h. s. Slavonki Brod za razdoblje 1926-1989. godine

Krivulje protoka SLAVONSKI BROD - SAVA
1.1.1990. - 31.12.2018.



Slika 3.2-14: Protočne krivulje za h. s. Slavonki Brod za razdoblje 1990-2018. godine

3.2.2 Analiza nizova minimalnih godišnjih vodostaja i protoka na hidrološkim stanicama na Savi

Pokazatelj kvantitativnih promjena u režimu površinskih voda svakako su promjene u veličini vodostaja i protoka u razdoblju obrade, te rezultati analize trenda u nizovima karakterističnih godišnjih vodostaja i protoka. Hidrološki podaci i podloge i rezultati obrada prikazani u prethodnim poglavljima ukazuju na procese snižavanja dna korita Save.

Promjene se prije svega odražavaju na procese otjecanja kod malih voda, pa se i obrade koje slijede odnose na nizove minimalnih godišnjih vodostaja i protoka.

Obradom dnevnih podataka vodostaja i protoka za razdoblje 1923-2016. godina, pohranjenih u Bazi hidroloških podataka DHMZ-a formirani su nizovi maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka Save. Pregled raspoloživih karakterističnih godišnjih vodostaja u razdoblju 1923-2016. godina na svim hidrološkim stanicama dan je u tablici 3.2-1, a u tablici 3.2-2 dan je prikaz karakterističnih godišnjih protoka u istom razdoblju.

U *Prilogu poglavlju 2.2.2-1* tablično su prikazani karakteristični mjesečni i godišnji vodostaji i odgovarajući protoci Save (s pripadajućom osnovnom statističkom obradom) za razmatrane mjerodavne hidrološke stanice za raspoloživo razdoblje obrade. Uz tablični iskaz, dan je i grafički prikaz hoda maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka. Vodostaji su osim u relativnim visinama (cm), iskazani i u apsolutnima prema kotama nule danim u tablicama po evidenciji DHMZ-a koje se odnose na „stari“ sustav mjerenja (prema Trstu).

Tablica 3.2-1: Pregled karakterističnih godišnjih vodostaja Save na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 1926-2016. godina, dani u relativnim visinama (cm)

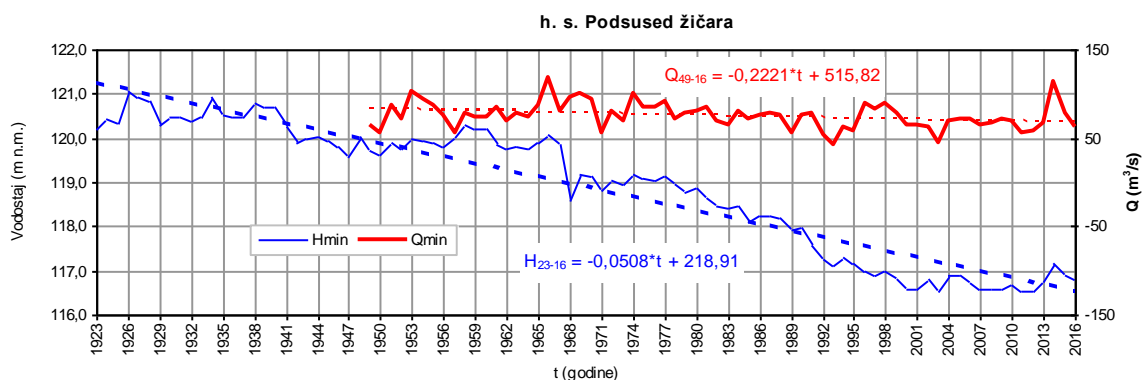
Hidrološke stanice	Kota nule (m n.m.)	Razdoblje obrade	VODOSTAJ (cm)								
			maksimalni			minimalni			srednji		
			sr	max	min	sr	max	min	sr	max	min
Podsused žičara	120,45	1923-1925	384	460	242	-11	-2	-22	109	126	99
	120,48	1926-1968.	381	560	222	-31	60	-90	67	152	-19
	119,134	1969-2016	421	640	184	-144	4	-259	-35	128	-186
Rugvica	95,61	1923-2016	727	978	360	-88	-6	-250	84	254	-124
Jasenovac	86,82	1923-2016	796	907	611	-10	95	-139	315	527	71
Stara Gradiška	85,403	1937-1959	748	863	620	20	94	-31	302	502	158
	85,390	1960-1976	744	906	648	31	58	-6	323	412	209
	85,467	1977 -2016	692	847	517	-35	55	-115	241	430	58
Slavonski Brod	81,80	1920-2016	719	939	474	15	104	-63	284	497	87

Tablica 3.2-2: Pregled karakterističnih godišnjih protoka Save na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 1926-2016. godina

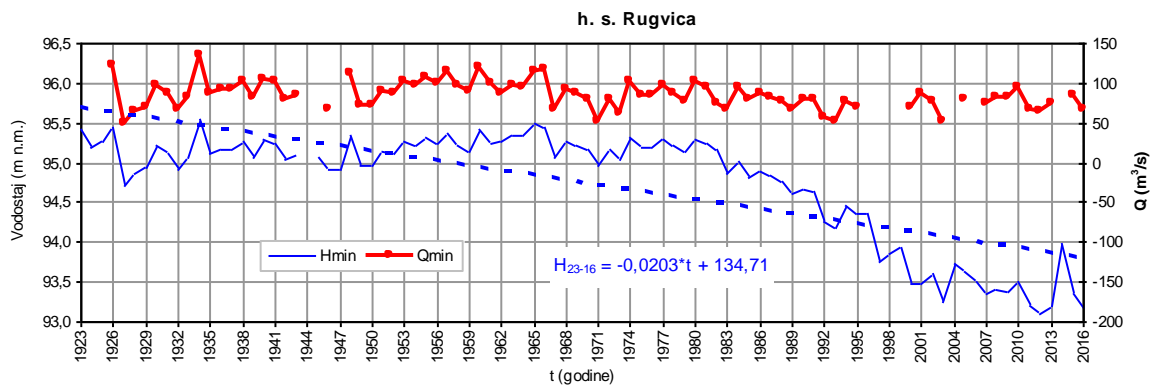
Hidrološke stanice	Razdoblje obrade	PROTOK (m ³ /s)								
		maksimalni			minimalni			srednji		
		sr	max	min	sr	max	min	sr	max	min
Podsused žičara	1949-2016	1819	3360	953	75,5	119	43,6	302	474	156
Rugvica	1926-2016	1547	2462	751	85	136	49,9	309	517	166
	1926-1943	1538	2262	1023	88,5	136	50,0	351	517	226
	1948-1995	1504	2357	931	86,6	119	52,4	304	423	178
Jasenovac	1926-1990	1969	2716	1446	182	288	107	785	1228	453
	2007-2016	2183	2713	1567	187	370	128	784	1252	407
Stara Gradiška	1937-1991	1898	2524	1543	184	315	108	789	1282	463
	2005-2016	2081	2736	1563	182	396	116	815	1380	424
Slavonski Brod	1926-1993	2469	3476	1849	242	403	148	984	1629	592
	2004-2016	2595	3493	2028	238	471	174	984	1621	530

U nastavku je dan grafički prikaz hoda minimalnih godišnjih vodostaja i protoka Save na razmatranim hidrološkim stanicama. Vodostaji su iskazani u apsolutnima vrijednostima prema kotama nule danim u prethodnoj tablici po evidenciji DHMZ-a koje se odnose na „stari“ sustav mjerenja (prema Trstu). Ukoliko nije bilo dužih prekida u mjerenjima na grafičkim prikazima je iskazan i trend vodostaja, odnosno protoka.

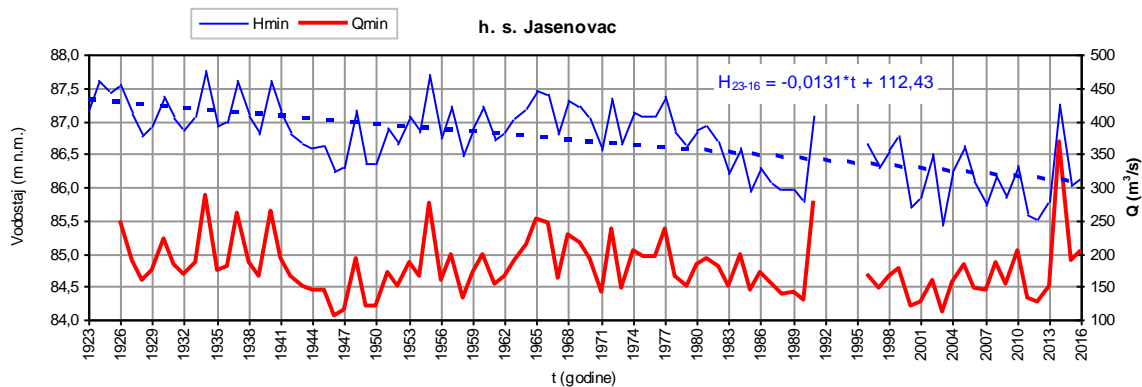
Iz prikaza minimalnih godišnjih vodostaja na svim hidrološkim stanicama na Savi (slika 3.2-15 do 3.2-19) vidljiv je trend njihova sniženja u razdoblju obrade, dok linije trenda minimalnih protoka ne pokazuju da protok ima tendenciju značajnog pada, kao što je slučaj s vodostajima. Sniženje vodostaja ukazuje na procese snižavanja dna korita Save, koje je najzraženije u profilu Podsused žičara.



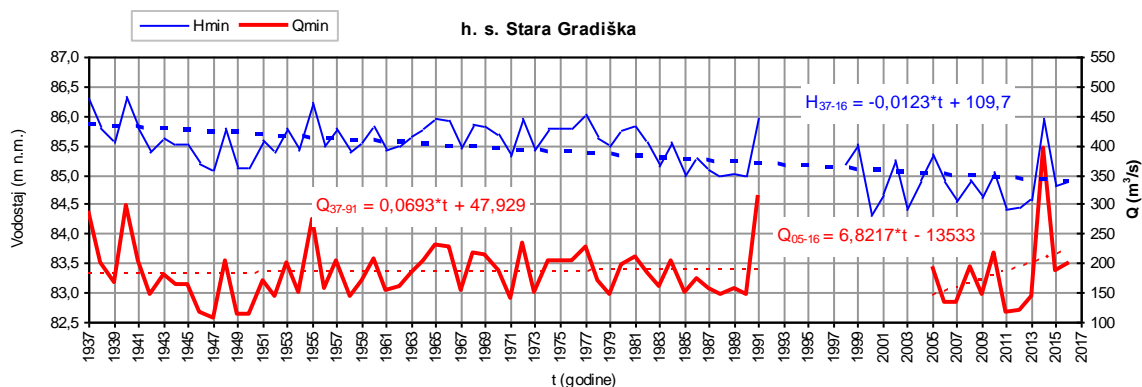
Slika 3.2-15: Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Podsused žičara na Savi



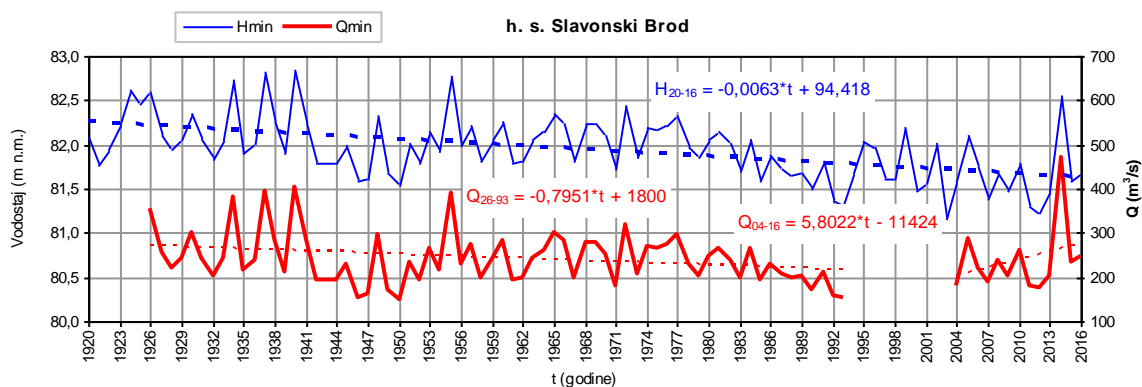
Slika 3.2-16: Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Rugvica na Savi



Slika 3.2-17: Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Jasenovac na Savi



Slika 3.2-18: Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Stara Gradiška na Savi



Slika 3.2-19: Minimalni godišnji vodostaji i protoci na h. s. Slavonski Brod na Savi

3.2.3 Analiza vremenskih nizova podataka o mjeranju nanosa na hidrološkim stanicama na Savi - svakodnevna mjerenja u jednoj točki presjeka i profilna mjerenja

Promjene u koritu rijeke Save izazvane brojnim regulacijskim radovima, eksploatacijom šljunka i pijeska iz korita i inundacijskog područja, a prvenstveno izgradnja i rad hidroenergetskih objekata uzvodno, značajno utječu na režim nanosa u rijeci Savi. Za razliku od opažanja vodostaja, nanos je DHMZ započeo mjeriti tek šezdesetih godina ovoga stoljeća. U novije vrijeme na predmetnoj dionici nisu vršena mjerenja vučenog nanosa već se mjeri samo koncentracija, pronos i sastav suspendiranog nanosa.

Utjecaj na vodni režim Save u Republici Hrvatskoj imaju objekti izgrađeni na rijeci Savi u Sloveniji. Naime, potencijal rijeke Save na području Republike Slovenije se u značajnoj mjeri već koristi za proizvodnju električne energije. Na gornjem dijelu toka rijeke Save, idući prema nizvodno izgrađene su HE Moste, HE Mavčiče i HE Medvode, a na srednjem dijelu toka između Ljubljane i Radeča je planirano još deset HE.

S realizacijom lanca hidroelektrana na Donjoj Savi, Slovenija je započela već 1987. godine izgradnjom HE Vrhovo. Do danas su u pogonu četiri hidroelektrane: HE Vrhovo (1993.), HE Boštanj (2006.), HE Blanca (2009.) i HE Krško (2012.). Izgradnja HE Brežice je nedavno završena (rujan, 2017.), a od ove godine je i u punom pogonu, a još je neposredno uzvodno od državne granice s Republikom Hrvatskom u izgradnji i HE Mokrice.

Prema analizama u (literaturi 75) vidljivo je da Sava između Podsuseda i Rugvice naglo mijenja brzinu toka. Srednje profilske brzine u Podsusedu iznose do 2,9 m/s, ali maksimalna vrijednost u propagaciji vodnog vala 19.9.2010. u matici rijeke iznosila je 4,88 m/s. Za razliku od toga, u Rugvici se režim toka mijenja od bujičnog do prijelaznog režima, stoga se srednje profilske brzine kreću od 0,73 m/s do maksimalnih 1,25 m/s. To se naravno odražava i na režim pronosa nanosa, stoga se na dionici od granice sa Slovenijom sve do Rugvice suspendirani nanos uglavnom odnosi tj. pronosi nizvodno kao tranzitni nanos, a od Rugvice, uslijed smirivanja toka, počinje proces taloženja.

Obradama u nastavku su obuhvaćeni raspoloživi dnevni podaci pronosa i koncentracija suspendiranog nanosa u razdoblju 1960-2016. godina, određeni na temelju svakodnevnih zahvaćanja uzorka vode u jednoj točki mjernih presjeka na lokacijama hidroloških stanica Podsused žičara, Rugvica, Jasenovac i Slavonski Brod, kao i na Staroj Gradiški, ali do 1990. godine.

Svakodnevna mjerenja ni u kom slučaju nisu reprezentativna za cijeli presjek, ali imaju svojih prednosti u odnosu na profilna. Jedna od njih jest što su jeftina i jednostavna, a druga, koja proizlazi iz prethodne, je da se kontinuirano provode kroz duže vremensko razdoblje, pa se na taj način ipak prikupljaju vrijedni podaci, na temelju kojih se može procijeniti pronos suspendiranog nanosa duž toka.

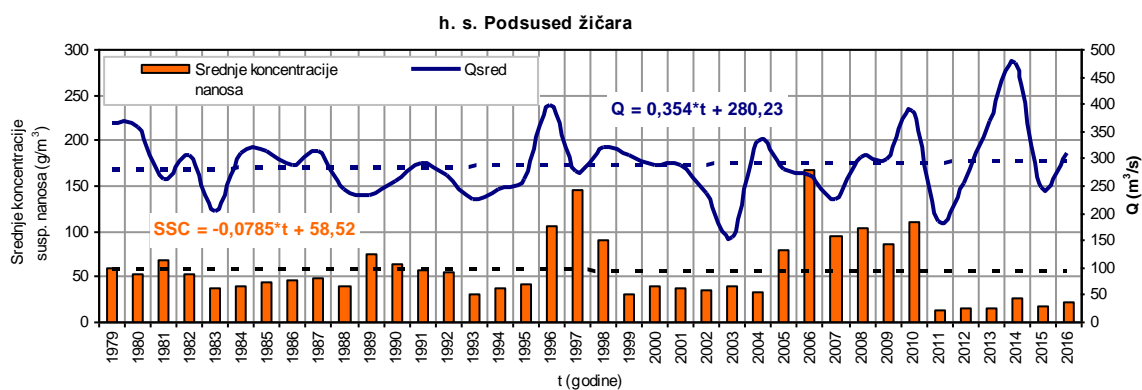
Tablični i grafički prikaz karakterističnih mjesečnih i ukupnih mjesečnih i godišnjih pronosa suspendiranog nanosa na Savi u Hrvatskoj, kao i mjesečna i godišnja koncentracija suspendiranog nanosa dobivena na osnovi svakodnevnih uzorkovanja dan je u **Prilogu poglavlju 2.2.3.**

U nastavku su na osnovi promjena u povijesnim nizovima dnevnih podataka definirani

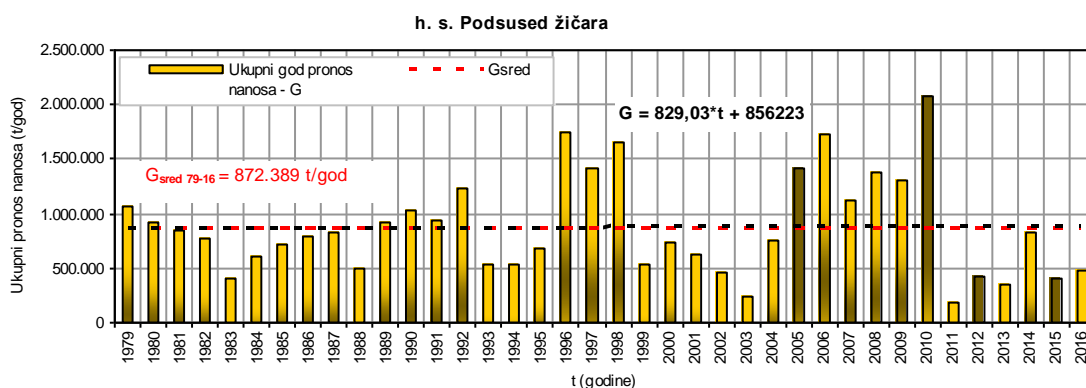
trendovi za pojedine hidrološke parametre.

Također su analizirani i rezultati mjerenja srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i trenutnog pronosa koja se u mjernom profilu Podsused, Rugvica i Jasenovac vrše jednom do tri puta godišnje.

Svakodnevni uzorci za analizu suspendiranog nanosa uzimaju se sa mosta u Podsusedu, iz jedne točke u matici rijeke. Nakon laboratorijske analize uzoraka pristiglih sa terena, proračunavaju se dnevne vrijednosti koncentracija suspendiranog nanosa (g/m^3) te njegov dnevni, mjesečni i godišnji pronos u tonama. Na slici 3.2-20 dan je grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti protoka i srednjih godišnjih koncentracija suspendiranog nanosa. Srednja vrijednost koncentracija suspendiranog nanosa u ovom profilu za razdoblje 1979-2016. godine iznosi $56,99 \text{ g}/\text{m}^3$. Linija trenda pokazuje da protok ima tendenciju blagog porasta (gotovo zanemarivog), a koncentracija nanosa nema tendenciju porasta. Na slici 3.2-21 u nastavku dan je ukupni godišnji pronos nanosa, uz iskazanu srednju godišnju količina pronosa susp. nanosa za niz $G_{\text{sred}}=0,87 \text{ mil.tona}$. Linija trenda pokazuje da ukupni godišnji pronos nanosa također nema tendenciju porasta.



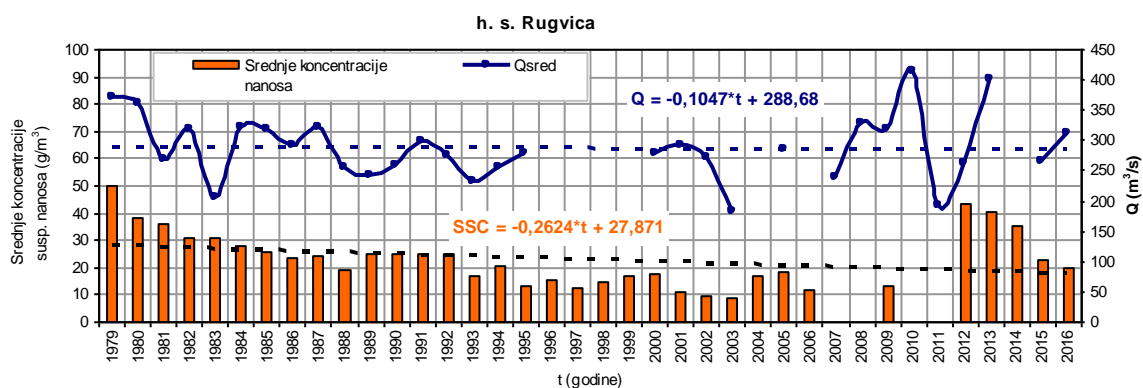
Slika 3.2-20: Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Podsused žičara s iskazanim trendom



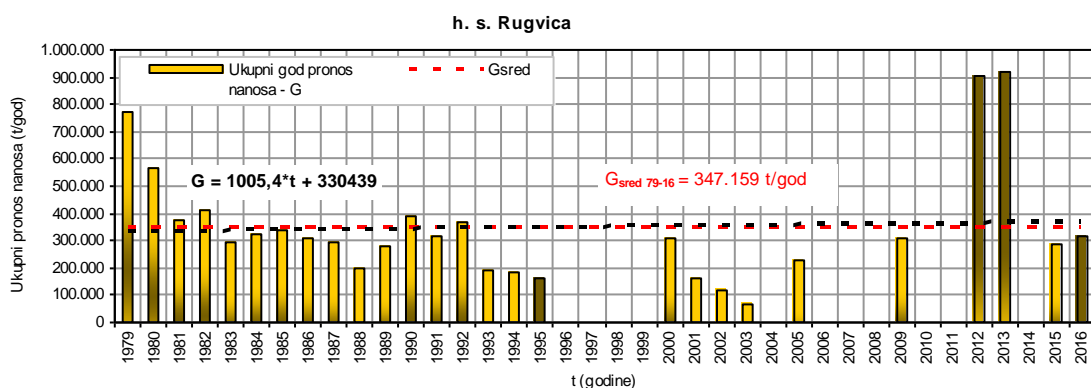
Slika 3.2-21: Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa u Podsusedu s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje

Na h. s. Rugvica svakodnevni uzorci za analizu suspendiranog nanosa uzimani su na lijevoj obali rijeke, uz vodokaz. Na grafičkom prikazu srednjih godišnjih koncentracija slika 3.2-22, vidljiv je trend smanjenja srednjih vrijednosti koncentracija u periodu 1979.-2016. Srednja

vrijednost koncentracija suspendiranog nanosa u profilu Rugvica za razdoblje 1979-2016. godine iznosi 23,11 g/m³. Trend protoka je stabilan, slično kao i u Podsusedu. Razlog tako velikoj razlici u koncentraciji suspendiranog nanosa u odnosu na Podsused je prvenstveno lokacija uzorkovanja. Naime, brzina toka rijeke na rubnim dijelovima korita je znatno manja u usporedbi sa srednjom brzinom toka vode u cijelom poprečnom profilu, te se time dobiva znatno manja koncentracija suspendiranog nanosa u odnosu na stvarnu koncentraciju suspendiranog nanosa u poprečnom profilu. Stoga su i godišnji pronosi nanosa znatno niži od Podsuseda uz srednju vrijednost za niz $G_{\text{sred}} = 0,347$ mil. tona (slika 3.2-23).



Slika 3.2-22: Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Rugvica s iskazanim trendom



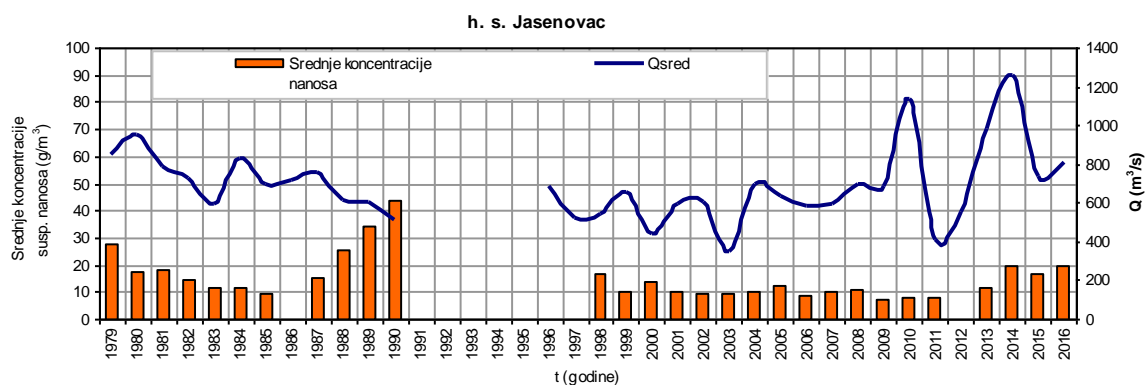
Slika 3.2-23: Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa u Rugvici s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje

Nakon 2009. godine svakodnevni uzorci vode za analizu suspendiranog nanosa u Jasenovcu uzimaju se iz jedne točke uz lijevu obalu, u profilu nizvodno od ušća Une u Savu, jednako kao i mjerenje protoka, koje se od 2007. godine ponovo vrši u ovom profilu (nizvodno od ušća Une u Savu), kao što je to bio slučaj prije Domovinskog rata, do 1990. godine. Terenskom i laboratorijskom obradom te daljnjim izračunom na bazi poznatih protoka vode, dobivene su dnevne koncentracije i pronosi suspendiranog nanosa u razmatranom razdoblju.

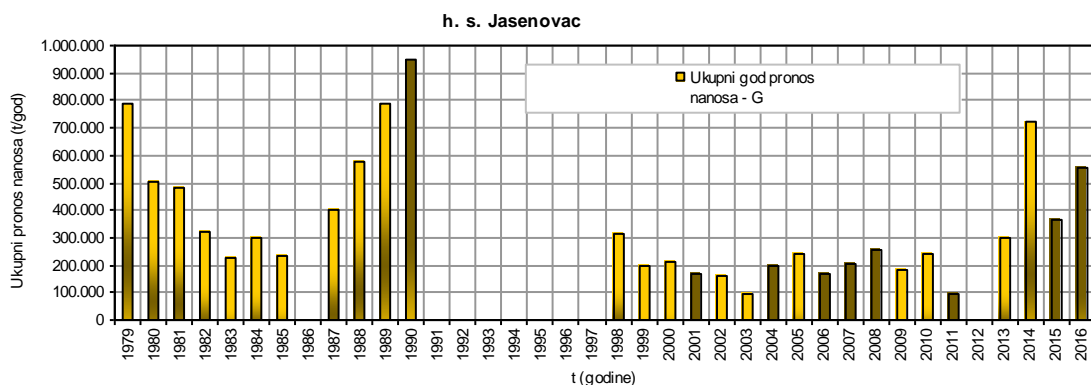
U Izvještajima od DHMZ-a naglašeno je da vode Save i Une na toj lokaciji još nisu potpuno izmiješane, što je vidljivo iz grafičkih prikaza profilskih mjerenja u posljednjim Izvještajima (literatura 36). Iz tog razloga dnevne koncentracije kao i dnevni pronos nanosa, čije se

vrijednosti dobivaju uzimanjem na lijevoj obali Save, pokazuju veće vrijednosti od srednjih profilskih koncentracija. Naime, Una je u pravilu "čišća" rijeka, posebice kod manjih voda, odnosno ima manje vrijednosti koncentracija i pronosa. No, kod srednjih i posebice velikih voda situacija se zbog materijala donesenog Unom mijenja. Tada svakodnevni uzorci sa lijeve obale pokazuju manje vrijednosti od profilskih koncentracija. Prema Izvještaju iz 2016. godine (literatura 36) u nastojanju da se pronađe neka bolja lokacija, obilaskom terena je utvrđeno da trenutno, zbog nepristupačnog terena i zaraštenih obala, na lijevoj obali nije moguće pronaći bolju nizvodnu lokaciju za uzimanja dnevnih uzoraka. Iz tog razloga se pri analizi ukupnog pronosa nanosa Sava + Una u Jasenovcu treba uzeti u obzir korelacija definirana na bazi površinskih i profilskih koncentracija dana u nastavku iza teksta na slici 3.2-38.

Na slici 3.2-24 dan je grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti protoka i srednjih godišnjih koncentracija suspendiranog nanosa raspoloživih u razdoblju 1979. do 2016. godine, a nastavno na slici 3.2-25 ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa u Jasenovcu. S obzirom da je tijekom ovog vremena u više navrata dolazilo do promjene lokacija mjernih profila i kod mjerenja protoka, kao i kod svakodnevnog uzimanja uzoraka vode za analizu suspendiranog nanosa u Jasenovcu (uzvodno/nizvodno od ušća Une), na slikama u nastavku za ukupno analizirano razdoblje 1979. do 2016. godine nije iskazan trend srednjih godišnjih protoka, kao ni trend suspendiranog nanosa.



Slika 3.2-24: Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Jasenovac



Slika 3.2-25: Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa u Jasenovcu za razmatrano razdoblje

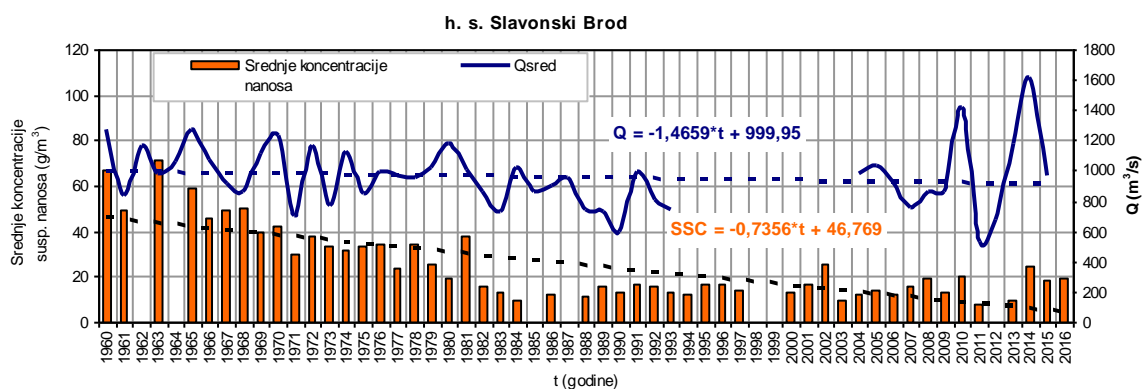
Srednja vrijednost koncentracija suspendiranog nanosa u profilu Jasenovac za ukupno razdoblje 1979-2016. godine iznosi $15,37 \text{ g/m}^3$. Međutim, kako je tijekom ovog vremena u

više navrata dolazilo do promjene lokacija mjernih profila u Jasenovcu (uzvodno/nizvodno od ušća Une), u nastavku će se iskazati srednje vrijednosti po pojedinim razdobljima. Tako srednja vrijednost koncentracija suspendiranog nanosa u profilu Jasenovac za razdoblje 1979-1990. godine iznosi $20,92 \text{ g/m}^3$, u razdoblju 1998-2008. godine značajno je manjih vrijednosti od $11,28 \text{ g/m}^3$ (s obzirom da su uzorci za analizu uzimani u profilu Save prije ušća Une), te u razdoblju 2009-2016. godine srednje vrijednosti su $13,05 \text{ g/m}^3$.

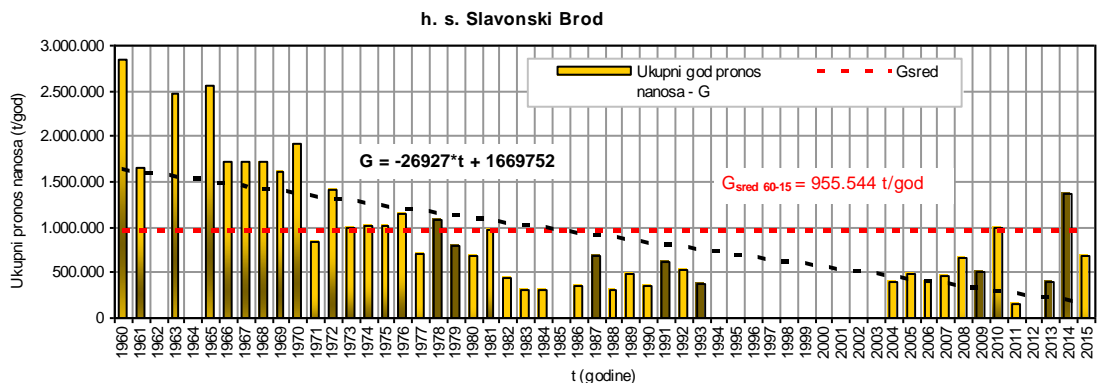
Na slici 3.2-25 dan je ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa. Prosječna vrijednost ukupnog godišnjeg pronosa suspendiranog nanosa u profilu Jasenovac za razdoblje 1979-1990. godine iznosi 0,506 mil. tona, u razdoblju 1998-2008. godine zabilježene su značajno manje količine prosječne vrijednosti 0,201 mil. tona (s obzirom da su uzorci za analizu uzimani u profilu Save prije ušća Une), te u razdoblju 2009-2016. godine srednje godišnje količine pronosa suspendiranog nanosa su oko 0,352 mil. tona.

Iz danih prikaza vidljiv je drugačiji režim suspendiranog nanosa u profilu Jasenovac (znatno manji) nego li na uzvodnim profilima, jer velike vode na nizinskom toku Save ne doprinose ekstremnom povećanju koncentracije suspendiranog nanosa. Postoji više razloga zašto je tome tako: prvi razlog je mirniji tok gdje je vertikalna komponenta brzine svedena na minimum pa nema dizanja finog mulja i pijeska sa dna, a drugi razlog je što je erozija sa slivne površine znatno manja budući da je u nizinskom toku pad sliva manji od onog u gornjem toku. Osim toga, uzorak za analizu uzima se na lijevoj obali, a ne iz matice rijeke kao što je to slučaj na profilima Oborovo-skela kod Rugvice i Podsused most, što prema svemu do sada ima vjerojatno najveći utjecaj na dnevne vrijednosti koncentracija suspendiranog nanosa, a onda i na godišnje vrijednosti (literatura 36).

Na slici 3.2-26 dan je grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti protoka i srednjih godišnjih koncentracija suspendiranog nanosa u profilu Slavonski Brod u razdoblju 1960. do 2016. godine, a nastavno na slici 3.2-27 ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje.



Slika 3.2-26: Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Slavonski Brod s iskazanim trendom

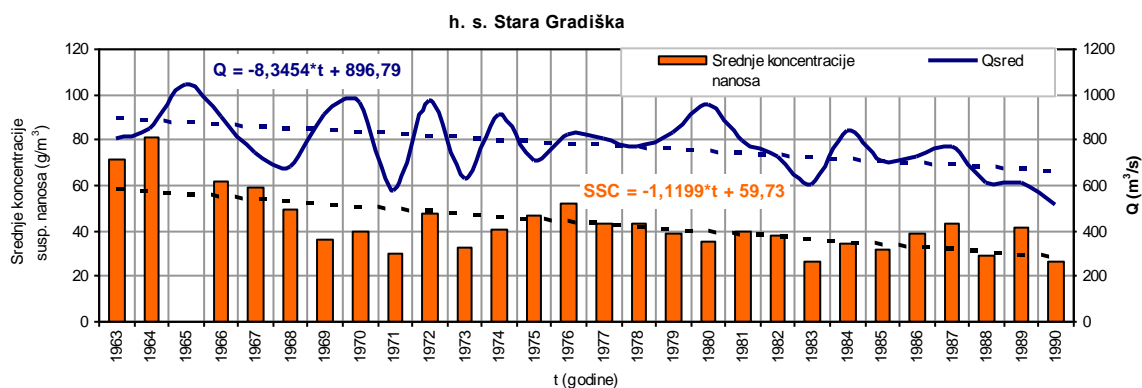


Slika 3.2-27: Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Slavonki Brod s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje

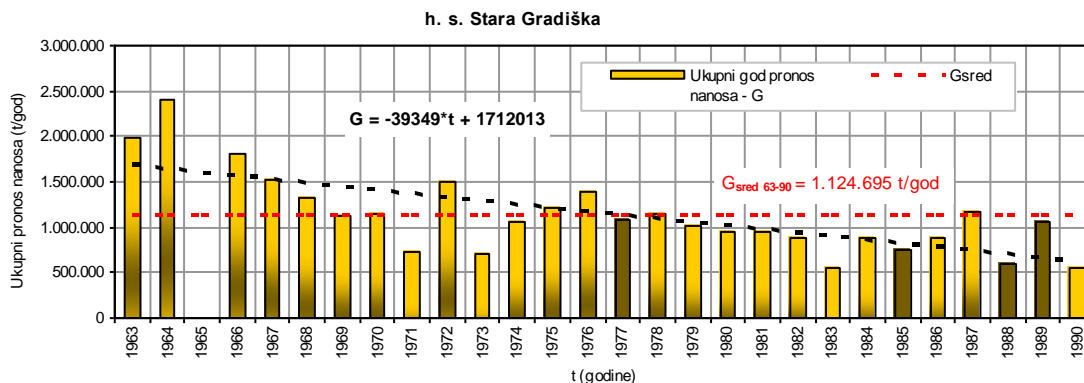
Na grafičkom prikazu srednjih godišnjih koncentracija (slika 3.2-26), vidljiv je trend smanjenja srednjih vrijednosti koncentracija u periodu 1960.-2016. Srednja vrijednost koncentracija suspendiranog nanosa u profilu Slavonki Brod za ukupno razmatrano razdoblje 1960-2016. godine iznosi $25,30 \text{ g/m}^3$, dok je za razdoblje 1979-2016. godine značajno manja i iznosi $16,30 \text{ g/m}^3$. Trend protoka je stabilniji, slično kao i u uzvodnim profilima.

Na grafičkom prikazu ukupnih godišnjih pronosa nanosa za razdoblje 1960-2016. (slika 3.2-27), vidljiv je također trend smanjenja pronosa nanosa, uz iskazanu srednju godišnju količinu pronosa susp. nanosa za niz $G_{\text{sred}}=0,95$ mil.tona, dok je za razdoblje 1979-2016. godine srednja godišnja količina pronosa susp. nanosa značajno manja i iznosi $G_{\text{sred}}=0,55$ mil.tona.

Na slici 3.2-28 dan je grafički prikaz srednjih godišnjih vrijednosti protoka i srednjih godišnjih koncentracija suspendiranog nanosa u profilu Stara Gradiška u razdoblju 1963. do 1990. godine, a nastavno na slici 3.2-29 ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje.



Slika 3.2-28: Srednje godišnje koncentracije susp. nanosa i godišnji protok na h. s. Stara Gradiška s iskazanim trendom



Slika 3.2-29: Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa na h. s. Stara Gradiška s iskazanim trendom i ucrtanom prosječnom vrijednosti ukupnog pronosa nanosa za razmatrano razdoblje

Iz danog prikaza vidljiv je trend smanjenja srednjih godišnjih vrijednosti protoka i srednjih godišnjih koncentracija suspendiranog nanosa u profilu Stara Gradiška u razdoblju 1963. do 1990. Srednja vrijednost koncentracija suspendiranog nanosa za ukupno razmatrano razdoblje iznosi $43,01 \text{ g/m}^3$.

Na grafičkom prikazu ukupnih godišnjih pronos nanosa za razdoblje 1963. do 1990. (slika 3.2-29), vidljiv je također trend smanjenja pronosa nanosa, uz iskazanu srednju godišnju količinu pronosa susp. nanosa za niz $G_{\text{sred}}=1,12 \text{ mil.tona}$.

Analiza rezultata mjerenja srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i trenutnog pronosa nanosa u mjernim profilima na Savi

Osim prethodno provedenih analiza temeljem dnevnih vrijednosti koncentracije na osnovi površinskih uzoraka iz jedne točke pri površini kao i analiza dnevnih, mjesečnih i godišnjih pronosa suspendiranog nanosa, pomoću kojih su na osnovi promjena u povijesnim nizovima dnevnih podataka definirani trendovi za pojedine hidrološke parametre, u nastavku su analizirani i rezultati mjerenja srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i trenutnog pronosa nanosa u mjernim profilima na Savi.

Na temelju dosad izvršenih profilskih mjerenja i obrada suspendiranog nanosa na Savi, u **Izveštajima od DHMZ-a** dobivenih za razdoblje do 2016. godine (lit. 1-36) definirani su korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija i protoka $\rho = f(Q)$, između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke $P = f(Q)$, kao i odnos između srednje profilске i površinske koncentracije suspendiranog nanosa $\rho_{prof} = f(\rho_{pov})$. Odnosi su definirani za tri hidrometrijska profila na Savi: Podsused žičara, Rugvica i Jasenovac, a grafički prikazi tih korelacija preuzeti su iz Izveštaja i iskazani su u **Prilozima poglavlju 2.2-3** i u nastavku na slikama 3.2-30-3.2-35.

Prema izveštajima od DHMZ-a na profilu **Podsused Žičara** do 2010. godine korelacijski odnos između srednje profilске koncentracije i protoka vode $\rho = f(Q)$ definirao se na temelju svih izvršenih mjerenja od 1985. godine. Međutim, uočeno je da su se vrijednosti koncentracija od 1992. godine smanjile za 5 do 10 puta u odnosu na period do 1991. godine. Razlog toj promjeni vrlo vjerojatno leži u izgradnji brana i akumulacija na uzvodnom dijelu toka u Sloveniji, posebice na donjoj Savi: HE Vrholovo – radi od 1993., HE Boštanj – radi od 2006., HE Blanca – radi od 2009., HE Krško – puštena u rad 2013. godine. Stoga je u zadnjem Izveštaju (literatura 36) prikazan novi korelacijski odnos profilskih koncentracija sa protokom vode $\rho = f(Q)$, definiran za period 1992.-2016., kako je prikazano na slici 3.2-30. Novi korelacijski odnos pokriva raspon $54 < Q < 2116 \text{ m}^3/\text{s}$, odnosno vrijednosti između najnižih protoka iz 2003. godine i maksimalnih protoka iz vodom bogate 2010. godine.

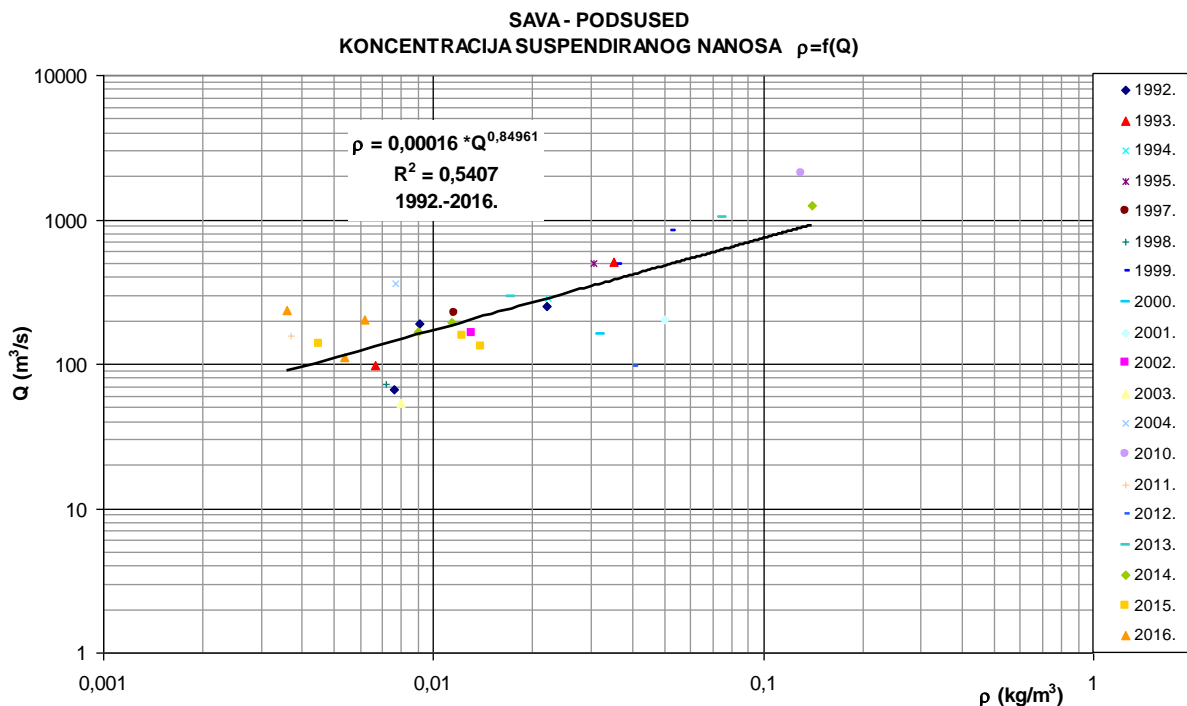
U slučaju korelacijskih odnosa koncentracije i pronosa suspendiranog nanosa i pripadajućeg protoka, definirane su regresije za 25 godišnji period mjerenja (1992.-2016.). Regresijske funkcije za raspon protoka $54 < Q < 2116$ su relativno čvrste, uz visok koeficijent korelacije (za ρ je $r=0,73$ i za P je $r=0,92$). Regresijske funkcije između profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka $\rho = f(Q)$ i sekundnog pronosa nanosa i protoka $P = f(Q)$, izražene su slijedećim analitičkim izrazima:

$$\begin{array}{lll} \rho = 0,00016 Q^{0,85} & (\text{kg}/\text{m}^3) & (1992.-2016.) \\ P = 0,00016 Q^{1,84} & (\text{kg}/\text{s}) & (1992.-2016.) \end{array}$$

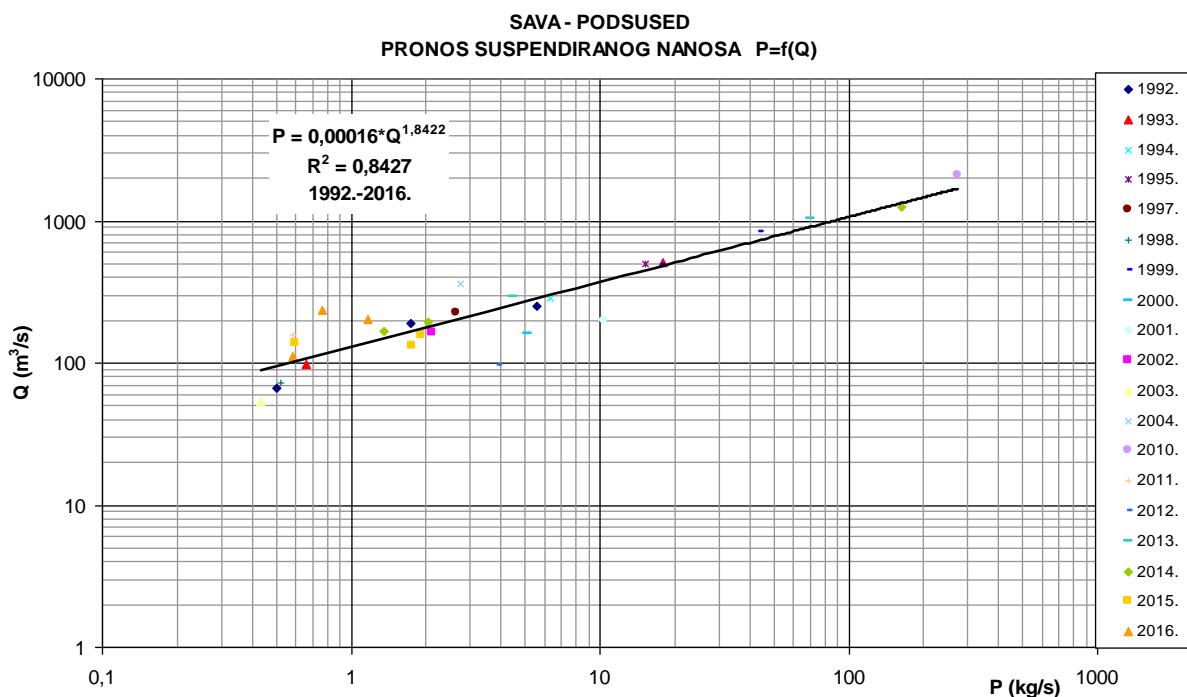
gdje je:

ρ = srednja profilska koncentracija suspendiranog nanosa,
 P = sekundni profilski pronos suspendiranog nanosa,
 Q = protok vode (m^3/s),

a grafički prikazi su dani u nastavku na slikama 3.2-30 do 3.2-31.



Slika 3.2-30: Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Save u profilu Podsused žičara



Slika 3.2-31: Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Save u profilu Podsused žičara

U prethodnim godišnjim izvještajima od DHMZ-a za profil **Sava Rugvica** definiran je regresijski odnos $\rho = f(Q)$ i $P = f(Q)$ za cijeli period mjerenja od 1978. godine. Na tim prikazima jasno je vidljivo znatno smanjenje profilske koncentracije mjerene pri istim protocima u 80-tim godinama u odnosu na noviji period. Osim toga i koeficijent raspršenja $r = 0,5$ pokazivao je velik rasap točaka, stoga je definiran novi korelacijski odnos za period 1992.-2016. U zadnjem izvještaju iz 2016. godine (literatura 36) definirani novi odnosi $\rho = f(Q)$ i $P = f(Q)$, preuzeti su za potrebe ovog projekta i prikazani u nastavku.

Regresijske krivulje zavisnosti profilskih koncentracija i pronosa suspendiranog nanosa sa protokom vode $\rho = f(Q)$ i $P = f(Q)$, izražene analitičkim izrazima za period 1992.-2016. glase:

$$\rho = 0,0012 Q^{0,5308} \quad (\text{kg/m}^3)$$

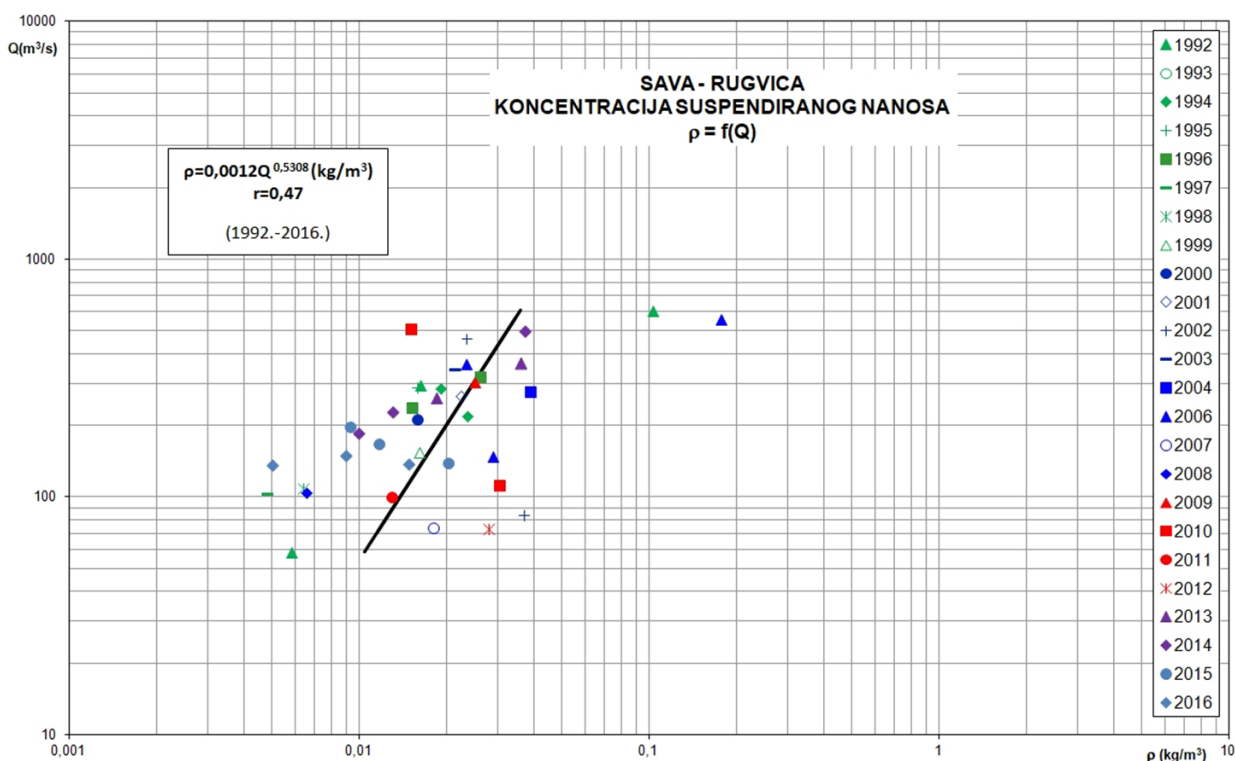
$$P = 0,0012 Q^{1,5259} \quad (\text{kg/s})$$

gdje je:

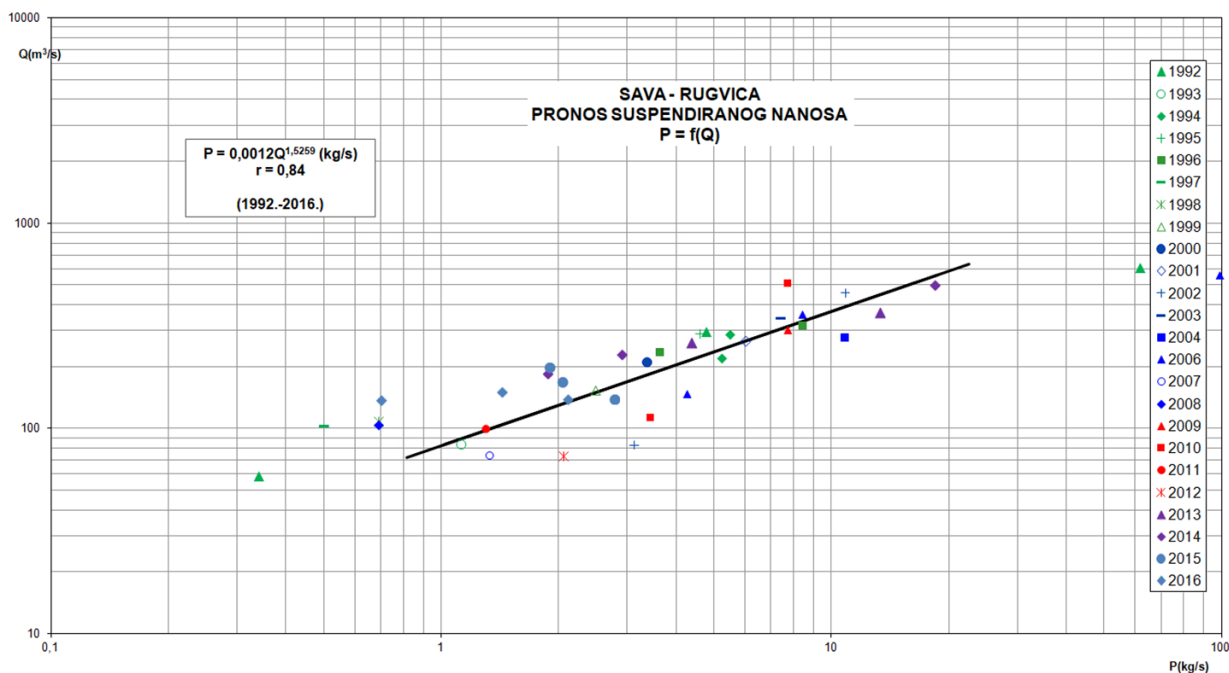
ρ = srednja profilska koncentracija suspendiranog nanosa,
 P = sekundni profilski pronos suspendiranog nanosa,
 Q = protok vode (m^3/s).

Jedino treba naglasiti da koeficijenti korelacije $r = 0,84$ za regresijsku krivulju $P = f(Q)$ pokazuju čvršću zavisnost nego odnos $\rho = f(Q)$ ($r = 0,47$) iako su uključene i vrijednosti koje odstupaju od funkcije iz 1997., 1998., 2006. i 2008. godine.

Grafički prikazi regresijskih krivulja su dani u nastavku na slikama 3.2-32 do 3.2-33.



Slika 3.2-32: Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Save u profilu Rugvica



Slika 3.2-33: Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Save u profilu Rugvica

Grafički prikazi korelacijske zavisnosti profilске koncentracije i pronosa suspendiranog nanosa sa protokom vode $\rho = f(Q)$, $P = f(Q)$, preuzeti iz Izvještaja za 2016. godinu na profilu **Sava Jasenovac** dani su na slikama 3.2-34 i 3.2-35. Kao što je već prije rečeno, profilsko mjerenje suspendiranog nanosa mjeri se od 2009. u profilu nizvodno od ušća Une u Savu (budući da se u tom profilu vrše i mjerenje protoka), tako da su u grafičkim prikazima dani samo rezultati mjerenja posljednjih osam godina. Veliko raspršenje rezultata i nizak koeficijent korelacije $r = 0,16$ u slučaju korelacijske zavisnosti $\rho = f(Q)$, ukazuju na promjenjive hidrodinamičke uvjete na ušću Save i Une te stoga odnos nije stabilan. U slučaju korelacije $P = f(Q)$, odstupanja su nešto manja te se uz koeficijent korelacije $r = 0,69$ definira bolja korelacijska veza kod koje rezultati iz 2016. godine definiraju anvelope niskih vrijednosti. Korelacijski odnosi za period 2009.-2016. iskazani su slijedećim analitičkim izrazima:

$$\rho = 0,0058 Q^{0,205} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$P = 0,0065 Q^{1,1866} \quad (\text{kg/s})$$

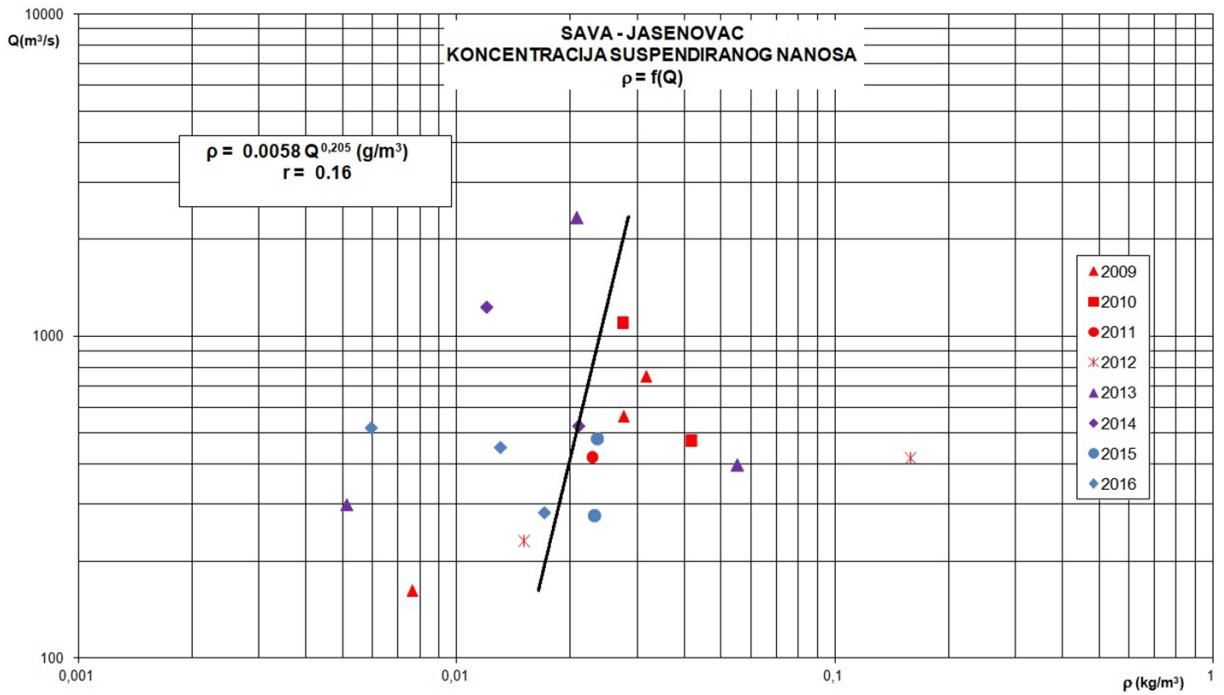
gdje je:

ρ = srednja profilska koncentracija suspendiranog nanosa,

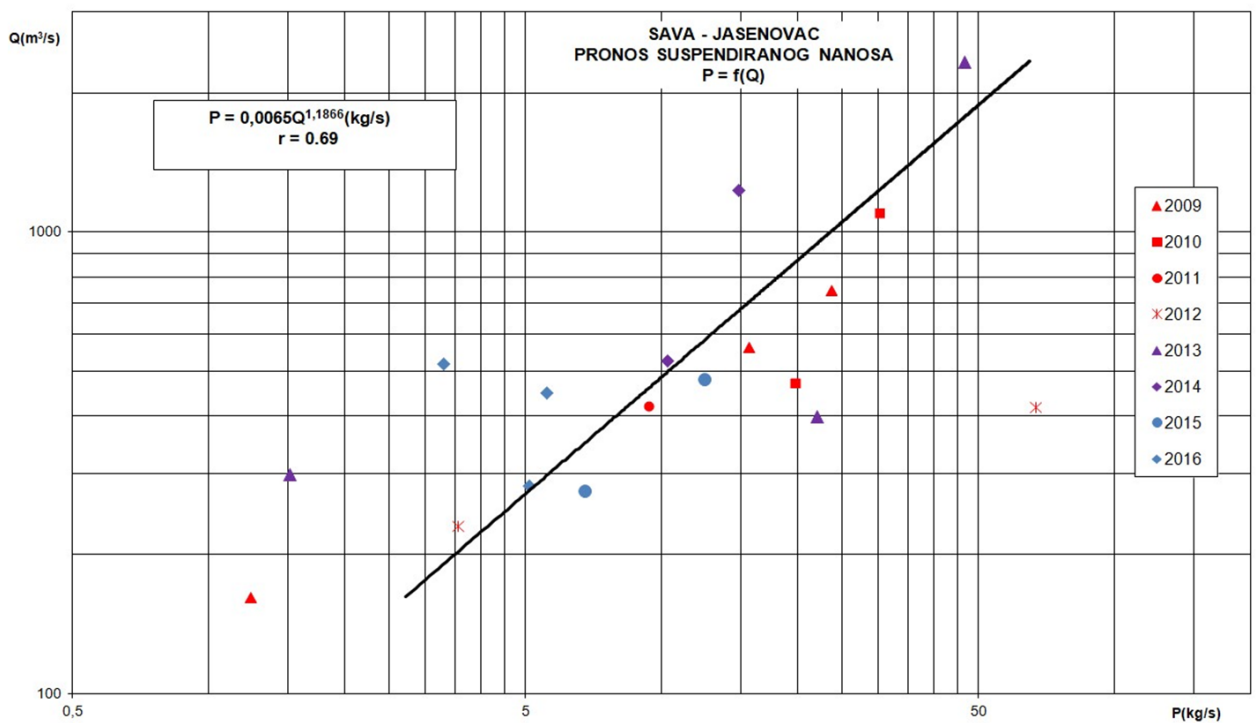
P = sekundni profilski pronos suspendiranog nanosa,

Q = protok vode (m^3/s),

a grafički prikazi su dani u nastavku na slikama 3.2-34 do 3.2-35.



Slika 3.2-34: Definirani korelacijski odnosi između srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i protoka Save u profilu Jasenovac



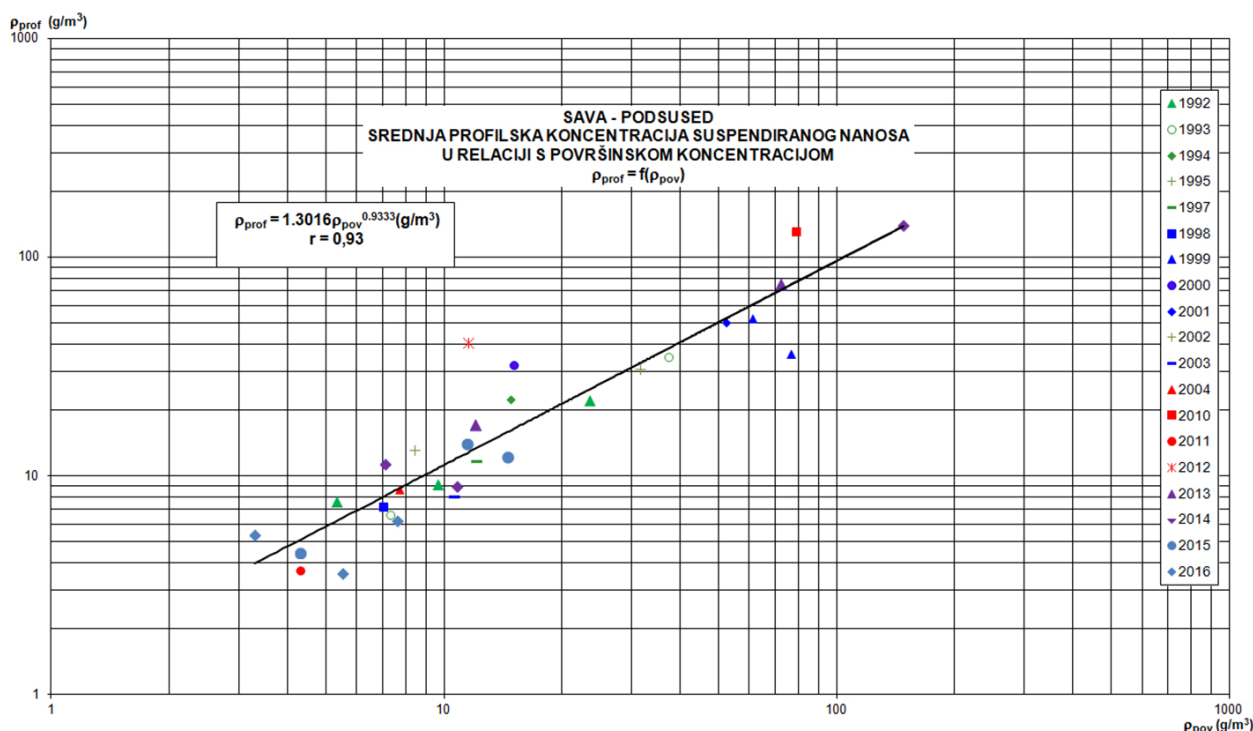
Slika 3.2-35: Definirani korelacijski odnosi između sekundnog profilskog pronosa i trenutne protoke Save u profilu Jasenovac

Osim korelacijskog odnosa između koncentracija, sekundnog pronosa i trenutnog protoka, analiziraju se i odnosi između profilskih vrijednosti koncentracija i onih dobivenih na temelju svakodnevnih uzimanja površinskih uzoraka (motritelj). Naime, profilski mjerenja suspendiranog nanosa vrše se povremeno nekoliko puta godišnje, dok se svakodnevni uzorci uzimaju iz jedne točke pri površini, uz obalu ili iz sredine protočnog profila gdje je to moguće. Kako bi se došlo do što bolje spoznaje o pronošenju nanosa po čitavom protjecajnom profilu, za vrijeme profilskih mjerenja uzimaju se i obalni površinski uzorci i to na istim mjestima gdje ih svakodnevno uzimaju motritelji. Rezultati analize površinskih uzoraka koji služe za definiranje odnosa $\rho_{prof} = f(\rho_{pov})$ objavljuju se u Godišnjim izvještajima zajedno sa rezultatima profilskih mjerenja, a grafički prikazi definiranih korelacijskih odnosa dani su u **Prilozima poglavlju 2.2-3** i u nastavku na slikama 3.2-36 do 3.2-38.

Dnevni uzorci za analizu suspendiranog nanosa na h. s. Podsused žičara uzimaju se sa mosta u Podsusedu u jednoj točki u matici rijeke, gdje je brzina toka vode veća od osrednjene brzine u poprečnom profilu, te se time dobiva znatno veća koncentracija suspendiranog nanosa u odnosu na stvarnu koncentraciju suspendiranog nanosa u poprečnom profilu. Iz tog razloga se za vrijeme profilskog mjerenja uzimaju i površinski uzorci kako bi se za svaki mjerni profil definirali korelacijski odnosi $\rho_{prof} = f(\rho_{pov})$.

Grafički prikaz korelacijske zavisnosti za period 1992.-2016. za Savu kod Podsuseda $\rho_{PROF} = f(\rho_{POV})$, prikazan je u nastavku na slici 3.2-36 i predočen analitičkim izrazom:

$$\rho_{PROF} = 1,3016 \rho_{POV}^{0,9333} \text{ (g/m}^3\text{)}$$

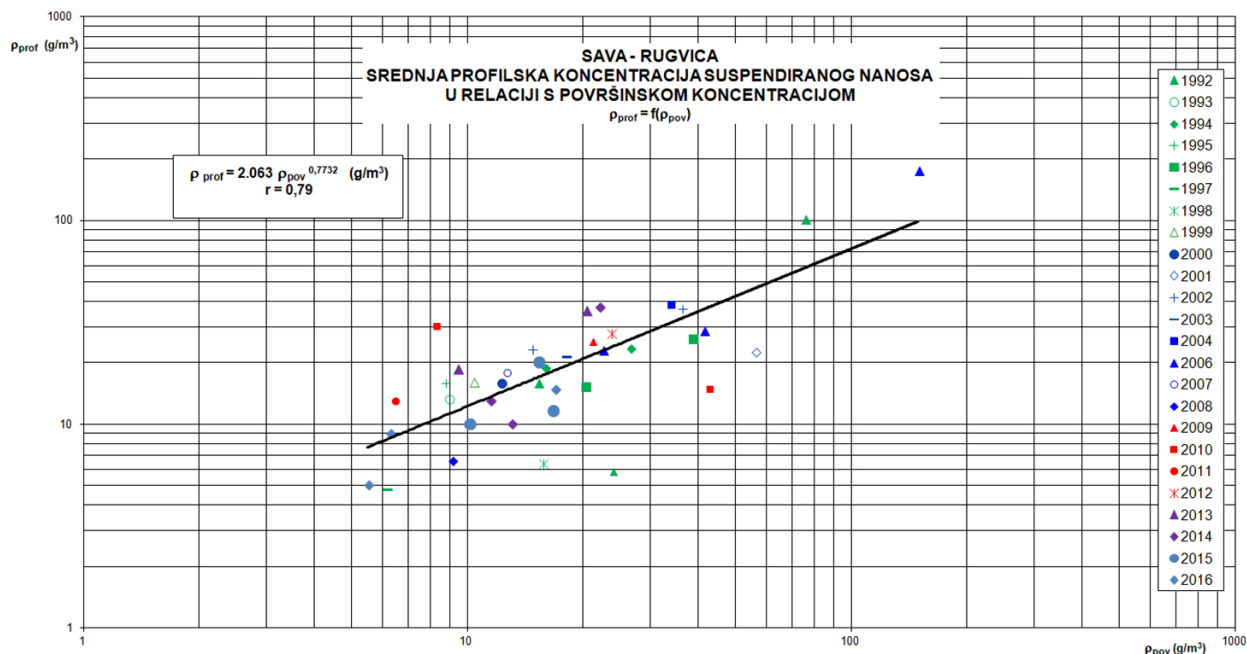


Slika 3.2-36: Definirani korelacijski odnos između srednje profilске i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Save u profilu Podsused

U svrhu istraživanja odnosa između srednje profilске koncentracije suspendiranog nanosa i površinske koncentracije nanosa iz jedne točke uz obalu, prilikom profilskog mjerenja

suspendiranog nanosa, uzima se i površinski uzorak nanosa također iz jedne točke uz obalu i u profilu Rugvica. Na osnovi svih parova vrijednosti u periodu od 1992.-2016. godine, izrađen je grafički prikaz korelacijske zavisnosti srednje profilske koncentracije suspendiranog nanosa i površinske koncentracije nanosa iz jedne točke uz obalu $\rho_{PROF} = f(\rho_{POV})$, a prikazan je na slici 3.2-37. Iz grafičkog prikaza je vidljivo da se dobiveni rezultati mjerenja iz 2016. godine uklapaju u definiranu korelaciju, $\rho_{PROF} = f(\rho_{POV})$ te definiraju anvelopu srednjih vrijednosti ρ_{PROF} u odnosu na ρ_{POV} . Regresijski odnos je relativno čvrsto definiran uz koeficijent korelacije $r=0,79$, a predočen je slijedećim analitičkim izrazom:

$$\rho_{PROF} = 2,063 \rho_{POV}^{0,7732} \text{ (g/m}^3\text{)}$$

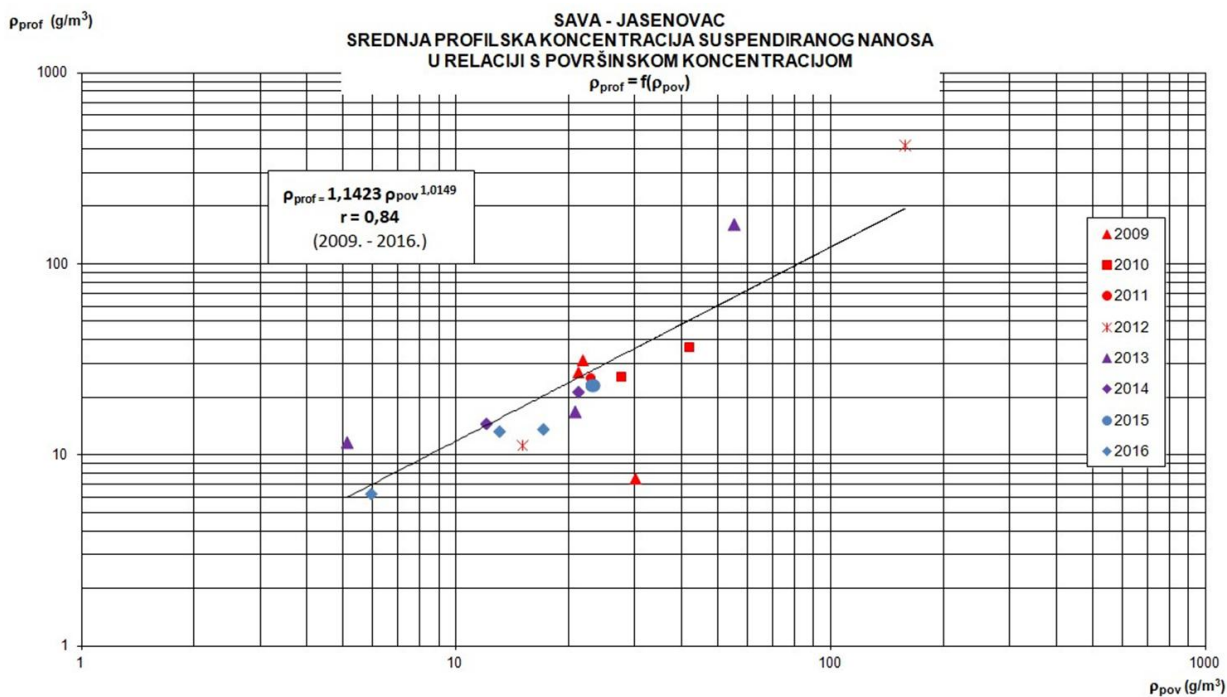


Slika 3.2-37: Definirani korelacijski odnos između srednje profilske i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Save u profilu Rugvica

S obzirom na uočene razlike spomenuta dva tipa mjerenja suspendiranog nanosa, za pouzdane regresijske odnose, uzimaju se rezultati pojedinih profilskih mjerenja na osnovi kojih se definiraju krivulje pronosa nanosa u funkciji određenog protoka za Podsused.

Općenito gledajući profilske vrijednosti koncentracija na ušću Une u Savu u Jasenovcu pokazuju prosječno 50% veću profilsku vrijednost u odnosu na koncentraciju nanosa uz lijevu obalu, gdje se uzima površinski obalni uzorak. Razlog tome je već prethodno spomenut i posljedica je hidrodinamičkih uvjeta na ušću, gdje vode Save i Une još nisu potpuno izmiješane. Rezultati iz 2016. godine, ukazuju pak na poprilično poklapanje između srednje profilske vrijednosti i obalnih površinskih uzoraka. Gore spomenute razlike vezane su inače na utjecaj Une u donošenju nanosa. Dakle, usprkos pojedinačnom odstupanju, rezultati mjerenja u periodu 2009.-2016. dobro se grupiraju te je uz koeficijent korelacije $r=0,84$, za $\rho_{PROF} = f(\rho_{POV})$, definiran korelacijski odnos koji je prikazan na grafičkom prikazu u slika 3.2-38 i predstavljen analitičkim izrazom:

$$\rho_{prof} = 1,1423 \rho_{pov}^{1,0149} \text{ (g/m}^3\text{)}$$



Slika 3.2-38: Definirani korelacijski odnos između srednje profilске i površinske koncentracije suspendiranog nanosa Save u profilu Jasenovac

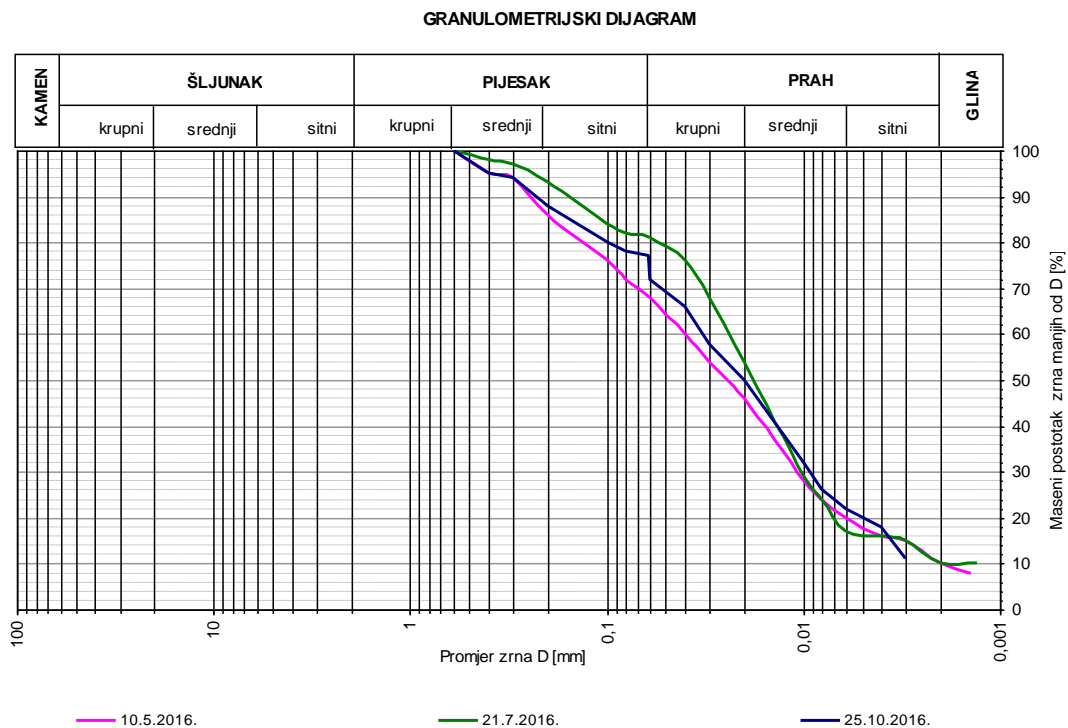
Iz prethodno navedenog razloga pri analizi ukupnog pronosa nanosa Sava + Una u Jasenovcu treba se uzeti u obzir korelacija definirana na bazi površinskih i profilskih koncentracija dana na slici 3.2-38.

Granulometrijski sastav suspendiranog nanosa

Kako bi se utvrdio sastav suspendiranih čestica, za vrijeme profilskih mjerenja uzima se integratorski uzorak od 200 l po cijelom protočnom profilu. Uzorak se dekantira i na osnovi proračuna brzine tonjenja u mirnoj vodi tj. hidrauličke krupnoća za pojedine frakcije, laboratorijski se određuje granulometrijski sastav suspendiranog nanosa. Na slikama 3.2-39 do 3.2-41 dani su rezultati analize iz 2016. godine za Podsused, Rugvicu i Jasenovac, preuzeti iz literature (36).

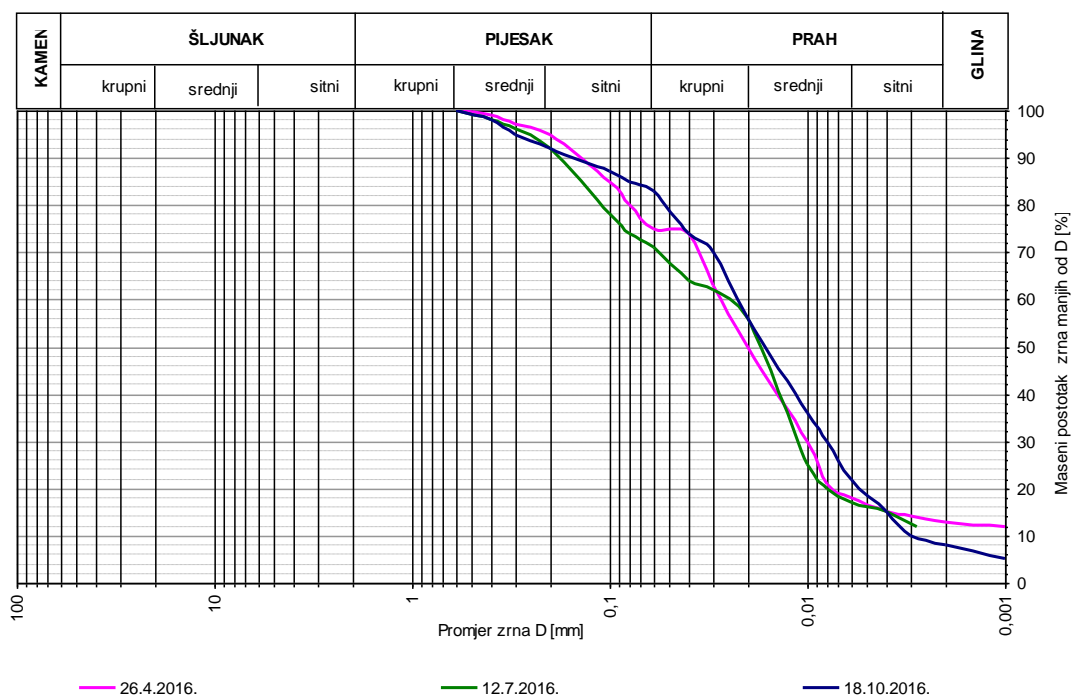
Iz grafičkih prikaza granulometrijskih krivulja suspendiranog nanosa (slika 3.2-39 i 3.2-40), vidljiva su odstupanja između Podsuseda i Rugvice. Režim toka kao i sastav dna se značajno razlikuje između ove dvije lokacije, što potvrđuju srednje profilske brzine toka kao i granulometrijske krivulje nanosa sa dna. Tako srednji promjer čestica suspendiranog nanosa u Podsusedu varira od $d_{sr} = 0,0557$ mm do $d_{sr} = 0,0795$ mm. U Rugvici pak on varira od $d_{sr} = 0,0508$ mm do $d_{sr} = 0,0625$ mm. Korito Save kod Podsuseda isprano je od finih frakcija te dno formiraju samo krupne frakcije šljunka i kamena. Fine frakcije tranzitnog nanosa odlažu se samo na obalama nakon povlačenja velikih voda, a u slučajevima nailaska novog vodenog vala iste se podižu i pronose se nizvodno sve do Rugvice. Također treba reći da povećani udio finih frakcija praha sa primjesama gline vrlo vjerojatno potječe iz Krapine, čije je korito zemljano, a obale pod utjecajem snažne erozije na samom ušću u Savu, uzvodno od mosta u Podsusedu.

Kod Rugvice je situacija ovisna o trenutnom režimu toka jer u pronosu suspendiranog nanosa sudjeluju i fine frakcije koritoformirajućeg nanosa koji se, zbog male brzine taloži, a pri određenim hidrodinamičkim uvjetima podiže sa dna te doprinosi većem zamućenju.



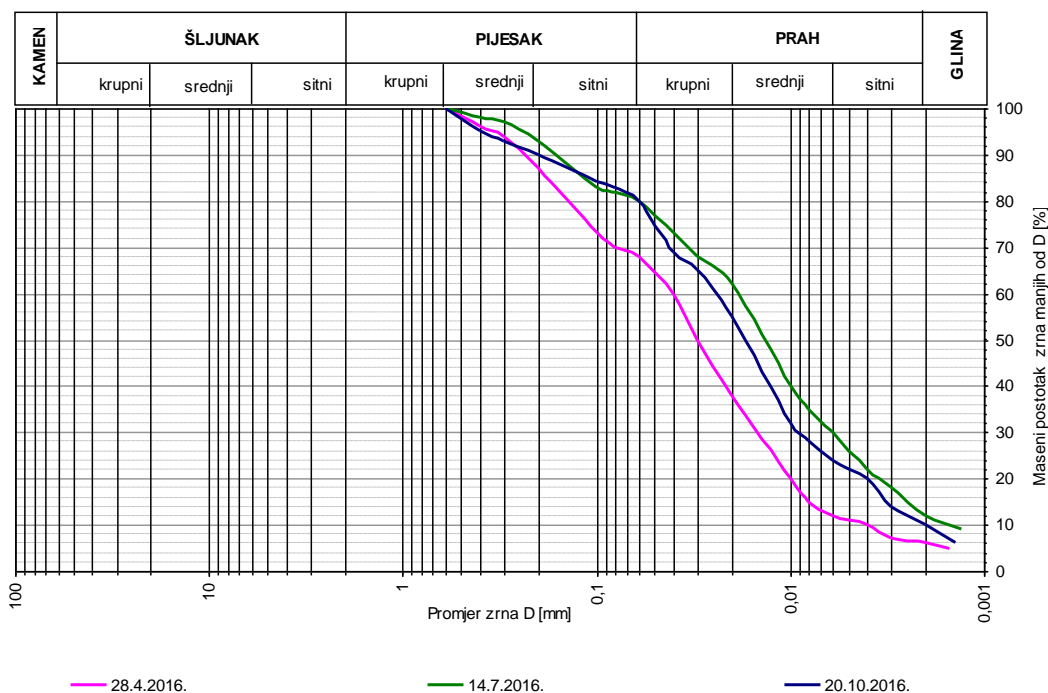
Slika 3.2-39: Granulometrijske krivulje suspendiranog nanosa u Podsusedu

GRANULOMETRIJSKI DIJAGRAM



Slika 3.2-40: Granulometrijske krivulje suspendiranog nanosa u Rugvici

U Jasenovcu su u 2016. godini uzorci također uzimani u tri navrata (slika 3.2-41), pri različitim hidrološkim uvjetima, te su sve tri granulometrijske krivulje dane na slici u nastavku. U slučaju prvog uzorka na dan 28.04.2016. suspendirani nanos bio je sastavljen od 60% praha pomiješanog sa 34% pijeska i samo 6 % gline. Srednji promjer čestica iznosio je $d_{sr}=0,0833$ mm. Drugi uzorak uzet dana 14.07.2016. sastavljen je od 67% praha i 20% pijeska uz 13 % gline. Taj uzorak imao je najmanji srednji promjer čestica i iznosio je $d_{sr}=0,0510$ mm. Mjerenje od 20.10.2016. pokazuje sastav suspendiranog nanosa u kojem je 70% praha, 20% pijeska i 10 % gline uz $d_{sr}=0,0643$ mm. Granulometrijske krivulje potvrđuju činjenicu da se pri većim protocima fini muljeviti materijal sa dna pronosi u suspenziji u većim količinama nego li pri manjem protoku i nižim brzinama toka, kada pjeskovite frakcije dolaze do izražaja.

GRANULOMETRIJSKI DIJAGRAM


Slika 3.2-41: Granulometrijske krivulje suspendiranog nanosa u Jasenovcu

Granulometrijski sastav nanosa sa dna

Prema (literaturi 1-36) u razdoblju od 1980. do 2016. godine povremeno su uzimani i uzorci sa dna Save na tri profila Podsused, Rugvica i Jasenovac.

U nastavku se daju rezultati analize iz 2016. godine za profile Rugvicu i Jasenovac. Za profil Podsused zadnji podaci mjerenja su iz 1995. godine.

U 2016. godini uzorci sa dna uzimani su u jednoj seriji po 5 uzoraka na lokacijama hidroloških postaja Sava – Rugvica i Sava – Jasenovac, a rezultati ispitivanja dani su u obliku dijagrama na slikama 3.2-42 i 3.2-43. Nanos sa dna riječnog korita uziman je hvatačem ("grajferom") u 5 točaka na dnu (uz lijevu i desnu obalu, te 3 u sredini), tj. na različitim stacionažama duž poprečnog profila počevši s lijeve obale.

U Rugvici su uzorci sa dna uzeti u profilu vodokaza 18.10.2016. Uzeto je 5 uzoraka na različitim stacionažama duž poprečnog profila počevši s lijeve obale. Prema rezultatima granulometrijske analize (slika 3.2-42) na toj lokaciji riječno korito je u sredini sastavljeno od 99% šljunka, te ispod 1% pijeska i praha. Prema USCS-u radi se o slabo graduiranom šljunku (GP). Prema lijevoj obali ima 68-85% šljunka, 14-31% pijeska i ispod 1% praha (GP i GP s pijeskom). Na desnoj obali prevladava također šljunak, od 69-78 %, pijeska ima od 21-30 % te ispod 1 % praha. Prema USCS-u radi se o dobro graduiranom šljunku s pijeskom (GW s pijeskom).

Srednji promjeri zrna nanosa sa dna bili su u pojedinačnim uzorcima od minimalnog 6,90 mm do 15,05 mm, uz maksimalno izvađeno zrno nanosa dimenzija 85,4 x 38,8 x 35,3 mm.

U Jasenovcu su uzorci sa dna uzeti u profilu vodokaza 20.10.2016. Uzeto je 5 uzoraka na

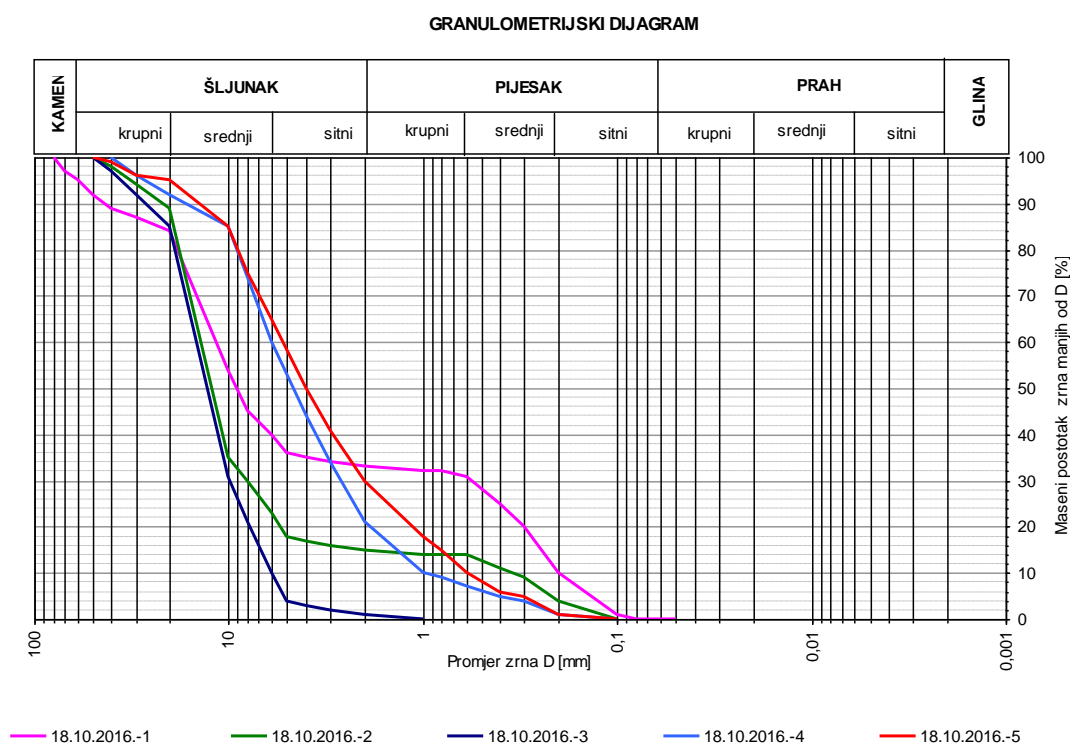
različitim stacionažama duž poprečnog profila počevši s lijeve obale. Na temelju istih dobiven je sastav nanosa sa dna. Prema rezultatima granulometrijske analize na toj lokaciji riječno korito sastavljeno je od pijeska pomiješanog sa prahom (SP i SC). Prema desnoj obali udio pijeska je manji, a pojavio se šljunak (GP sa pijeskom).

Srednji promjeri zrna nanosa sa dna bili su u pojedinačnim uzorcima od minimalnog 0,20 mm do 7,55 mm, uz maksimalno izvađeno zrno nanosa uz desnu obalu veličine 34 x 24 x 10,2 mm.

Iz granulometrijskog sastava nanosa u Rugvici vidi se povezanost između suspendiranog nanosa i onog koritoformirajućeg. Budući da brzina toka, posebice njena vertikalna komponenta snažno utječe na mehanizam pokretanja ili taloženja pojedinih frakcija čvrstih čestica sa dna, vidi se da je kod vodokaznog profila Rugvica došlo do značajnog taloženja pijeska, posebice na desnoj obali.

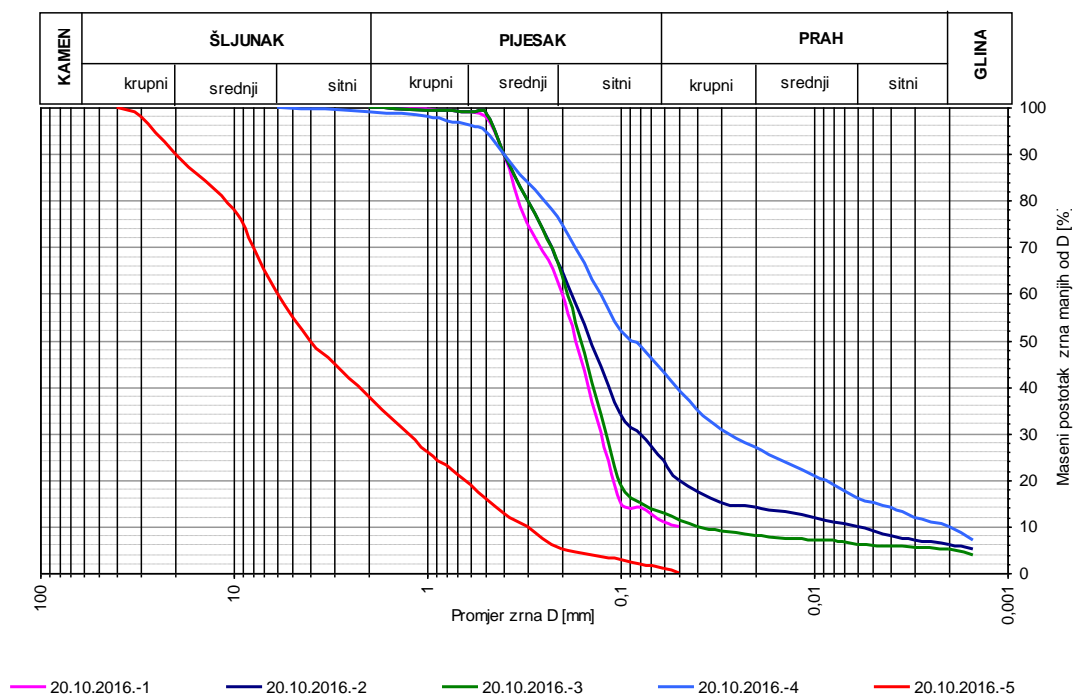
Morfološke promjene na toj dionici u nekoliko posljednjih godina su značajne jer se desna obala naočigled mijenja i obrasta u vegetaciju, a osnovni protjecajni profil se sužuje.

U Jasenovcu treba istaknuti utjecaj Une koja donosi veće količine pijeska i odlaže na ušću u Savu, što je i vidljivo iz sastava obala. Također, lokacija postrojenja za vađenje pijeska na Uni, uzvodno od vodomjernog profila potvrđuje tu činjenicu.



Slika 3.2-42: Granulometrijske krivulje nanosa sa dna u Rugvici

GRANULOMETRIJSKI DIJAGRAM



Slika 3.2-43: Granulometrijske krivulje nanosa sa dna u Jasenovcu

3.3 Analize podataka za bilancu nanosa na Dunavu

3.3.1 Morfološke promjene riječnog korita Dunava na lokacijama hidroloških stanica

U nastavku se daju analize promjena korita Dunava u profilu hidroloških stanica na temelju raspoloživih podataka o izmjerenim poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dunavu i zabilježenim promjenama u Q-H krivuljama koje se na analiziranim stanicama definiraju tek posljednjih 10-tak godina.

Podaci i analize dane u nastavku ne mogu se koristiti za donošenje zaključaka o globalnim promjenama riječnog korita, zbog relativno kratkog razdoblja raspoloživih mjerenja, a i na njima se često mogu uočiti lokalne erozije ili zasipavanja koja nastaju uslijed blizine nekih vodnih građevina ili uslijed prolaza velikih voda prije hidrografskih snimanja, pa u nastavku dane procjene treba smatrati orijentacijskim.

U *Prilogu poglavlju 2.3.2-2* dan je grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka, koje je DHMZ definirao i koristio za proračun satnih, odnosno dnevnih protoka na razmatranim profilima na Dunavu, kao i na slikama u nastavku.

Provedena je i sistematizacija i analiza snimki poprečnih presjeka na lokaciji stanica, koje su u HIS-u raspoložive samo za novije razdoblje u 2010. i 2014/2015. godini. U *Prilogu poglavlju 2.3.2-3* tablično i grafički dani su prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dunavu i na slikama u nastavku.

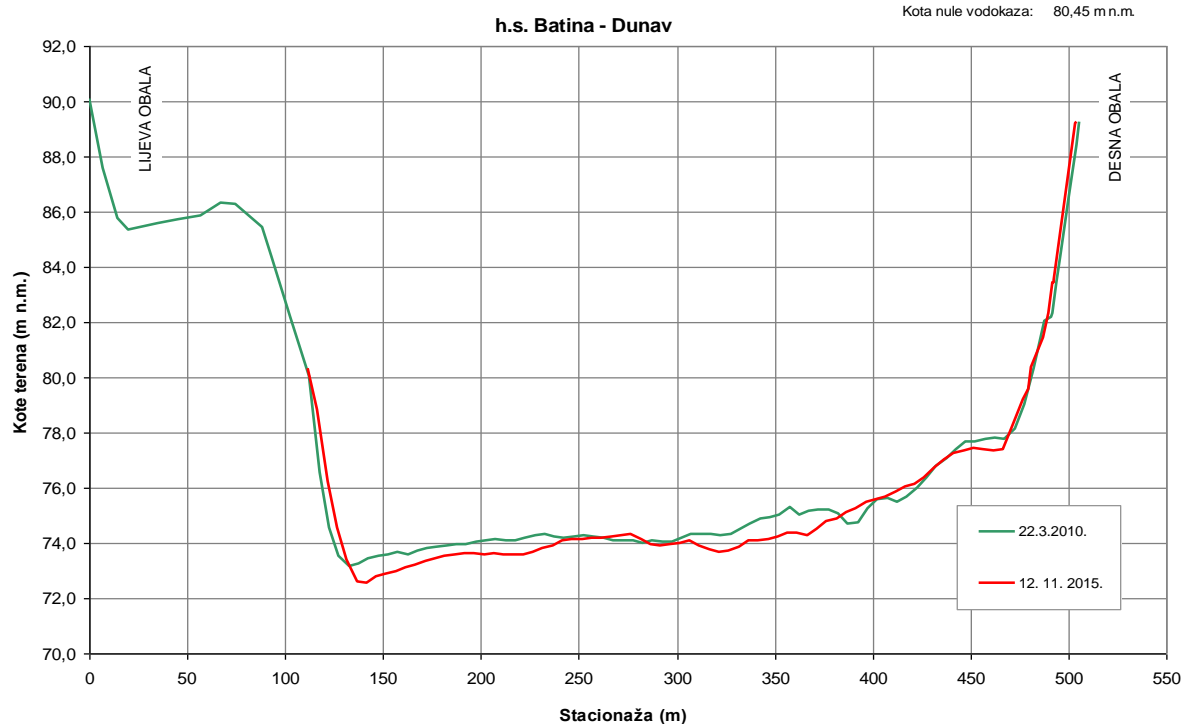
U nastavku na slici 3.3-1 dane su snimke poprečnog presjeka korita Dunava na lokaciji hidrološke stanice Batina raspoložive samo za 2010. i 2015. godinu. Na osnovi prikazanih snimki poprečnih presjeka može se reći da je u području malih i srednjih voda vidljivo produbljenje korita u navedenom razdoblju za oko 0,5 m (slika 3.3-1).

Profil h. s. Batina karakterizira veći broj krivulja protoka definiranih u razdoblju od 2006. do 2017. godine (slika 3.3-2). U području malih i srednjih voda vidljivo je kontinuirano sniženje krivulja protoka, odnosno pomicanje krivulja protoka u desno, što potvrđuje prisutnost procesa sniženje dna na lokaciji hidrološke stanice, a koja je vidljiva i na prethodno prikazanim snimkama poprečnog presjeka.

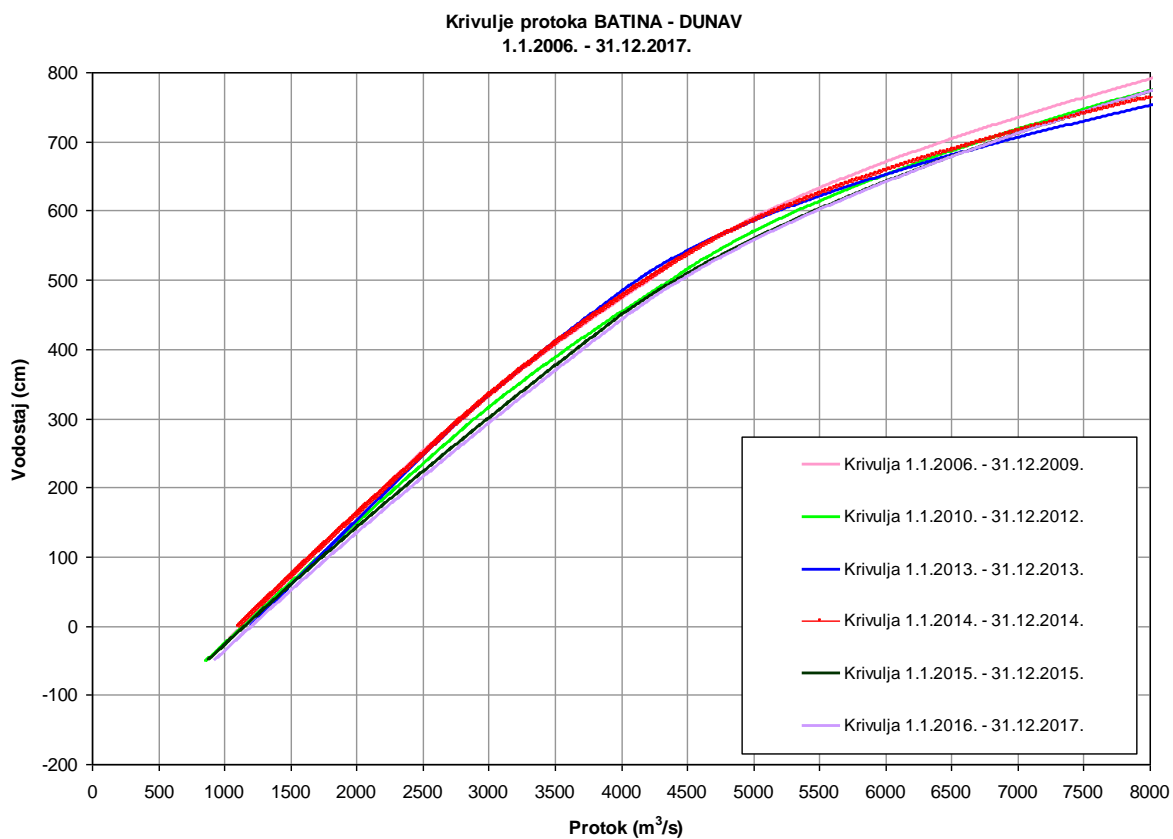
Iako manje izražene nego na uzvodnom profilu, promjene korita Dunava i u profilu Aljmaš praćene su odgovarajućim promjenama konsumpcijskih odnosa. Iz prikaza danih u nastavku (slika 3.3-4) također se uočava pomicanje krivulja protoka u desno.

Prisutno sniženje vodostaja u profilu Aljmaš, odnosno produbljenje korita od 2006. godine prosječno za oko 20-tak cm potvrđuju i raspoložive snimke poprečnog presjeka korita iz tog razdoblja (slika 3.3-3).

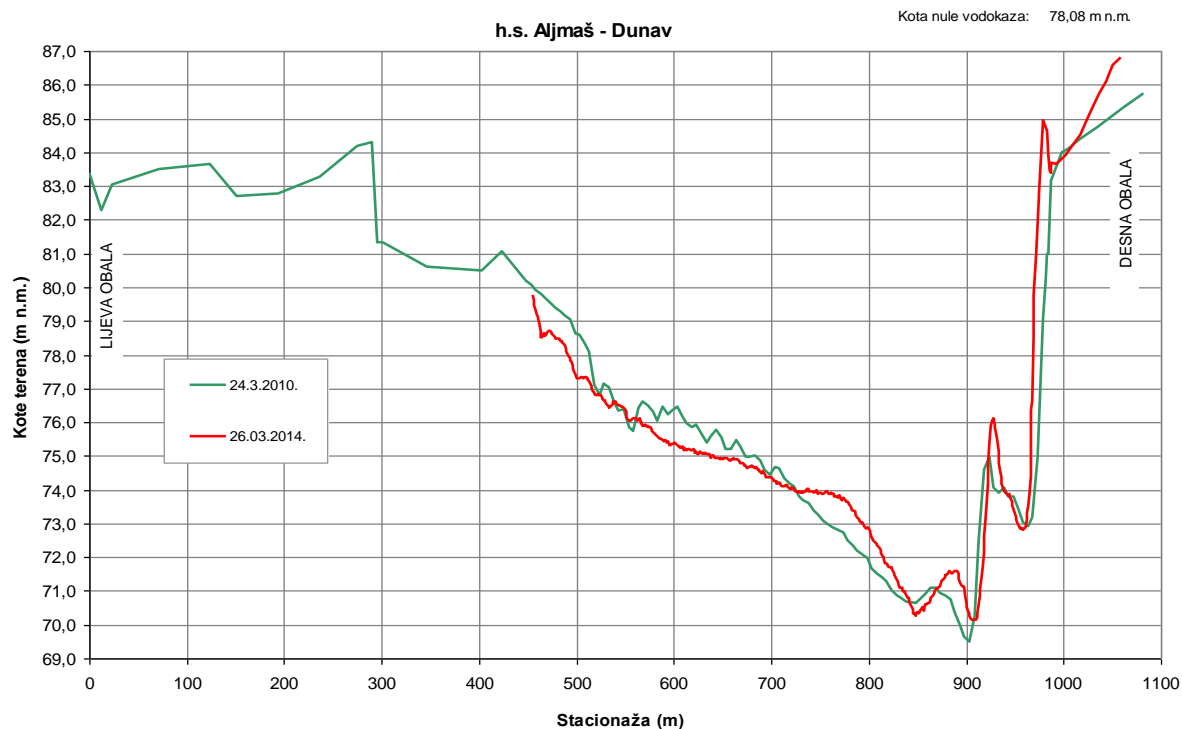
I na ostalim profilima Dalj, Vukovar i Ilok prisutno je produbljenje korita rijeke Dunav od 2006. godine, odnosno sniženje vodostaja prosječno za oko 20-tak do 30 cm što potvrđuju i raspoložive snimke poprečnog presjeka korita iz razdoblja 2010. do 2015. godine dane na slikama u nastavku.



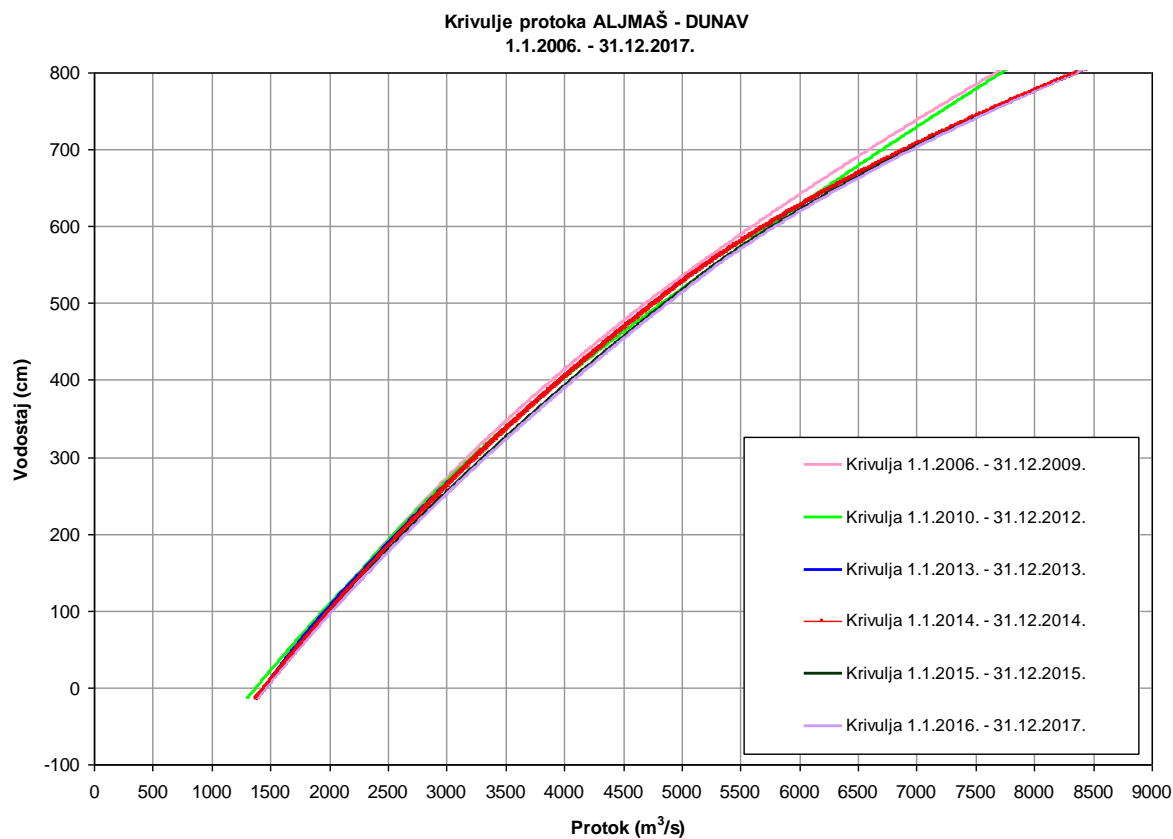
Slika 3.3-1: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Batina za 2010. i 2015. godinu



Slika 3.3-2: Protočne krivulje za h. s. Batina u razdoblju 2006.-2017. godine



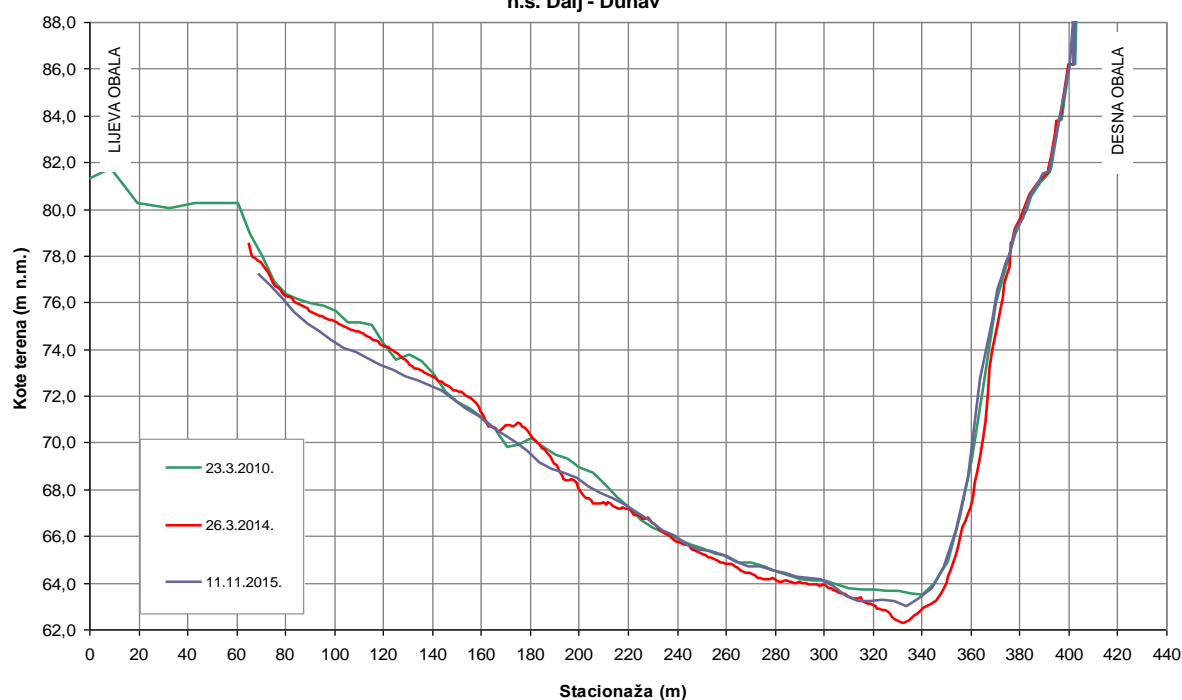
Slika 3.3-3: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Aljmaš za 2010. i 2014. godinu



Slika 3.3-4: Protočne krivulje za h. s. Aljmaš u razdoblju 2006.-2017. godine

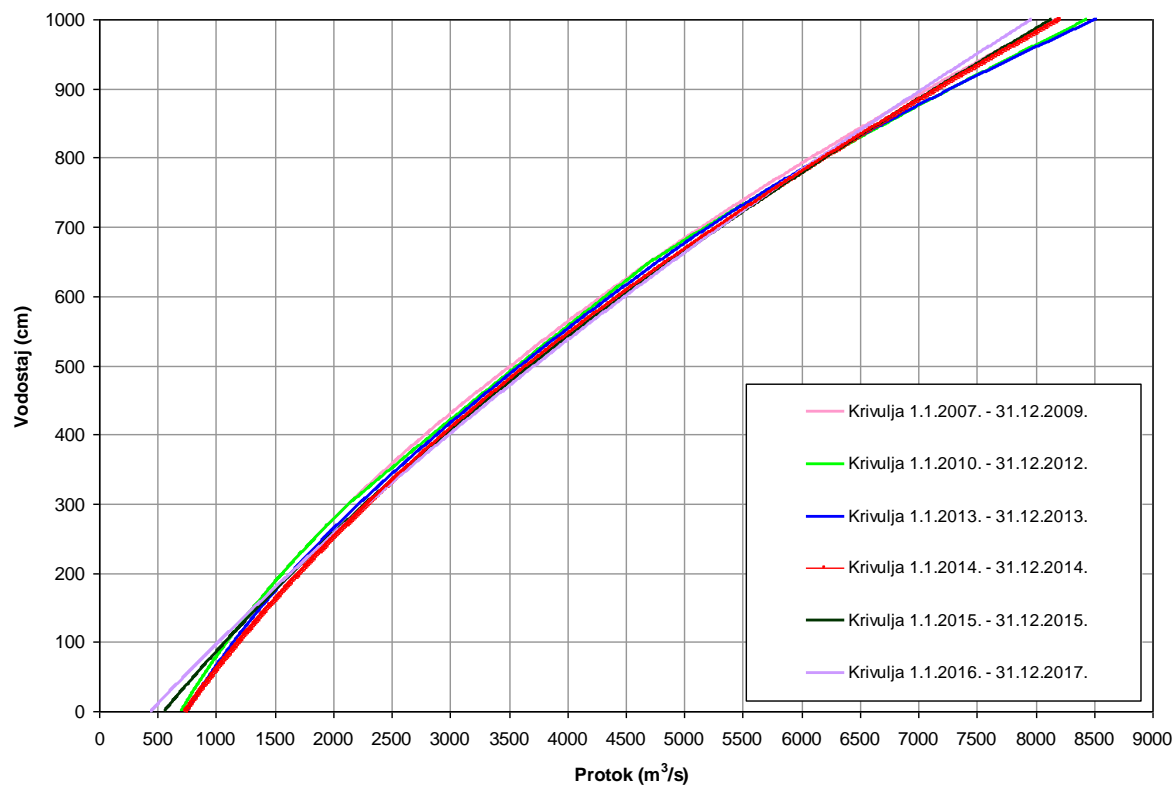
h.s. Dalj - Dunav

Kota nule vodokaza: 75,204 m n.m.



Slika 3.3-5: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Dalj za razdoblje 2010. do 2015. godine

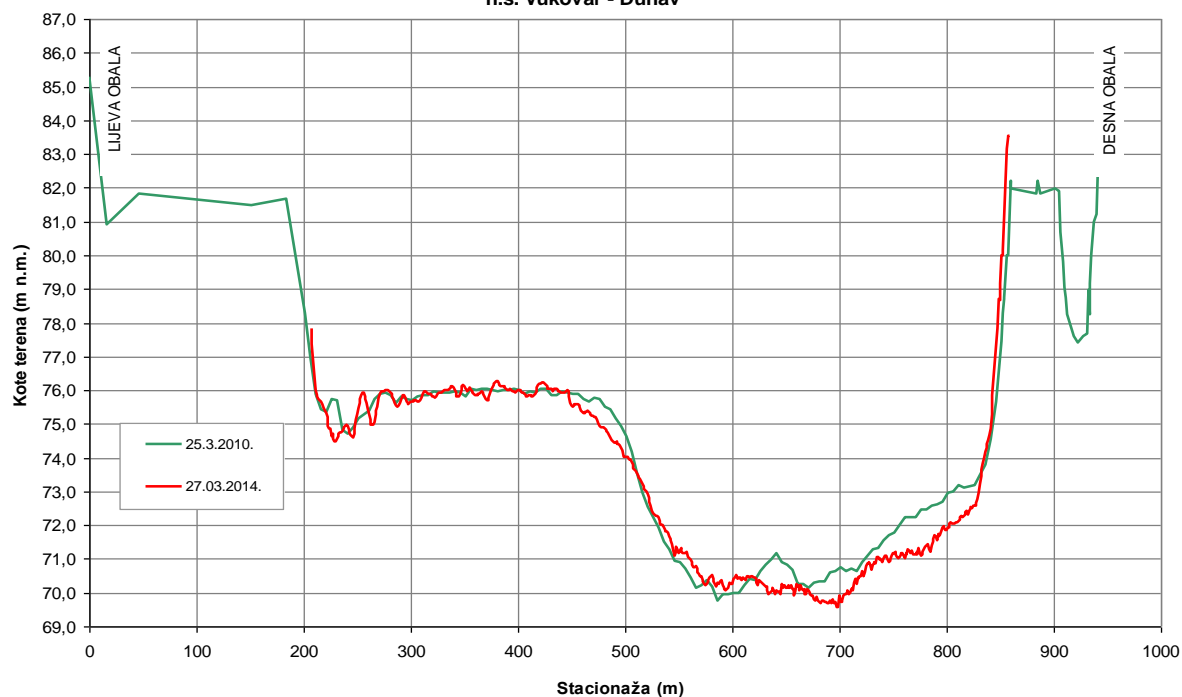
**Krivulje protoka DALJ - DUNAV
1.1.2007. - 31.12.2017.**



Slika 3.3-6: Protočne krivulje za h. s. Dalj u razdoblju 2007.-2017. godine

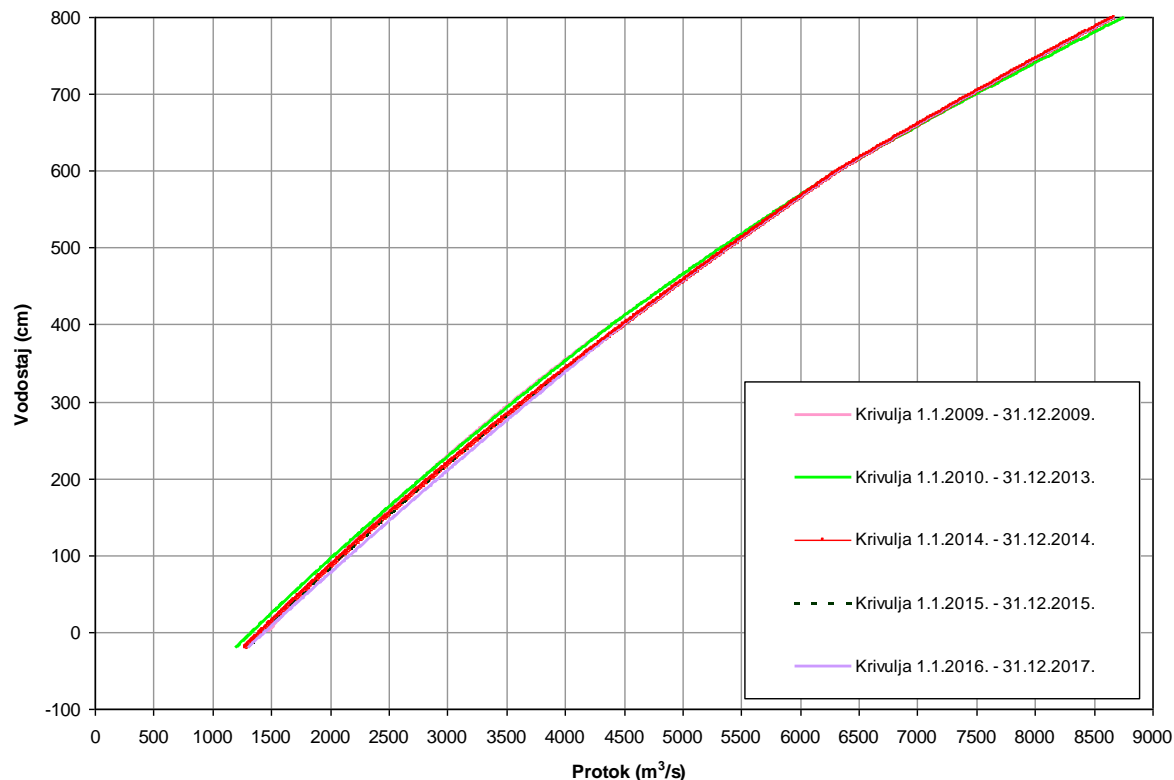
h.s. Vukovar - Dunav

Kota nule vodokaza: 76,19 m n.n.

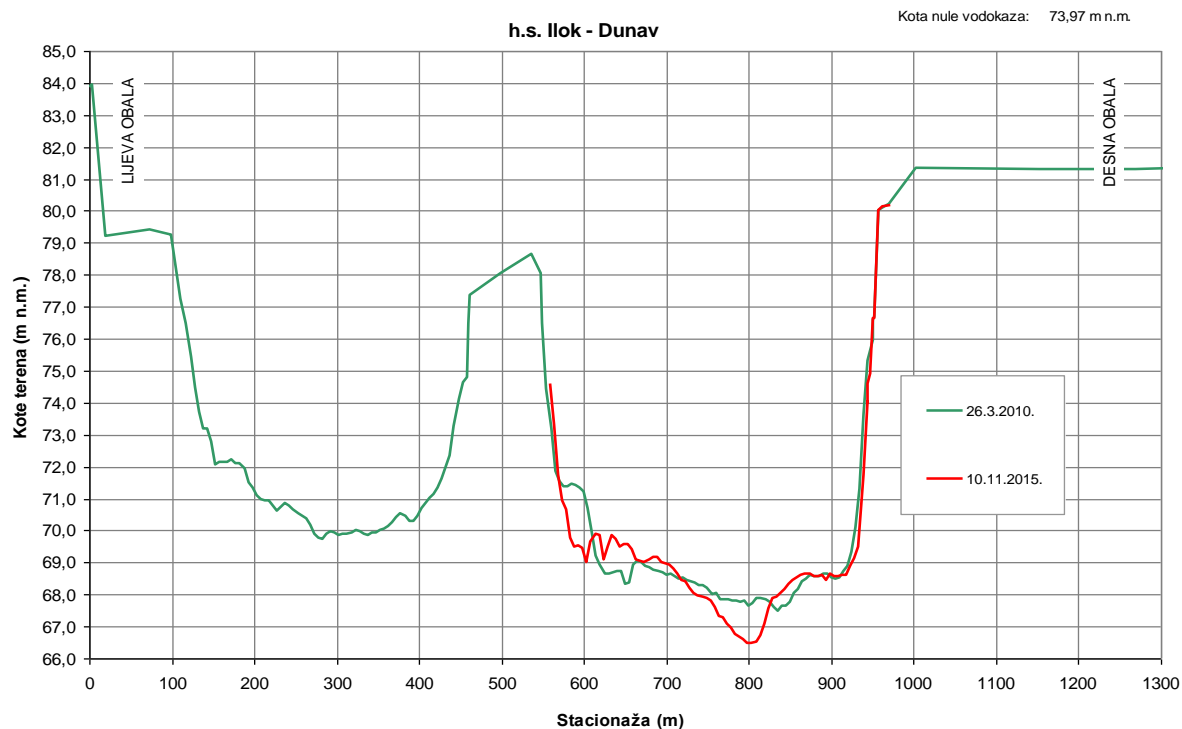


Slika 3.3-7: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Vukovar za 2010. i 2014.

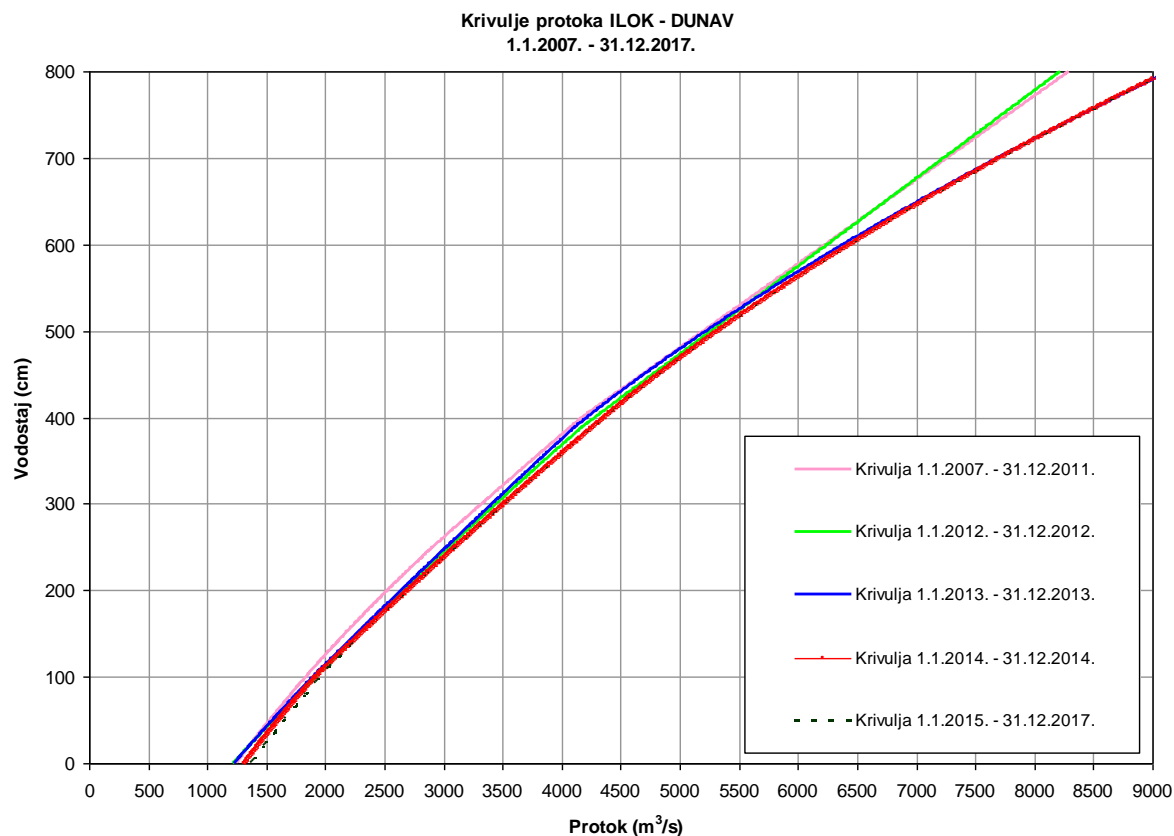
Krivulje protoka VUKOVAR - DUNAV
1.1.2009. - 31.12.2017.



Slika 3.3-8: Protočne krivulje za h. s. Vukovar u razdoblju 2009.-2017. godine



Slika 3.3-9: Poprečni presjeci korita na lokaciji h. s. Ilok za razdoblje 2010. do 2015. godine



Slika 3.3-10: Protočne krivulje za h. s. Ilok u razdoblju 2007.-2017. godine

Prethodno prikazane krivulje protoka temeljem raspoloživih podataka od 2006. do 2016. godine pokazuju da je i korito Dunava podložno promjenama. Promjene korita Dunava u razmatranim profilima praćene su odgovarajućim promjenama konsumpcijskih odnosa. Iz navedenih prikaza uočava se kontinuirano pomicanje krivulja protoka u desno u svim analiziranim profilima. Prisutno sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita, potvrđuju i raspoložive snimke poprečnog presjeka korita u razdoblju 2010. do 2015. godine.

U razmatranom razdoblju od 2006. godine u području malih voda na lokacijama hidroloških stanica sniženje korita Dunava se kreće oko 20-tak cm, odnosno oko 30-tak cm prosječno u području srednjih voda do najviše 50 cm (na h. s. Batina).

3.3.2 Analiza nizova minimalnih i srednjih godišnjih vodostaja i protoka na hidrološkim stanicama na Dunavu

U sklopu ovog projekta provedena je sistematizacija i analiza raspoloživih dnevnih podataka vodostaja i protoka s navedenih hidroloških stanica na Dunavu, u raspoloživom razdoblju, preuzetih iz Baze hidroloških podataka hidrološkog informacijskog sustava HIS2000 DHMZ-a RH. S obzirom da na Dunavu u Hrvatskoj nema motrenja nanosa na hidrološkim stanicama sve obrade u ovom poglavlju temeljit će se na podacima o srednjim i minimalnim vodostajima i zabilježenim trendovima, kao i zabilježenim promjenama u Q-H krivuljama koje se na svim stanicama definiraju tek posljednjih 10-tak godina (analize dane u prethodnom poglavlju). Pokazatelj kvantitativnih promjena u režimu površinskih voda svakako su promjene u veličini vodostaja i protoka u razdoblju obrade, te rezultati analize trenda u nizovima karakterističnih godišnjih vodostaja i protoka. Hidrološki podaci i podloge i rezultati obrada prikazani u prethodnim poglavljima ukazuju na procese snižavanja dna korita Dunava.

Pregled raspoloživih karakterističnih godišnjih vodostaja u razdoblju 1920-2016. godina na svim hidrološkim stanicama dan je u tablici 3.3-1. Ukoliko je u razmatranom razdoblju bilo dužih prekida u mjerenju ili promjene kote „0“ u tablici karakteristični vodostaji su izdvojeni po analiziranim razdobljima s obzirom na navedene promjene. U tablici 3.3-2 dan je prikaz karakterističnih godišnjih protoka zadnjih desetak godina. U *Prilogu poglavlju 2.3.2-1* tablično su prikazani karakteristični mjesečni i godišnji vodostaji i odgovarajući protoci Dunava (s pripadajućom osnovnom statističkom obradom) za razmatrane mjerodavne hidrološke stanice za raspoloživo razdoblje obrade. Uz tablični iskaz, dan je i grafički prikaz hoda maksimalnih, minimalnih i srednjih mjesečnih i godišnjih vodostaja i protoka. Vodostaji su osim u relativnim visinama (cm), iskazani i u apsolutnima prema kotama nule danim u tablicama po evidenciji DHMZ-a koje se odnose na „stari“ sustav mjerenja (prema Trstu).

Tablica 3.3-1: Pregled karakterističnih godišnjih vodostaja Dunava na analiziranim hidrološkim postajama

Hidrološke stanice	Kota nule (m n.m.)	Razdoblje obrade	VODOSTAJ (cm)								
			maksimalni			minimalni			srednji		
			sr	max	min	sr	max	min	sr	max	min
Batina	80,45	2001-2016	585	774	428	2	54	-70	204	291	121
Aljmaš	78,08	1923-1944	616	774	432	103	240	23	340	452	196
	78,08	1949-1990	571	958	368	60	176	-68	277	427	163
	78,08	1998-2016	606	815	416	36	104	-44	243	317	144
Dalj	75,204	1985-1990	652	834	452	212	238	182	414	491	340
	75,204	1999-2016	754	948	564	215	278	120	410	480	315
Vukovar	76,19	1923-1938	508	676	352	59	174	-90	282	384	207
	76,17	1939-1955	545	678	364	24	124	-68	256	387	172
	76,188	1956-1967	532	768	424	30	114	-31	265	379	191
	76,188	1968-2016	501	723	328	31	114	-48	219	347	126
Ilok	73,96	1920-1946	534	704	340	56	202	-40	293	405	187
	73,968	1947-2016	526	780	348	65	148	-27	258	400	164

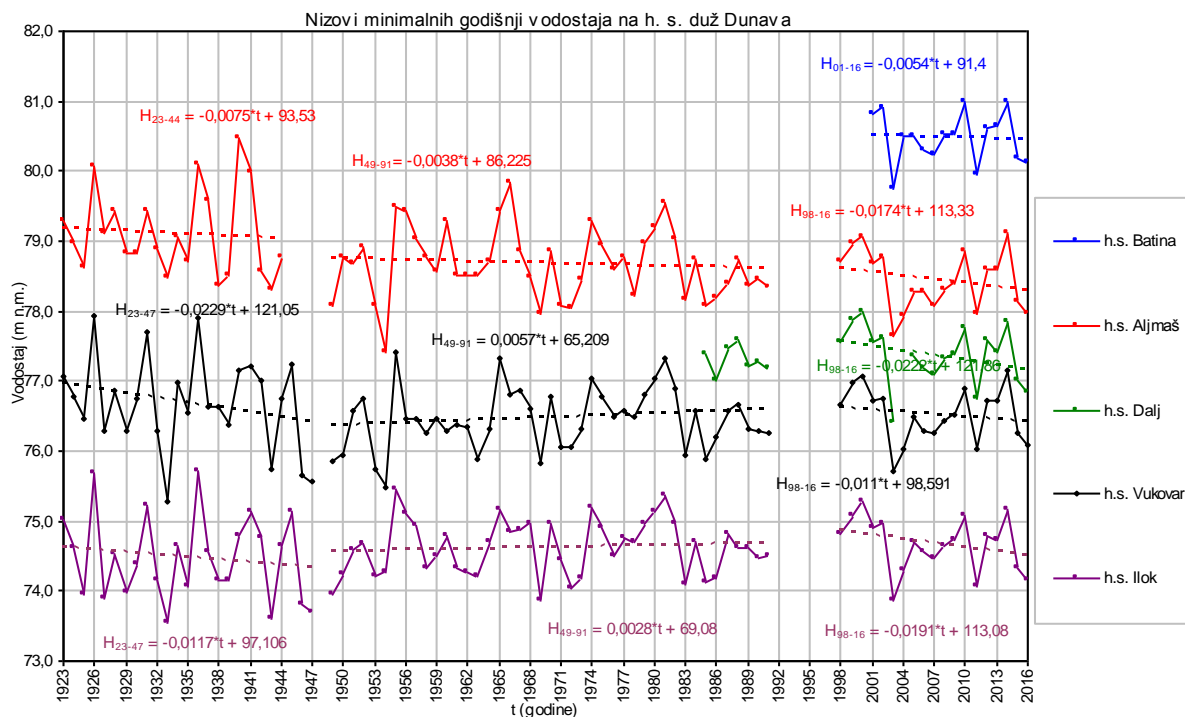
Tablica 3.3-2: Pregled karakterističnih godišnjih protoka Dunava na analiziranim hidrološkim postajama u razdoblju 2006.-2016. godina

Hidrološke stanice	Razdoblje obrade	PROTOK (m ³ /s)								
		maksimalni			minimalni			srednji		
		sr	max	min	sr	max	min	sr	max	min
Batina	2006-2016	5497	8535	3665	1158	1450	863	2350	2863	1980
Aljmaš	2006-2016	5930	8597	4020	1579	2033	1317	2891	3471	2440
Dalj	2007-2016	5589	7859	4013	1661	2088	1350	2896	3476	2443
Vukovar	2009-2016	5834	7789	4284	1638	2079	1222	3005	3482	2473
Ilok	2007-2016	5664	8027	4094	1670	2068	1294	2980	3548	2501

U nastavku je dan grafički prikaz hoda minimalnih i srednjih godišnjih vodostaja i protoka Dunava na razmatranim hidrološkim stanicama. Vodostaji su iskazani u apsolutnim vrijednostima prema kotama nule danim u prethodnoj tablici po evidenciji DHMZ-a koje se odnose na „stari“ sustav mjerenja (prema Trstu). Zbog prekida u mjerenjima vodostaja na grafičkim prikazima (slika 3.3-11 i 3.3-12) trend je iskazan za izdvojena cjelovita razdoblja obrada. Trend protoka iskazan je za zadnjih desetak godina, od kada se mjeri protok na hidrološkim stanicama.

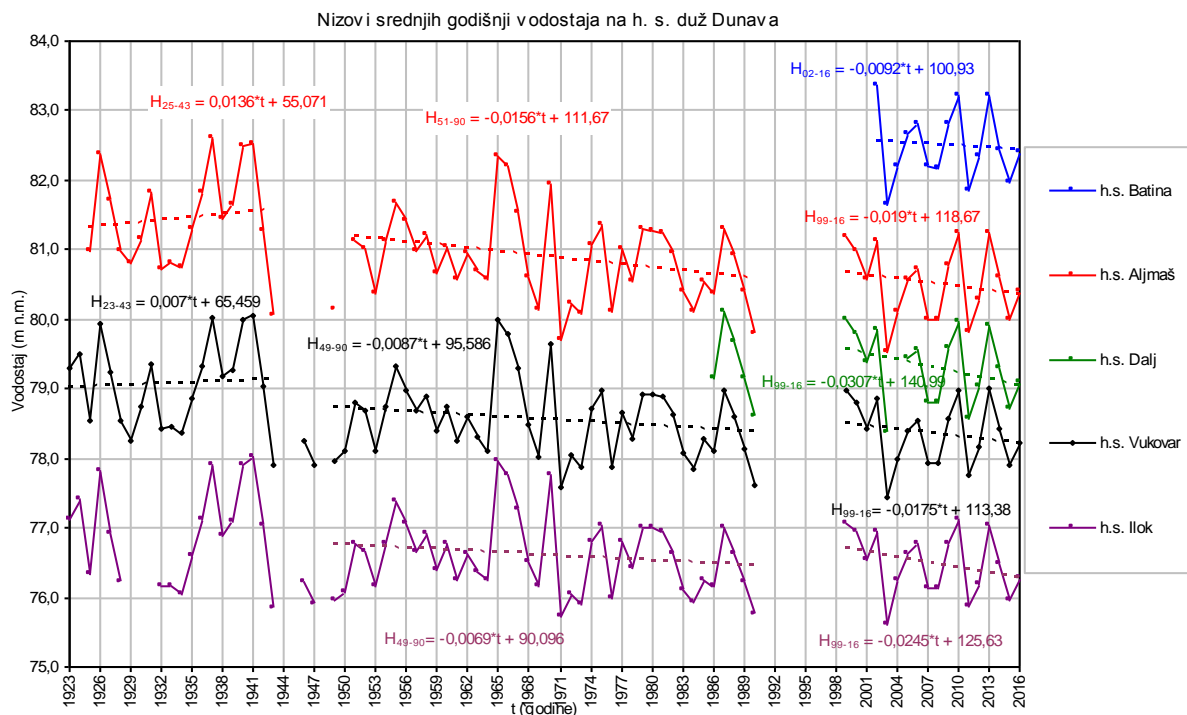
Općenito, sa slika 3.3-11 i 3.3-12 uočava se trend sniženja minimalnih i srednjih godišnjih vodostaja Dunava na hidrološkim stanicama u ukupnom analiziranom razdoblju 1923-2016. godina.

Analiziraju li se kraća razdoblja, npr. unutar razdoblja 1949-1991. godina u profilu Ilok i Vukovar je prisutan i trend porasta minimalnih godišnjih vodostaja (slika 3.3-11), a u razdoblju 1923. do 1943. godine trend porasta srednjih godišnjih vodostaja u profilu Aljmaš i Vukovar (slika 3.3-12).



Slika 3.3-11: Nizovi minimalnih godišnjih vodostaja na hidrološkim stanicama duž rijeke

Dunav



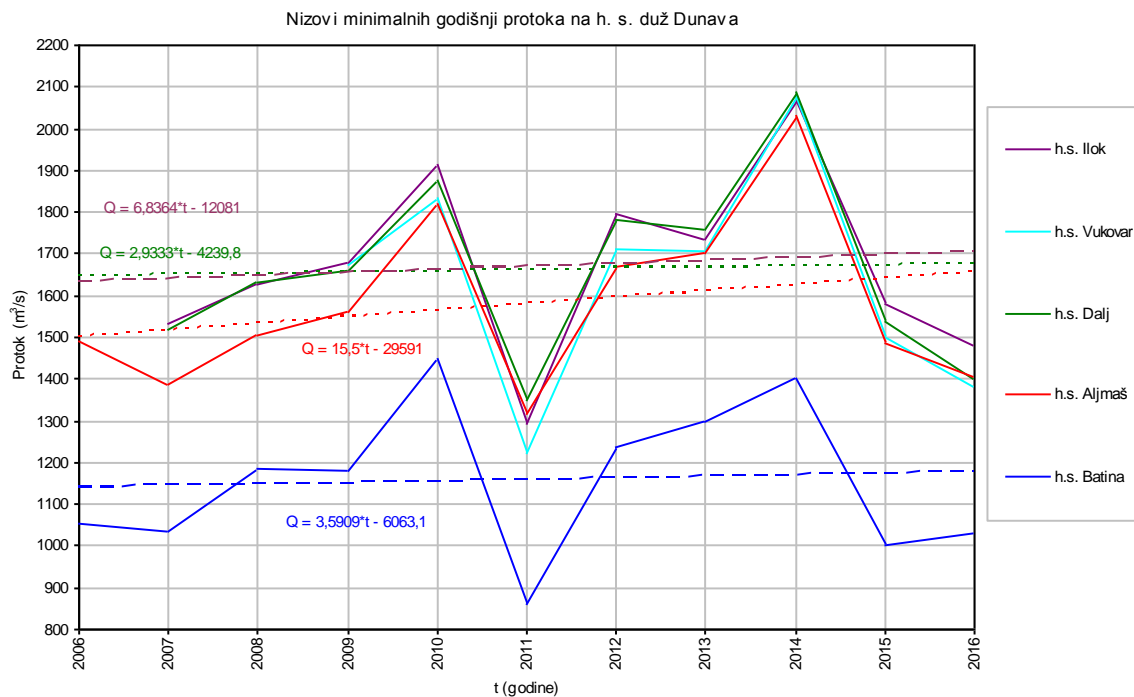
Slika 3.3-12: Nizovi srednjih godišnjih vodostaja na hidrološkim stanicama duž rijeke Dunav

Iz danog prikaza nizova srednjih godišnjih vodostaja na svim hidrološkim stanicama na Dunavu (slika 3.3-12) vidljiv je trend njihova sniženja od početka 50-tih godina, koji je nastavljen i do kraja 2016. godine.

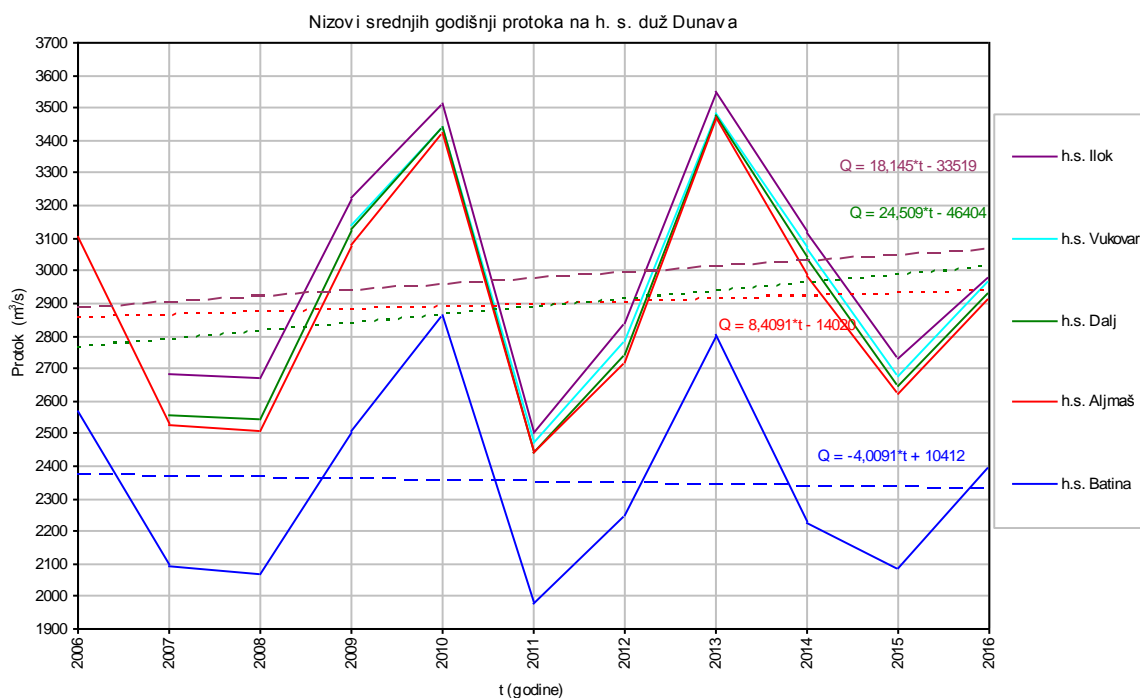
Na slikama u nastavku dan je grafički prikaz hoda minimalnih i srednjih godišnjih protoka s iskazanim trendom za zadnjih desetak godina, od kada se mjeri protok Dunava na razmatranim hidrološkim stanicama.

Linije trenda minimalnih i srednjih godišnjih protoka pokazuju da protok ima blagu tendenciju porasta nakon 2006. godine, što nije slučaj i s vodostajima na ovim stanicama u istom razdoblju.

Ovdje svakako treba napomenuti na utjecaj razdoblja obrade na veličinu i predznak trenda u analiziranim nizovima podataka, što je i razlog više za korištenje rezultata samo kao približnih pokazatelja očekivanih promjena u režimu vodostaja i protoka. Naime, što su razdoblja kraća, izrazitiji je i veći utjecaj vodnosti razdoblja, ali i promijenjenih uvjeta tečenja.



Slika 3.3-13: Nizovi minimalnih godišnjih protoka na hidrološkim stanicama duž rijeke Dunav



Slika 3.3-14: Nizovi srednjih godišnjih protoka na hidrološkim stanicama duž rijeke Dunav

3.3.3 Raspoloživi podaci o mjerenju nanosa

Na rijeci Dunav ne provode se sustavna mjerenja nanosa.

Za potrebe ovog projekta raspoloživ je samo jedan izvještaj od DHMZ-a *Mjerenje suspendiranog nanosa na Dunavu kod Dalja u 1984/85. godini*. Elaborat je izrađen u sklopu kompleksnih istražnih radova na iznalaženju najpovoljnije lokacije za gradnju NE Slavonija na Dunavu kod Dalja, i daje preliminarne osnovne karakteristike o režimu suspendiranog nanosa kao i nekim karakteristikama nanosa s dna, uz iznošenje metodologije mjerenja. Dane su samo orijentacijske veličine u pogledu nanosa na mjernom profilu.

3.4 Ocjena bilance nanosa za Dunav, Dravu i Savu

3.4.1 Metode i pristupi konačne ocjene glavnih komponenti bilance nanosa

U prethodnim poglavljima provedene su analize o promjenama korita Dunava, Drave i Save u profilu hidroloških stanica na temelju raspoloživih podataka o izmjeranim poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica i promjenama Q-H krivulja u profilu stanice. Dane procjene treba smatrati orijentacijskim, budući su mjereni podaci pod utjecajem lokalne erozije ili zasipavanja korita nanosom koja nastaju uslijed blizine nekih vodnih građevina ili uslijed prolaza velikih voda prije hidrografskih snimanja.

Pokazatelj kvantitativnih promjena u režimu površinskih voda svakako su promjene u veličini vodostaja i protoka u razdoblju obrade, te rezultati analize trenda u nizovima karakterističnih godišnjih vodostaja i protoka Save, Drave i Dunava. Promjene se prije svega odražavaju na procese otjecanja kod malih voda, pa se i prethodno provedene obrade odnose na nizove minimalnih godišnjih vodostaja i protoka.

Promjene u koritu predmetnih vodotoka izazvane brojnim regulacijskim radovima u prošlosti, sve intenzivnija eksploatacija šljunka i pijeska iz korita i inundacijskog područja, a prvenstveno izgradnja i rad hidroenergetskih objekata na slivu značajno utječu na režim nanosa. Za razliku od opažanja vodostaja, koja na hidrološkim postajama provodi gotovo dva stoljeća, nanos je na Dravi i Savi DHMZ započeo mjeriti tek šezdesetih godina prošlog stoljeća, dok se na Dunavu takva mjerenja ne provode.

Svakodnevna uzorkovanja riječne vode s površine radi određivanja koncentracije i kasnijeg izračunavanja pronosa suspendiranog nanosa započela su na Dravi i Savi šezdesetih godina prošlog stoljeća. Sva spomenuta mjerenja vrši DHMZ i njihove rezultate (dnevne koncentracije i pronose suspendiranog nanosa) redovito objavljuje u Bazi hidroloških podataka – HIS 2000.

Podaci su za potrebe ovog projekta sistematizirani i obrađeni, a tablični i grafički prikaz karakterističnih mjesečnih i ukupnih mjesečnih i godišnjih pronosa suspendiranog nanosa na Dravi i Savi u Hrvatskoj, kao i mjesečne i godišnje koncentracije suspendiranog nanosa dobivene na osnovi svakodnevnih uzorkovanja, dan je u *Prilogu poglavlju 2.1 i 2.2.*

U prethodnim poglavljima osim provedenih analiza, temeljem dnevnih vrijednosti koncentracije na osnovi površinskih uzoraka iz jedne točke pri površini, kao i analiza dnevnih, mjesečnih i godišnjih pronosa suspendiranog nanosa, pomoću kojih su na osnovi promjena u povijesnim nizovima dnevnih podataka definirani trendovi za pojedine hidrološke parametre, također su analizirani i rezultati mjerenja srednjih profilskih koncentracija suspendiranog nanosa i trenutnog pronosa koja se u mjernim profilima na Dravi i Savi vrše najviše šest puta godišnje.

Općenito, promjene režima pronosa nanosa, koje se očituju u smanjenju pronosa suspendiranog nanosa vezane su uz početak rada uzvodnih hidroelektrana na Dravi i Savi, čijom izgradnjom je prekinut prirodni pronos nanosa duž toka. One se najbolje uočavaju iz prikaza danih u sljedećem poglavlju gdje su tablično prikazani odnosi prosječnih vrijednosti ukupnog pronosa nanosa po razdobljima. Smanjenje ili povećanje godišnjeg pronosa nanosa, uglavnom kao posljedica izgradnje i rada pojedine hidroelektrane, ali i eksploatacije riječnog nanosa ili ekstremnih hidroloških prilika na slivu, uzrokuje promjenu u pronosu

nanosa.

3.4.2 Rezultat bilance nanosa na Dravi i Savi

Obradama su obuhvaćeni raspoloživi dnevni podaci pronosa suspendiranog nanosa, određeni na temelju svakodnevnih zahvaćanja uzorka vode u jednoj točki mjernih presjeka na lokacijama hidroloških postaja na Dravi i Savi, a rezultati ukupnih godišnjih količina suspendiranog nanosa dani su u nastavku u tablicama 3.4-1 i 3.4-2.

Svakodnevna mjerenja ni u kom slučaju nisu reprezentativna za cijeli presjek, ali imaju svojih prednosti u odnosu na profilska. Jedna od njih je da se kontinuirano provode kroz duže vremensko razdoblje, pa su na taj način ipak prikupljeni vrijedni podaci, na temelju kojih se može procijeniti pronos suspendiranog nanosa duž toka.

U tablici 3.4-1 dan je tablični prikaz ukupnih godišnjih pronosa suspendiranog nanosa za razmatrane profile na Dravi u raspoloživom razdoblju obrade 1960-2016 godine.

Također su u tablici iskazani odnosi prosječnih vrijednosti ukupnog pronosa nanosa po razdobljima vezano uz početak rada uzvodnih hidroelektrana na Dravi, čijom izgradnjom je prekinut prirodni pronos nanosa duž toka.

Utjecaj na vodni režim Save u Republici Hrvatskoj imaju i objekti izgrađeni na rijeci Savi u Sloveniji. Naime, potencijal rijeke Save na području Republike Slovenije se u značajnoj mjeri već koristi za proizvodnju električne energije. Na gornjem dijelu toka rijeke Save, idući prema nizvodno izgrađene su HE Moste, HE Mavčiče i HE Medvode, a na srednjem dijelu toka između Ljubljane i Radeča je planirano još deset HE

S realizacijom lanca hidroelektrana na Donjoj Savi, Slovenija je započela već 1987. godine izgradnjom HE Vrhovo. Do danas su u pogonu četiri hidroelektrane: HE Vrhovo (1993.), HE Boštanj (2006.), HE Blanca (2009.) i HE Krško (2012.). Izgradnja HE Brežice je nedavno završena (rujan, 2017.), a od ove godine je i u punom pogonu, a još je neposredno uzvodno od državne granice s Republikom Hrvatskom u izgradnji i HE Mokrice.

Tablica 3.4-1: Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa za razmatrane profile na Dravi u raspoloživom razdoblju obrade 1960-2016 godine.

God	Ukupni god pronos nanosa (t/god)			
	h. s. Varaždin	h. s. Botovo	h. s. Terezino Polje	h. s. Donji Miholjac
1960	1.275.751			
1961	573.664			
1962	804.929			
1963	656.729			
1964	443.818			
1965	1.475.489			
1966	1.708.987			
1967	705.938	1.002.493		
1968	343.415	520.467		1.174.440
1969	325.263	877.355		1.281.764
1970	489.895	1.556.897		1.719.968
1971	206.500	469.731		386.231
1972	934.350	1.750.341		1.645.829
1973	405.682	1.023.602		1.158.113
1974	218.362	809.910		1.017.400
1975	423.536	1.680.324		1.804.115
1976	115.270	613.645		919.278
1977	149.640	567.579		1.168.296
1978	154.359	693.969		1.368.269
1979	179.288	1.035.679		2.141.558
1980	89.877	568.137		2.098.124
1981	100.688	685.199		1.507.673
1982		495.572		523.703
1983		162.255		303.214
1984		295.565		393.318
1985		437.709		575.654
1986		422.171		604.535
1987		541.363		600.615
1988		353.633		447.838
1989		387.456		492.211
1990		238.735		216.013
1991		417.247	505.331	198.653
1992		327.766	390.916	231.633
1993		215.561	369.133	228.142
1994		211.195	91.333	226.264
1995		348.820	56.546	139.694
1996		316.769	81.526	213.041
1997		239.204	161.973	132.623
1998			170.417	326.421
1999		383.009	284.237	537.024
2000		293.659	284.584	429.976
2001		124.922	216.244	214.839
2002		204.492	239.307	245.103
2003		68.827	103.444	108.940
2004		227.113	307.389	303.713
2005		414.402	505.066	231.443
2006		352.261	505.072	237.652
2007		235.572	357.761	108.116
2008		246.518	529.833	116.811
2009		541.303	916.660	387.935
2010		285.464	834.537	152.840
2011		203.528	263.726	114.912
2012		489.240		
2013		371.758	539.045	109.218
2014		408.496	726.185	
2015		211.935	163.807	440.733
2016		465.851	160.420	587.259
Q _{sred}	535.520 (1960-1981)	506.014 (1967-2016)	350.580 (1990-2016)	629.173 (1968-2016)
Q _{sred}	704.585 (1960-1974)	1.001.350 (1967-1974)		1.197.678 (1968-1974)
Q _{sred}	173.237 (1975-1981)	834.933 (1975-1981)		1.572.473 (1975-1981)
Q _{sred}		386.895 (1982-1988)		492.697 (1982-1988)
Q _{sred}		304.856 (1989-2016)		258.893 (1989-2016)

Značajnije smanjenje pronosa nanosa izazvala je izgradnja i rad HE Varaždin, naime, prosječni godišnji pronos nanosa poslije 1975. godine je čak 4 puta manji od pronosa u razdoblju 1967-1974. godina (tablica 3.4-1).

Na Botovu je situacija nešto povoljnija jer u ukupno izmjerenoj količini nanosa koja prođe kroz presjek, u određenom iznosu sudjeluje i nanos koji u Dravu donosi Mura, pa je prosječni pronos nanosa u Botovu u razdoblju od 1975. do 1981. godine "samo" 1,2 puta manji od pronosa u razdoblju 1967-1974. godina. U razdoblju rada HE Čakovec (1982-1989.) prosječni ukupni godišnji pronos nanosa u Botovu smanjen je 2 puta u odnosu na razdoblje 1975-1981. godina, dok je u razdoblju rada HE Dubrava (1989-2016.) smanjen 1,3 puta u odnosu na pronos nanosa u prethodnom razdoblju.

Usporedi li se prosječni godišnji pronos suspendiranog nanosa kroz presjeke Varaždin i Botovo u razdobljima 1967-1975. i 1976-1981. godina, proizlazi da Mura u Dravu donosi najmanje polovicu ukupno izmjerenih količina na Botovu.

Budući da se suspendirani nanos u presjeku Terezino Polje mjeri tek od 1990. godine, nije moguće ocijeniti u kojoj mjeri je smanjen pronos suspendiranog nanosa vezano uz početak rada uzvodnih hidroelektrana na Dravi.

U profilu Donji Miholjac smanjenje pronosa (tablica 3.4-1) vidljivo je također u 1971. godini, koja je po svojoj vodnosti znatno ispod prosjeka razmatranog razdoblja. Izgradnja i rad HE Varaždin nije se značajnije odrazila na pronos nanosa u ovom presjeku, štoviše, u razdoblju 1975-1981. godina prosječni godišnji pronos nanosa u Donjem Miholjcu povećan je 1,3 puta u odnosu na razdoblje 1968-1974. godina, a to je moguća posljedica erozije vlastitog korita na dionici toka uzvodno od Donjeg Miholjca, ali i točnosti mjerenja. U razdoblju 1982-1989. godina, tj. nakon početka rada HE Čakovec prosječni ukupni godišnji pronos nanosa smanjen je 3 puta u odnosu na pronos u prethodnom razdoblju (1975-1982), dok su u razdoblju 1989-2016. godina u Donjem Miholjcu prosječne količine 2 puta manje od količina izmjerenih u razdoblju 1982-1988. godina. Ovo je smanjenje izrazitije negoli u presjeku Botovo, a uzrok treba tražiti u pretpostavci da se dio nanosa nataložio u koritu negdje između Botova, odnosno Terezinog Polja i Donjeg Miholjca.

Na ovaj zaključak upućuju i rezultati mjerenja pronosa suspendiranog nanosa u razmatranim presjecima: u razdoblju od 1991. do 2016. godine srednji godišnji pronos nanosa u Botovu je iznosio 304 196 t/god, u Terezinom Polju 350 580 t/god, a u Donjem Miholjcu 250 958 t/god. Nepovoljna je okolnost što se na razmatranj dionici ne provode kontinuirana snimanja poprečnih presjeka koja bi pružila mogućnost razjašnjenja navedenih pretpostavki i rezultirala realnim zaključcima o promjeni režima nanosa i morfološkim promjenama u koritu Drave.

Prema navedenom, odnosi prosječnih vrijednosti ukupnog pronosa nanosa po razdobljima, dani u ovom poglavlju, ne daju stvarnu sliku stanja suspendiranog nanosa, ali mogu poslužiti kao orijentacijske vrijednosti granica unutar kojih se kreće pronos suspendiranog nanosa, tj. za opću procjenu smanjenja pronosa suspendiranog nanosa: *u razdoblju poslije početka rada HE Čakovec prosječni ukupni godišnji pronos nanosa u Botovu čini otprilike trećinu, a u Donjem Miholjcu četvrtinu prosječnih količina pronosa u razdoblju prije 1982. godine.*

Tablica 3.4-2: Ukupni godišnji pronos suspendiranog nanosa za razmatrane profile na Savi u raspoložvom razdoblju obrade 1960-2016 godine.

God	Ukupni god pronos nanosa (t/god)				
	h. s. Podsused žičara	h. s. Rugvica	h. s. Jasenovac	h. s. Stara Gradiška	h. s. Slavonski Brod
1960					2.856.421
1961					1.663.619
1962					
1963				1.988.678	2.469.431
1964				2.402.187	
1965					2.547.831
1966				1.806.462	1.710.685
1967				1.517.475	1.713.044
1968				1.320.927	1.725.478
1969				1.128.246	1.603.906
1970				1.136.379	1.915.730
1971				719.538	842.578
1972				1.500.868	1.403.864
1973				706.286	1.001.624
1974				1.057.247	1.019.213
1975				1.204.433	1.022.473
1976				1.392.067	1.152.408
1977				1.072.533	704.730
1978				1.154.807	1.085.209
1979	1.067.755	770.509	791.059	1.023.901	798.950
1980	926.963	562.898	501.308	959.364	679.855
1981	852.744	374.060	482.507	939.323	962.555
1982	774.119	409.058	320.019	893.334	441.312
1983	398.214	292.040	229.310	547.562	298.475
1984	609.183	326.941	298.197	889.151	310.646
1985	713.211	334.741	232.789	753.497	
1986	790.972	306.676		877.978	358.058
1987	827.405	291.711	397.999	1.174.501	676.544
1988	494.988	195.794	579.407	588.181	298.595
1989	917.443	281.041	787.640	1.051.722	489.549
1990	1.021.867	389.710	946.006	560.115	358.312
1991	941.508	317.366			620.793
1992	1.231.611	368.668			520.614
1993	532.390	191.128			370.249
1994	537.534	184.788			
1995	675.373	160.117			
1996	1.737.318				
1997	1.417.363				
1998	1.656.231		315.564		
1999	532.884		200.370		
2000	737.034	305.814	214.068		
2001	626.119	160.965	165.975		
2002	453.946	119.085	157.145		
2003	242.922	63.707	94.587		
2004	747.687		195.706		391.707
2005	1.411.358	227.508	241.156		488.554
2006	1.735.481		170.636		397.535
2007	1.115.373		202.630		455.110
2008	1.380.110		253.316		672.601
2009	1.306.959	311.832	182.249		506.019
2010	2.069.200		241.749		989.621
2011	178.945		95.450		158.683
2012	417.904	906.336			
2013	357.660	918.982	299.575		399.386
2014	827.828		725.241		1.368.325
2015	405.245	286.971	366.626		682.575
2016	479.950	314.846	555.530		
Q_{sred}	872.389 (1979-2016)	347.159 (1979-2016)	353.235 (1979-2016)	1.124.695 (1963-1990)	955.544 (1960-2016)
Q_{sred}			506.022 (1979-1990)		547.785 (1979-2016)
Q_{sred}			201.014 (1998-2008)		
Q_{sred}			352.346 (2009-2016)		

U tablici 3.4-2 dan je tablični prikaz ukupnih godišnjih pronosa suspendiranog nanosa za razmatrane profile na Savi u raspoloživom razdoblju obrade 1960-2016 godine.

Srednja godišnja količina pronosa suspendiranog nanosa u profilu Podsused žičara za niz 1979-2016. godine $G_{\text{sred}}=0,87$ mil.tona. Godišnji pronosi nanosa u profilu Rugvica za isto razdoblje znatno su niži od Podsuseda uz srednju vrijednost za niz $G_{\text{sred}} = 0,347$ mil. tona. Razlog tako velikoj razlici u količinama suspendiranog nanosa u odnosu na Podsused je prvenstveno lokacija uzorkovanja. Naime, brzina toka rijeke na rubnim dijelovima korita je znatno manja u usporedbi sa srednjom brzinom toka vode u cijelom poprečnom profilu, te se time dobiva znatno manja koncentracija suspendiranog nanosa u odnosu na stvarnu koncentraciju suspendiranog nanosa u poprečnom profilu.

Prosječna vrijednost ukupnog godišnjeg pronosa suspendiranog nanosa u profilu Jasenovac za razdoblje 1979-1990. godine iznosi 0,506 mil. tona, u razdoblju 1998-2008. godine zabilježene su značajno manje količine prosječne vrijednosti 0,201 mil. tona (s obzirom da su uzorci za analizu uzimani u profilu Save prije ušća Une), te u razdoblju 2009-2016. godine srednje godišnje količine pronosa suspendiranog nanosa su oko 0,352 mil. tona.

Na h. s. Stara Gradiška ukupni godišnji pronos nanosa za razdoblje 1963. do 1990. iznosio je $G_{\text{sred}}=1,12$ mil.tona.

Na tabličnom prikazu ukupnih godišnjih pronos nanosa za razdoblje 1960-2016. u profilu Slavonski Brod vidljiv je također trend smanjenja pronosa nanosa, uz iskazanu srednju godišnju količinu pronosa susp. nanosa za niz $G_{\text{sred}}=0,95$ mil.tona, dok je za razdoblje 1979-2016. godine srednja godišnja količina pronosa susp. nanosa značajno manja i iznosi $G_{\text{sred}}=0,55$ mil.tona.

3.5 Zaključna razmatranja i morfološki razvoj rijeke Dunav, Drava i Sava u odnosu na bilancu nanosa

3.5.1 Morfološki razvoj rijeke Drave u odnosu na bilancu nanosa

Drava je vodotok koji pokazuje izrazite morfološke promjene u koritu. Premda neredovita, snimanja poprečnih presjeka na lokacijama hidroloških postaja pokazuju da su promjene geometrije korita izrazite i unutar godine dana. Iako je svako snimljeno stanje prvenstveno slika trenutačne hidrološke situacije u riječnom koritu, ono je ujedno i odraz općih promjena izazvanih brojnim radovima u koritu, inundacijama i nasipima, sve intenzivnijom eksploatacijom šljunka i pijeska iz korita i inundacijskog područja i radom hidroenergetskih objekata izgrađenih uzvodno od ušća Mure.

Sve ove aktivnosti značajno utječu na režim voda i nanosa u rijeci Dravi, a budući da se veći dio njih odvijao paralelno, danas je vrlo teško odrediti pojedinačni utjecaj izgradnje i rada uzvodnih hidroelektrana, lokalno izvedenih regulacijskih radova i neredovitog održavanja izvedenih građevina, utjecaj reguliranih i nereguliranih riječnih poteza, hidroloških prilika na slivu i promjena u mjernim presjecima, na formiranje i oblik riječnog korita i promjene hidroloških karakteristika Drave.

U tome presudnu ulogu ima i relativno skroman fond mjerenih podataka, nerijetko dodatno opterećenih iznimno čestim promjenama položaja i visine mjernih uređaja i vrste mjerne opreme. Ovdje se prije svega misli na mjerenja protoka i koncentracija suspendiranog nanosa, s kojima se gotovo na svim stanicama, za razliku od duge tradicije mjerenja vodostaja, redovito počelo tek šezdesetih godina ovog stoljeća.

Prema literaturi 72 značajne morfološke promjene korita donjeg toka Drave identificirane su još u 19. stoljeću kao posljedica opsežnih regulacijskih radova. Tijekom razdoblja od 1805. do 1848. godine na dionici Drave između ušća Mure i ušća u Dunav izvedena su 62 velika prokopa meandara ukupne dužine od čak 75 km, čime je riječni tok skraćen na 60% njegove prethodne dužine. U razdoblju između 1848. i 1915. godine presijecanja meandara su nastavljeni ali s nešto manjim intenzitetom. Povećanjem uzdužnog nagiba dna i erozijske snage Drave njeno se korito vrlo intenzivno usijecalo. U razdoblju između 1842. i 1886. godine srednji vodostaji Drave kod Donjeg Miholjca snizili su se za 115 cm, kod Osijeka za 146 cm, a na ušću u Dunav za 103 cm (lit.72). Za uzvodnije lokacije prema ušću Mure (Terezino Polje i Botovo) podaci o usijecanju korita tijekom 19. stoljeća nisu poznati, ali se zbog većih uzdužnih nagiba dna može pretpostaviti da je bilo još intenzivnije nego u Donjem Miholjcu ili Osijeku. Krajem devetnaestog stoljeća započela je i gradnja obrambenih nasipa uz donji tok Drave sa ciljem zaštite najugroženijih područja od poplavlivanja. Nakon 1915. godine pa sve do sredine šezdesetih godina gradnja velikih prokopa meandara i obrambenih nasipa je obustavljena, a duž rijeke su vršeni samo manji regulacijski zahvati (lit.72) bez značajnog utjecaja na ranije započeto globalno usijecanje korita.

Na smanjenje pronosa riječnog nanosa na donjem toku Drave, te na daljnje globalno usijecanje dravskog korita veliki su utjecaj imale 22 hidroelektrane koje su u drugoj polovici dvadesetog stoljeća izgrađene u Austriji, Sloveniji i Hrvatskoj uzvodno od ušća Mure. Na najvećoj dravskoj pritoci Muri dosad je izgrađeno nekoliko manjih pribranskih hidroelektrana u Austriji, dok na toku Mure kroz Sloveniju, Hrvatsku i Mađarsku još uvijek nema hidroelektrana.

Velike poplave na donjem toku Drave 1964., 1965., 1966. i 1972. godine potaknule su daljnje projektiranje i građenje obrambenih nasipa sredinom sedamdesetih godina, a tijekom osamdesetih godina ponovno je izvedeno nekoliko prokopa meandara (Botovo, Vizvar, Zalata, Valpovačke plaze i Nemetin). Takvi zahvati također su pospješili globalno usijecanje riječnog korita (lit.72).

Eksploatacija šljunka i pijeska iz dravskog korita provodi se od davnina, a tijekom posljednjih desetljeća naglo je intenzivirana. Eksploatacijska polja na donjoj Dravi nalaze se duž cijelog toka od ušća Mure do ušća u Dunav, s time da se na uzvodnom potezu do Terezinog Polja eksploatira samo šljunak, od Terezinog Polja do Donjeg Miholjca i šljunak i pijesak, a na potezu od Donjeg Miholjca do ušća u Dunav samo pijesak (lit.72). Na dionici Drave od slovenske granice do ušća Mure povremeno se eksploatira šljunak koji nakon prolaska velikih voda kroz hidroelektrane zaostaje u starim koritima. Sve te aktivnosti još uvijek nisu posve adekvatno regulirane s tehničkog i gospodarskog stajališta, pa zato često nisu pod odgovarajućim nadzorom. Raspoloživi podaci o ukupnim godišnjim količinama izvađenog materijala iz korita Drave u Hrvatskoj su nepotpuni i nepouzdana, ali se procjenjuje da su količine izvađenog pijeska i šljunka veće od donosa riječnog nanosa s uzvodnih dijelova sliva (lit. 72).

U prethodnim poglavljima provedene su analize promjena korita Drave u profilu hidroloških stanica na temelju raspoloživih podataka o izmjerenim poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dravi i promjenama Q-H krivulja u profilu stanice u razdoblju 1926/1961. do 2016. godine iz kojih je vidljivo konstantno sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita u svim razmatranim profilima.

Podaci i analize ne mogu se koristiti za donošenje zaključaka o globalnim promjenama riječnog korita, jer se na njima često mogu uočiti lokalne erozije ili zasipavanja koja nastaju uslijed blizine nekih vodnih građevina ili uslijed prolaza velikih voda prije hidrografskih snimanja, pa ovdje dane procjene treba smatrati orijentacijskim.

Sustavno praćenje morfoloških procesa otežano je zbog rijetkih hidrografskih snimanja poprečnih presjeka, pa je dugotrajno usijecanje korita najbolje uočljivo na negativnim trendovima vremenskih nizova minimalnih godišnjih vodostaja na svim hidrološkim stanicama donjeg toka Drave.

Općenito, u razdoblju obrade 1926-2016. godina na svim je hidrološkim stanicama na Dravi vidljiv trend sniženja minimalnih godišnjih vodostaja i smanjenja minimalnih godišnjih protoka. Računanje trenda kraćih razdoblja ukazuje na ovisnost predznaka i veličine sniženja/smanjenja ili porasta/povećanja minimalnih godišnjih vodostaja i protoka o vodnosti pojedinog razdoblja, posebno u razdoblju slabije izgrađenosti sliva i obustave radova na uređenju sliva.

Ovdje treba istaknuti da, za razliku od šezdesetih i prve polovice sedamdesetih godina koje karakterizira učestala pojava velikih voda i povećan pronos nanosa, osamdesete godine pripadaju sušnom dijelu hidrološkog ciklusa, što u vrijeme velikih voda pretpostavlja manje prelivne protoke preko brana hidroelektrana, njihovo kraće trajanje, dakle i manju transportnu moć, pa se veći dio ispranog nanosa, nataloženog kroz određeni broj godina u akumulacijskim jezerima, zadržava u starim koritima hidroelektrana. Prema tome, može se reći da to što sušno razdoblje koincidira s razdobljem izgradnje i početka rada

hidroelektrana Varaždin, Formin, Čakovec i Dubrava pridonosi izrazitijem smanjenju pronosa suspendiranog nanosa.

Dugogodišnji radovi na slivu, prvenstveno izgradnja sustava hidroelektrana, uz promjene režima voda izazvali su i značajne promjene režima suspendiranog nanosa. Promjene se očituju smanjenjem pronosa i koncentracija i vremenski se mogu vezati uz početak rada pojedine hidroelektrane. Budući da je DHMZ nanos počeo mjeriti tek 1960. godine, nije moguće ocijeniti koliko je rad svih do tada izgrađenih hidroelektrana utjecao na smanjenje pronosa nanosa.

Prema rezultatima obrada raspoloživih dnevnih podataka koncentracija i pronosa suspendiranog nanosa, značajnije promjene vidljive su nakon izgradnje i početka rada derivacijskih hidroelektrana HE Zlatoličje (1969.) i HE Varaždin (1975.): prosječni godišnji pronos nanosa u Varaždinu poslije 1975. godine bitno je manji od pronosa prije njihove izgradnje (3,4 puta), dok je na Botovu i nizvodnim postajama situacija povoljnija, jer veći dio ukupno izmjerenih količina nanosa u pojedinom presjeku čini nanos koji u Dravu donosi Mura. Premda količine određene na temelju svakodnevnih mjerenja ne pružaju stvarnu sliku stanja suspendiranog nanosa, može se reći da prosječni ukupni godišnji pronos u Botovu u razdoblju poslije početka rada HE Čakovec (1982.), predstavlja otprilike trećinu, a u Donjem Miholjcu četvrtinu prosječnih količina pronosa nanosa u razdoblju prije 1983. godine, dok danas glavninu nanosa u Dravu donosi Mura.

Zaključujući ovo poglavlje treba istaknuti da su dugogodišnji radovi na slivu, a prvenstveno se tu misli na izgradnju i rad sustava hidroelektrana na Dravi, izazvali značajne promjene režima suspendiranog nanosa na dionici toka nizvodno od ušća Mure.

Zbog toga je, da bi se dobila objektivna slika njihova utjecaja na smanjenje pronosa nanosa, potrebno povećati broj i kvalitetu mjerenja pronosa nanosa, dajući prednost profilskim pred mjerenjima u jednoj točki presjeka, vodeći pritom računa o njihovoj podjednako zastupljenosti pri raznim protocima (malim, srednjim i velikim vodama). Uz to, treba redovito snimati poprečne presjeke Drave na potezu od HE Dubrava do ušća.

3.5.2 Morfološki razvoj rijeke Save u odnosu na bilancu nanosa

Redovita mjerenja vodostaja na nizu vodomjernih postaja Save upozorila su na procese snižavanja dna korita. Definiranje početka ovog procesa nije od presudne važnosti, već je bitno zaključiti da snižavanje dna korita još traje.

Geodetske snimke korita Save iz 1985. i 2003. godine, područja od km 673+000 do km 728+520, te snimke profila na vodomjernim postajama (literatura 76) upućuju na slijedeće:

- na dionici od Jesenica do VP Zagreb korito se produbilo za oko 2.5 m u periodu od 1985-2009. godine,
- na dionici od VP Zagreb do praga kod TE-TO nema značajnih promjena u niveleti dna korita što je rezultat utjecaja praga,
- nizvodno od praga do km 682+000 javlja se značajno sniženje dna korita što se pripisuje utjecaju praga te pojačanoj eksploataciji šljunka,
- na području VP Rugvica javlja se taloženje i izdizanje nivelete dna Save,

- dalje nizvodno do VP Gušće značajnije promjene profila vidljive su samo na lokaciji VP Crnac gdje je niveleta u periodu 2000. – 2009. snižena za oko 1.2 m.

U prethodnim poglavljima provedene analize promjena korita Save na temelju raspoloživih podataka o izmjerenim poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Savi i analize promjena Q-H krivulja u profilu stanice za raspoloživo razdoblje 1926/1961.-2016. godine potvrđuju proces snižavanja dna korita Save, koji još traje.

Pokazatelj kvantitativnih promjena u režimu površinskih voda svakako su promjene u veličini vodostaja i protoka u razdoblju obrade, te rezultati analize trenda u nizovima karakterističnih godišnjih vodostaja i protoka prikazani u prethodnim poglavljima također ukazuju na procese snižavanja dna korita Save.

Prema ovdje provedenim analizama kao i prema (lit.75) evidentni problem u gornjem toku Save, koji se posebno odražava na pronos suspendiranog nanosa, predstavljaju brane i akumulacije izgrađene u uzvodnom toku. Pored desetak već izgrađenih brana i pregrada u Sloveniji, 2013. godine završena je HE Krško, a 2017. HE Brežice, na donjem toku Save u Sloveniji.

Prema dosada provedenim analizama u okviru *Izveštaja od DHMZ-a* dobivenih za razdoblje do 2016. godine (lit. 1-36), kao i analizama provedenim u literaturi 75, iz grafičkih prikaza korelacija između koncentracija suspendiranog nanosa, odnosno pronosa u funkciji protoka, na hidrološkoj stanici Podsused žičara vidljiva su značajna smanjenja u količini pronosa u odnosu na period prije izgradnje tih objekata. Kao što je već napomenuto, na analiziranoj dionici došlo je do značajnih morfoloških promjena u koritu, odnosno snažno izraženih erozijskih procesa u koritu Save i spuštanje nivelete dna uz istovremeno taloženje finog pijeska i mulja na obalama.

Sve to ima za posljedicu sve jače „ukopavanja“ rijeke u svoje korito uz sniženje vodostaja, uz istovremeno povećanje brzine toka u gornjem toku. Lokalni erozijski procesi i produbljivanje dna su vrlo opasne pojave te treba upozoriti na moguću posljedicu narušavanje stabilnosti konstrukcija hidrotehničkih građevina.

U Rugvici i nizvodno od nje fini nanos se taloži na obalama, posebice na desnoj obali, koja se svake godine naočigled mijenja. Iz rasporeda brzina izmjerenih na vertikalama uz desnu obalu za vrijeme profilskih mjerenja, vidljivo je da je brzina toka u Rugvici na desnoj obali izuzetno mala. Iz tog razloga proces mijenjanja i obrastanja desne obale snažno je izražen.

Temeljem provedenih analiza u profilu Jasenovac vidljiv je drugačiji režim suspendiranog nanosa (znatno manji) nego li na uzvodnim profilima, jer velike vode na nizinskom toku Save ne doprinose ekstremnom povećanju koncentracije suspendiranog nanosa. Postoji više razloga zašto je tome tako: prvi razlog je mirniji tok gdje je vertikalna komponenta brzine svedena na minimum pa nema dizanja finog mulja i pijeska sa dna, a drugi razlog je što je erozija sa slivne površine znatno manja budući da je u nizinskom toku pad sliva manji od onog u gornjem toku. Osim toga, uzorak za analizu uzima se na lijevoj obali, a ne iz matice rijeke kao što je to slučaj na profilima Oborovo-skela kod Rugvice i Podsused most, što prema svemu do sada ima vjerojatno najveći utjecaj na dnevne vrijednosti koncentracija suspendiranog nanosa, a onda i na godišnje vrijednosti (literatura 36).

3.5.3 Morfološki razvoj rijeke Dunav u odnosu na bilancu nanosa

S obzirom da na Dunavu u Hrvatskoj nema motrenja nanosa obrade su temeljene na podacima o vodostajima i zabilježenim trendovima, kao i zabilježenim promjenama u Q-H krivuljama koje se na svim stanicama definiraju tek posljednjih 10-tak godina.

Provedena je i analiza snimki poprečnih presjeka na lokaciji stanica, koje su u HIS-u raspoložive samo za novije razdoblje u 2010. i 2014/2015. godini.

Analizirane krivulje protoka temeljem raspoloživih podataka od 2006. do 2016. godine pokazuju da je i korito Dunava podložno promjenama. Promjene korita Dunava u razmatranim profilima praćene su odgovarajućim promjenama konsumpcijskih odnosa. Prisutno sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita, potvrđuju i raspoložive snimke poprečnog presjeka korita u razdoblju 2010. do 2015. godine.

U razmatranom razdoblju od 2006. godine u području malih voda na lokacijama hidroloških stanica sniženje korita Dunava se kreće oko 20-tak cm, odnosno oko 30-tak cm prosječno u području srednjih voda do najviše 50 cm (na h. s. Batina).

Pokazatelj kvantitativnih promjena u režimu površinskih voda svakako su promjene u veličini vodostaja i protoka u razdoblju obrade, te rezultati analize trenda u nizovima karakterističnih godišnjih vodostaja i protoka. Hidrološki podaci i podloge i rezultati obrada prikazani u prethodnim poglavljima ukazuju na procese snižavanja dna korita Dunava.

Općenito, uočava se trend sniženja minimalnih i srednjih godišnjih vodostaja Dunava na hidrološkim stanicama u ukupnom analiziranom razdoblju 1923-2016. godina.

Linije trenda minimalnih i srednjih godišnjih protoka pokazuju da protok ima blagu tendenciju porasta nakon 2006. godine, što nije slučaj i s vodostajima na ovim stanicama u istom razdoblju.

Ovdje svakako treba napomenuti na utjecaj razdoblja obrade na veličinu i predznak trenda u analiziranim nizovima podataka, što je i razlog više za korištenje rezultata samo kao približnih pokazatelja očekivanih promjena u režimu vodostaja i protoka. Naime, što su razdoblja kraća, izrazitiji je i veći utjecaj vodnosti razdoblja, ali i promijenjenih uvjeta tečenja.

Uzimajući u obzir to što su pojedine podloge i podaci skromni po svom opsegu, a tu se prije svega misli na praćenje morfoloških promjena korita i mjerenje nanosa, kao i mali broj mjerenja protoka u području malih i velikih voda, postojeći sustav mjerenja hidroloških, psamoloških i morfoloških parametara treba proširiti većim brojem lokacija, broja i vrste mjerenja, prema prijedlogu danom u poglavlju 5.3.. Mjerenja bi bilo dobro provoditi istovremeno duž cijelog vodotoka, ukoliko to prilike i brojnost ekipa dopuštaju.

Svakako, prikupljeni podaci opažanja vodostaja, mjerenja protoka, redovito praćenje morfoloških promjena korita i mjerenje nanosa predstavljaju kvalitetnu podlogu za provedbu osnovnih analiza režima voda i nanosa.

4. UČINCI I MJERE

4.1 Revizija ključnih pokretača i značajnih pritisaka na kvantitetu sedimenta za rijeku Dunav, Dravu i Savu

Na temelju prethodno prikupljenih i sistematiziranih podataka u prvoj fazi Studije dobile su se neophodne informacije za analizu podataka o nanosu. Bilanca nanosa provedena u drugoj fazi studije temelj je za iznalaženje objašnjenja za probleme koji nastaju. Mogući odgovori na te probleme bit će navedeni u sklopu ovog poglavlja iz čega proizlaze prijedlozi praktičnih mjera i preporuka za poboljšanje režima nanosa. Cilj ovog dijela Studije je prikazati potencijalne mjere za uspostavu dinamičkog, održivog kontinuiteta nanosa u svrhu poboljšanja upravljanja sedimentom na rijekama Dunav, Drava i Sava.

4.1.1 Interakcija između režima nanosa i ključnih pokretača

Riječni vodni režim neprekidno je u pokretu i interakciji sa mnogim prirodnim i antropogenim čimbenicima. Pod pojmom riječni vodni režim podrazumijevaju se slijedeće komponente:

- a) Hidrologija
- b) Hidromorfologija
- c) Klimatologija
- d) Topografija
- e) Geološki sastav tla
- f) Biljni pokrivač
- g) Pronos nanosa
- h) Režim leda

Pronos riječnog nanosa je jedna vrlo važna komponenta riječnog režima koja opisuje kako rijeke „dišu“. Analiza kvantitete i kvalitete nanosa duž vodotoka i njihova promjena u vremenu je od velike važnosti za upravljanje i zaštitu na razini sliva. Međudjelovanje vode i nanosa je ključni čimbenik u kreiranju nekog riječnog ekosustava, međutim, često se kod gospodarenja vodom na nekom slivu naglašava protočni režim, a potpuno zanemaruje režim nanosa (Wohl et al 2015). U tom kontekstu korisno je naglasiti da uglavnom više od 80 % neke površine riječnog sliva otpada na tlo, a manje od 20% pripada otvorenim vodenim površinama poput rijeka, jezera, akumulacija itd. Ta činjenica svakako mora imati važan utjecaj na odluke o kreiranju planova upravljanja nekim riječnim slivom (Owens et al, 2002).

Prema svojoj stabilnosti aluvijalna riječna korita mogu se podijeliti u statična i dinamično stabilna korita. Statički stabilna riječna korita su ona koja ne pokazuju nikakvo pokretanje nanosa sa dna, dok su dinamički stabilna ona korita u kojima je količina ulaznog nanosa u promatranom profilu jednaka odlaznoj količini. Ona su zbog toga stabilna u svojoj srednjoj visini jer osiguravaju da svaka pojedina dionica prima i otpušta približno jednaku količinu nanosa. U slučaju kada je ta prirodna ravnoteža pronosa vučenog nanosa sa dna narušena, dolazi do produblivanja riječnog korita (globalna erozija), erozija obala i može se pojaviti opstrukcija protočnog profila. U slučaju kritične brzine toka, riječno korito sa pokretnim dnom (*eng. moving bottom*) prilagođava svoj oblik graničnom stanju ravnoteže, čime

ponovno uspostavljaju prirodni režim pronosa nanosa sa dna (Zanke U., 1982).

Oblik neke riječne doline je rezultat fluvijalne erozije i pod utjecajem je hidrodinamičkih sila koje djeluju na nekoherentni materijal u riječnom koritu. Raspon hidrodinamičkih sila raste sa količinom vode a pada sa opadanjem linije energije toka. Te sile transportiraju erodirani materijal u obliku sitnih frakcija suspendiranog nanosa i koritoformirajućeg nanosa. Iz tih razloga i koritoformirajući nanos protječe u suspenziji kroz prirodne vodotoke. U tom dinamičkom procesu koritoformirajuće čestice periodički se kreću ili pak talože, ovisno o brzinama toka koje ih pokreću. Za vrijeme mirnog perioda u vrijeme malih voda te čestice formiraju korito.

Kad je vodotok reguliran, morfologija riječnog korita se mijenja u usporedbi sa prirodnim stanjem. Korito se skraćuje, što prouzrokuje veći longitudinalni pad i veću koncentraciju energije toka. Zbog većeg longitudinalnog nagiba brzine toka, i posmična naprezanja su lokalno veća i uzrokuju promjene u morfologiji riječnog korita time što dolazi do degradacije. Kada hidrodinamičke sile dosegnu svoju kritičnu vrijednost i naruše ravnotežu sila koje drže čestice na dnu korita na mjestu, čestice se podižu sa dna i pronose nizvodno. Nakon smanjenja brzine toka, one se ponovno talože što pak dovodi do morfološkog razvoja korita ili agradacije.

U hidrotehničkoj inženjerskoj praksi postoji potreba za procjenom ponašanja rijeke u izmijenjenim uvjetima uzrokovanim ponajviše antropogenim utjecajima. S obzirom na pronos nanosa sa dna nemoguće je egzaktno i ovisi o hidrološkim i hidrodinamičkim parametrima toka. Količine pronosa nanosa sa dna kao i njegova udaljenost ne mogu se precizno i detaljno definirati. Najtočnija metoda u determinaciji stvaranja i kretanja riječnog nanosa u vodotoku su „in situ“ mjerenja kao i hidrološko-hidraulički parametri toka.

Sa inženjerske i ekološke točke gledišta najznačajniju ulogu za dinamiku pronosa nanosa u riječnom okruženju imaju slijedeće zone: riječno korito i obale, poplavna nizina tj. inundacijski prostor, zatim akumulacije i prirodna jezera, ušća i luke te obalno područje gdje se rijeka ulijeva u more.

Inundacija predstavlja akvatično – terestijalnu tranzitnu zonu koja je u velikim vodama dio protjecajnog sustava. U taj prostor se rijeka razlijeva za vrijeme velikih voda a nakon povlačenja ostavlja velike količine finih frakcija nataloženog suspendiranog nanosa (pijesak, prah i organske tvari) koji se pronosi vodotokom.

Aktivnosti čovjeka koje imaju za rezultat promjene u prirodnom protočnom režimu neke rijeke mogu se svrstati u slijedeće: zatrpavanje korita, smanjenje inundacijskih prostora i isušivanje vlažnih staništa gradnjom nasipa, crpljenje vode iz otvorenih tokova ili podzemlja, promjene u načinu otjecanja u slivu, regulacije i kanaliziranje rijeka, vađenje šljunka i pijeska iz korita.

Regulacija rijeka se uglavnom odnosi na strukturne mjere koje se poduzimaju u samom koritu ili obalama, a imaju značajnu ulogu u sprečavanju i smanjenju poplava. No, vrlo često su promjene u riječnom režimu izazvane zajedničkim djelovanjem prirodnih i antropogenih utjecaja i često je pitanje (u nekim slučajevima čak i nemoguće) koji od njih igra važniju ulogu u promjeni aktualnog režima. U znanstvenim analizama antropogenih utjecaja na vodni režim presudan problem je činjenica da u velikim rijekama trenutno djeluju brojne

globalne, regionalne i lokalne ljudske intervencije u kombinaciji sa prirodnim silama. Neke od posljedice tih ljudskih aktivnosti pojaviti će se nakon kratkog vremena, dok će ostale biti vidljive desetljećima kasnije.

Posebno opasne promjene su one koje se odnose na prirodni režim pronosa riječnog nanosa jer će one biti vidljive tek nakon određenog vremena, kada će doći do morfoloških promjena u koritu. To je najčešće trenutak spoznaje gorke činjenice da je proces otišao predaleko i da će se i dalje nepovratno pogoršavati sve dok ne dođe do kritične točke kada će funkcioniranje planiranih sustava doći u pitanje.

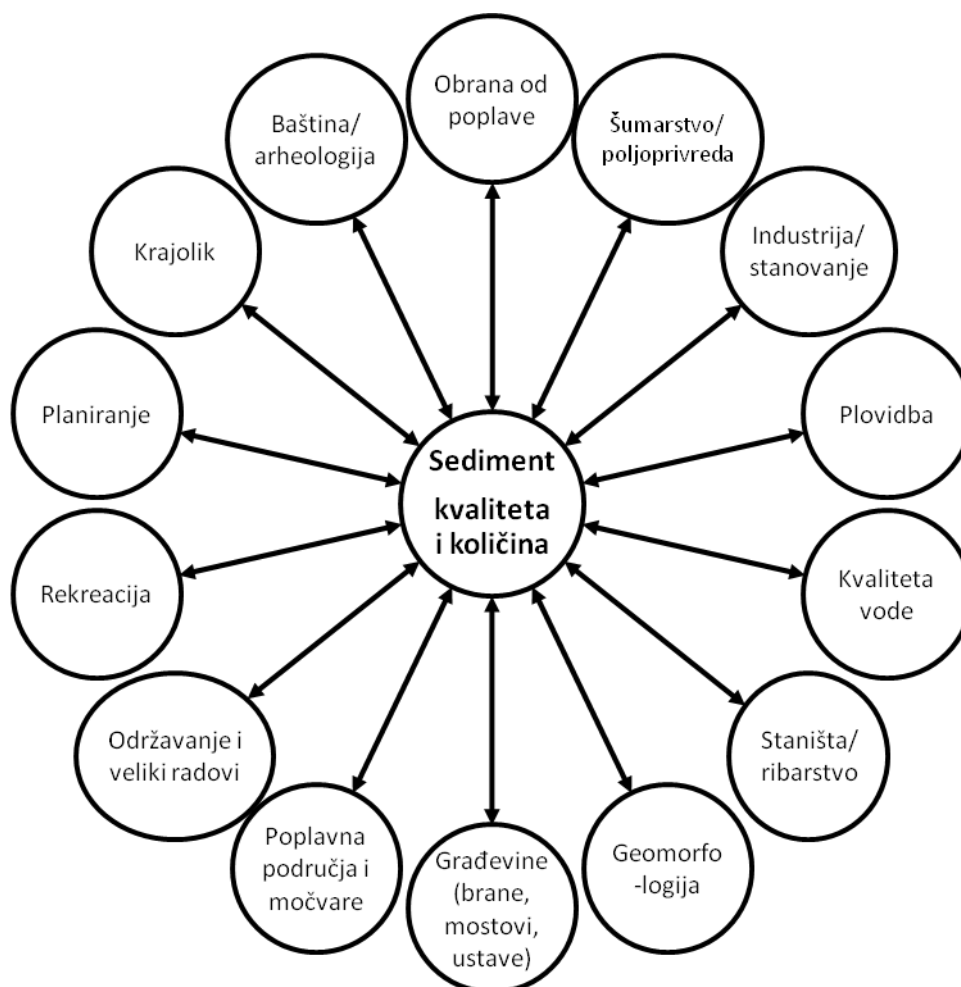
Morfološke promjene u aluvijalnim riječnim koritima načelno se mogu podijeliti u tri kategorije:

- tlocrtni obrasci kao što su: kaskade, stepenasti potezi, brzaci, uzburkani potezi, prepleteni i lutajući obrasci, jedinstveni meandrirajući tok, višestruki meandrirajući tok.
- evolucija korita: pletenasti, spiralni i točkasti sprudovi, otoci, meandri, potkovičasta jezera, razni oblici korita, stari napušteni rukavci i inundacije
- evolucija uzdužnog profila: degradacija, urezivanje tj. produbljivanje korita, oblikovanje fluvijalnih terasa, erozija osnovnih stijena, agradacija

U posljednje vrijeme se pridaje veća pozornost hidromorfologiji kao znanosti koja se bavi fizičkim karakteristikama riječnog toka, odnosno hidrološko-hidrauličkim i morfološko-psamološkim osobina korita rijeke, njenih obala i inundacijskog prostora. Morfologija riječnog korita je vrlo važan čimbenik koji može snažno djelovati na intenzitet i smanjenje poplava, promatrajući riječni sustav u cjelini kao stanište raznih akvatičnih vrsta biljaka i životinja.

Ljudske intervencije, posebice u posljednja dva stoljeća uzrok su snažnog i nepovratnog narušavanja prirodnog režima toka mnogih svjetskih rijeka, a u tu grupu se ubraja i Dunav sa svojim pritokama Dravom i Savom. S aspekta vodnog gospodarstva na slivu tih rijeka susreću se djelatnosti koje se tiču gospodarjenja vodom i nanosom. Lanac uzročno - posljedičnih veza kao i njihovi interesi su često oprečni i nije lak zadatak međusobno uskladiti različite pristupe gospodarjenju nanosom na slivu, posebice ako se radi o međunarodnim slivovima.

Poremećaji u bilanci nanosa posljedično negativno utječu na rizik od poplava, unutarnju plovidbu, ekologiju i proizvodnju energije na hidroelektranama. Ovaj proces odvija se u oba smjera: onaj tko izazove neki poremećaj u režimu nanosa s vremenom će snositi i određene posljedice koje će se odraziti na ekonomsku dobit. Preciznije rečeno, uzrok koji se generira uzvodno na vodotoku, nizvodno generira određene posljedice koje će se prije ili kasnije odraziti u vidu troškova održavanja određenog sustava. Budući da troškovi održavanja u pravilu nisu mali, u konačnici će se itekako odraziti na ekonomsku dobit, stoga nije pretjerano naglasiti da je zajednički interes svim dionicima na nekom slivu sustavno planiranje i gospodarjenje nanosom, slika 4.1.1.



Slika 4.1-1: Prikaz dionika na riječnom slivu vezano za režim nanosa

Značaj informacija i podataka o nanosu vidljiv je u kontekstu upravljanja vodama, a osobito za sljedeća područja:

- Taloženje nanosa i erozija mogu imati velik učinak na hidromorfološke karakteristike rijeka, a time i na infrastrukturu poput brana, luka, mostova i rezervoara kao i na transportnu sposobnost vodotoka
- visoke koncentracije suspendiranog nanosa dovode do smanjenja kvalitete vode i utječu na vodene ekosustave
- riječni nanos kao medij nosi hranjive tvari i zagađenja (npr N, P, C, teški metali) koje mogu imati velike negativne učinke na kvalitetu vode, a time i na ekosustav i ljudsko zdravlje.

Vučeni nanos ima relativno malen udio u ukupnom pronosu nanosa, no zato igra važnu ulogu u morfološkim procesima. Prema podacima iz Poglavlja 2.1.3 podaci o sastavu dna rijeka Dunava, Save i Drave su prilično oskudni, a redovita mjerenja vučenog nanosa u novije vrijeme se ne provode. U poglavlju 2.1.3-3 i 2.2.3-3 dane su orijentacione količine

izvađenog šljunka i pijeska iz korita Drave i Save prema navedenim Izvješćima.

Kao što je već spomenuto, u Republici Hrvatskoj je u razdoblju od 1990. do 2007. jaružanje u vodotocima bilo dozvoljeno. No, treba spomenuti da su se zahvati najčešće vršili bez stručnih studija i procjena na okoliš, vodni režim, poplavne rizike ili pak ravnotežu vodnih sustava.

Budući da je takva praksa otvarala put sivoj ekonomiji, 2009. godine došlo je do potpune zabrane vađenja nanosa. Međutim, potpuna zabrana eksploatacije riječnog nanosa nije se pokazala dobrom jer se velike količine nataloženog riječnog nanosa nisu mogle zbrinuti kroz postojeće zakonske propise.

Naime, postojali su međunarodni ugovori i propisi kao što su Vodna direktiva i Direktiva o poplavama, kao i propisi vezani za plovnost, koji su obvezivali Hrvatsku na održavanje određene klase plovnosti na domaćim rijekama. Posebice bi se tu trebalo naglasiti na Međunarodni plovni put IV kategorije na Dunavu, plovidba na Dravi do Osijeka te vodeni put za turističke kruzere na Savi, koji je bio plovnik tek samo do Slavenskog Broda. Pored toga zabrana je donosila velike štete hrvatskom gospodarstvu jer je, prema službenim podacima Ministarstva poljoprivrede i Hrvatskih voda, Hrvatska u samo četiri godine (od 2004. do 2008.) uvezla znatne količine pijeska i šljunka čija se vrijednost procjenjuje na 500 milijuna kuna i to iz susjednih zemalja u regiji.

Kako bi opstale, veće hrvatske tvrtke su selile svoje pogone i tražile koncesije i dozvole za vađenje šljunka i pijeska u Mađarskoj, Sloveniji, Srbiji i BiH. Najveći paradoks je bio što se materijal izvađen iz graničnih vodotoka Dunava, Drave i Save zatim prodavao u Hrvatskoj.

Prijedlogom novog zakona o vodama koji je 2009. Prihvaćen u Saboru, šljunčarenje na rijekama opet je postalo legalno te se uveo institut koncesije. Prema novom zakonu, koncesionari će po svakom m³ izvađenog riječnog nanosa plaćati 3 eura naknade, što bi u državni proračun moglo donijeti 30-tak milijuna eura godišnje, a time bi se provodila i službena evidencija količina izvađenog riječnog materijala.

Novom zakonu su se protivile nevladine udruge koje promiču ideje o ekološkoj održivosti, naglašavajući da se sliv Mure, Drave i Dunava nalaze pod zaštitom Regionalnih parkova i Parkova prirode kao i Nature 2000. Međutim, novi zakon je 2016. godine ipak izglasan i postao važeći.

4.1.2. Značajni pritisci na pronos nanosa u rijeci Dunav, Drava i Sava

DUNAV

U poglavlju 2.3. *Prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka o nanosu na rijeci Dunav* prethodno su dani opći podaci o Dunavu koji protječe kroz teritorij Republike Hrvatske. Međutim, s aspekta analize utjecaja na režim pronosa nanosa treba dodatno naglasiti nekoliko važnih činjenica.

Rijeka Dunav, po duljini je druga rijeka u Europi (iza Volge); duga 2780 km (u Hrvatskoj 138 km). Protječe kroz devet europskih država ili je njihova granična rijeka (Njemačka, Austrija, Slovačka, Mađarska, Hrvatska, Srbija, Rumunjska, Bugarska i Ukrajina). Porječje Dunava obuhvaća površinu od 817 000 km², u Hrvatskoj 1872 km², odnosno 7,8% europskog prostora. U Dunav utječe oko 300 pritoka, od kojih je više od 30 plovnih.

Dunav je zbog različitih gabarita, prepreka i brzina vode podijeljen na nekoliko sektora:

- Gornji Dunav - od Regensburga do Gonyu, dužine 588 km;
- Srednji Dunav - od Gonyu do Moldava Veche, dužine 743 km;
- Đerdap - od Moldava Veche do Turnu Severina, dužine 117 km;
- Donji Dunav - od Turnu Severina do ušća u Crno more, dužine 931 km.

Gornji Dunav ima karakteristike planinske rijeke; tamo se visinska razlika svladava s pomoću određenog broja prijevodnica. Srednji Dunav ima sve karakteristike nizinske rijeke i povoljne uvjete za plovidbu svih vrsta riječnih plovila. Đerdap je planinska klisura gdje je plovidba dosta komplicirana ali je s pomoću modernih tehničkih sredstava, te izgradnjom Sipskoga kanala i određenog broja prijevodnica, taj problem riješen. Sektor Donjeg Dunava ima relativno povoljne uvjete za plovidbu uz određene hidrotehničke radove kojima bi se poboljšala plovidba za vrijeme niskog vodostaja.

Vežano za korištenje rijeke i njenog potencijala treba spomenuti glavne dionike na slivu koji jesu, ili bi trebali biti zainteresirani za protočni režim i režim pronosa nanosa na Dunavu prema slici 4.1.1. Dakako, svi ti dionici imaju nesaglediv utjecaj na kvalitetu i količinu nanosa koji se pronosi Dunavom. U nastavku su navedeni samo najvažnije kategorije korištenja rijeke:

- a) Dunav je važna plovna arterija europskog kontinenta
- b) Raspolaže velikim hidroenergetskim potencijalom te su na samom koritu i cijelom slivu izgrađene mnoge velike hidroelektrane,
- c) Njegove vode koriste se za navodnjavanje
- d) Ribarstvo, od kojega su nekada živjele tisuće priobalnih stanovnika, opada posljednjih desetljeća zbog kvalitete vode,
- e) Protječe kroz velika europska urbana područja i spaja glavne gradove država kroz koje protječe, što za posljedicu ima pogoršanje kvalitete vode kroz opterećenje otpadnim vodama.

Uzimajući u obzir međunarodni plovni put, treba naglasiti da je Dunav 1878. g. na Berlinskom kongresu proglašen međunarodnom rijekom pa je državama koje izlaze na Dunav nametnuta međunarodna nadležnost. No budući da je, nakon tog sporazuma, slijedilo razdoblje svjetskih ratova i raspada država koje su sudjelovale na Berlinskom kongresu, godine 1948. u Beogradu je održana Dunavska konferencija, gdje je potpisana Konvencija o slobodnoj trgovačkoj plovidbi. Tim sporazumom precizno su utvrđena pravila plovidbe Dunavom, kao i način obavljanja svih radova koji su u službi održavanja dunavskoga plovnog puta.

Posebno značenje u plovnosti Dunava imaju umjetni kanali, koji su već od 18.st. imali veliko značenje u povezivanju s ostalim porječjima. Izgrađen je Ludwigov kanal (1836–45) u Njemačkoj, koji povezuje Kelheim na Dunavu i Bamberg na Majni, zatim Veliki kanal (123 km), koji se pruža od Bezdana do Bečeja, i Mali bački kanal (66 km) u Srbiji. Danas je kanalska mreža mnogo bolje uređena; izgrađeni su novi hidrosustavi (Dunav–Tisa–Dunav u Srbiji), koji su znatno pridonijeli regulaciji plovnosti u porječju Dunava. Izgradnjom 64,2 km dugog kanala Dunav–Crno more (dovršen 1984; plovni za brodove do 5000 t nosivosti) koji se pruža između Cernavode i Agigee kraj Constanțe, skraćena je plovidba Dunavom za 400 km, pa je time znatno smanjen i promet u kanaliziranom rukavcu Sulini. Veliko

međunarodno značenje ima i 171 km dug kanal Majna–Dunav, završen 1992., koji povezuje Dunav preko Rajne (Rajna–Majna–Dunav) sa Sjevernim morem (duljina oko 3500 km), čime se dodatno povećao obujam riječnog prometa; a danas on iznosi oko 300 milijuna tona tereta godišnje.

Plovni put Dunava u granicama Republike Hrvatske ubraja se u IV klasu plovnih putova prema Europskoj Ekonomskoj Komisiji. U okviru Dunavske komisije dogovoreno je do niska plovidbena razina i tzv. visoka plovidbena razina (VPV) za trajnost protoka od 1 % (PP=100, pojava jednom u sto godina).

Definicija plovnog puta je pojas na unutarnjim vodama određene dubine, širine i propisanih gabarita koji je uređen, obilježen i otvoren za sigurnu plovidbu. Definiran je plovnim koritom i radijusom zavoja kod niskog plovnog vodostaja (NPV), te slobodnim gabaritima ispod mostova i zračnih kabela ispod visokog plovnog vodostaja (VPV).

NPV – je određen temeljem statističkog proračuna trajnosti vodostaja iz 25 godišnjeg razdoblja opažanja a odgovara vodostaju 95%-tne trajnosti.

VPV – je određen temeljem statističkog proračuna trajnosti vodostaja iz 25 godišnjeg razdoblja opažanja a odgovara vodostaju 1%-tne trajnosti.

Dunav ima velik broj luka i pristaništa. Zbog velikog obujma prometa koji se tu odvija, neka od pristaništa, napose na području kanala Rajna-Majna-Dunav, postala su i veliki logistički centri, s godišnjim prometom od nekoliko milijuna tona tereta. Od važnijih luka na Dunavu valja spomenuti Regensburg, Passau, Beč, Budimpeštu, Vukovar, Beograd, Constanta.

Mrežu plovnih putova na unutarnjim vodama u Hrvatskoj čine prirodni tokovi rijeke Dunava u dužini 137,5 km, rijeke Save 446 km, rijeke Drave 198,6 km i rijeke Kupe 5 km.

Plovni put rijeke Dunav (E-80) cijelom dužinom u RH od Batine do Iloka (od 1433 rkm do 1295,5 rkm) osposobljen je i obilježen za dnevnu i noćnu plovidbu i njegovi gabariti odgovaraju zahtjevima VI c međunarodne klase.



Slika 4.1-2:- Praćenje širine i dubine plovnog puta na Dunavu od strane Agencije za vodne puteve

Plovni put rijeke Save (E-80-12) u RH od ušća Kupe nizvodno do Jamene-granica sa SRJ (od rkm 583 do rkm 207) odgovara zahtjevima III klase plovnosti, dok na dijelu od rkm 583 do Rugvice rkm 653 odgovara zahtjevima II klase plovnosti. Na dijelu od ušća Kupe do Jamene plovni put je djelomično osposobljen i obilježen za dnevnu plovidbu, dok na dijelu od ušća Kupe do Rugvice Sava nije osposobljena za komercijalnu plovidbu.

Plovni put rijeke Drave (E-80-08) u RH od ušća u Dunav rkm 0 do Osijeka rkm 22 odgovara zahtjevima IV klase plovnosti, na dijelu od Osijeka rkm 22 do Donjeg Miholjca rkm 82 odgovara zahtjevima III klase plovnosti i na dijelu od Donjeg Miholjca rkm 82 do rkm 198,6 odgovara zahtjevima II klase plovnosti. Na dijelu od ušća u Dunav do nove luke rkm 13 plovni put je osposobljen i obilježen za dnevnu i noćnu plovidbu te na njemu se odvija najintenzivnija plovidba, dok je na dijelu od rkm 13 do 198,6 plovni put obilježen samo za dnevnu plovidbu i na njemu se uglavnom odvija plovidba koja je vezana uz eksploataciju šljunka, pijeska i drvene mase. Obilježavanje rijeke Drave od rkm 0 do rkm 125,6 prema međudržavnom sporazumu vrši RH, a od rkm 125,6 do rkm 198,6 vrši Republika Mađarska.

Preporukama o gabaritima plovnog puta za hrvatski dio Dunava, kao i ostale dijelove na kojima vlada prirodni režim plovidbe utvrđeni su sljedeći gabariti plovnog puta u odnosu na nisku plovidbenu razinu:

1. širina plovnog puta u pravcu B = 180 m
2. širina plovnog puta u zavoju B = 200 m
3. dubina ispod niske plovidbene razine h = 2,5 m
4. najmanji radijus zavoja R = 1000 m ; $R_{\min} = 750$ m

Najniža točka konstrukcije u plovnom otvoru mosta:

1. iznad visoke plovidbene razine H = 9,0 m
2. na usporenom dijelu toko H = 10,0 m

Širina plovnog otvora mosta pri niskoj plovidbenoj razini:

1. na dijelu od granice do ušća rijeke Drave $L_{m/n} = 80,0$ m
2. nizvodno od ušća Drave $L_{\min} = 150,0$ m

Za promjene u prirodnom režimu pronosa nanosa veliki utjecaj imaju do sada izrađeni radovi na regulaciji Dunava koji se uglavnom mogu podijeliti u tri razdoblja: do 1918. godine, između dva rata i poslije II svjetskog rata.

Najobimniji radovi obavljani su u razdoblju do 1918. godine kada je izgrađeno oko 140 km regulacijskih radova. Između dva rata vršene su samo najneophodnije intervencije i u tom je razdoblju izvedeno tisuća metara vodograđevina. U poslijeratnom razdoblju do 1965. godine provedene su samo najneophodnije radnje i intervencije u koritu Dunava i u tom razdoblju izgrađeno je oko 15 km vodnih građevina.

Opsežniji radovi na regulaciji Dunava za plovidbu počeli su 1965. godine kada je prihvaćen investicijski program uređenja Dunava za plovidbu od Beograda do jugoslavensko-mađarske granice. U cilju poboljšanja uvjeta plovidbe i evakuacije velikih voda izgrađeno je

i 20 km prosjeka na dijelovima meandara (Blaževački, rkm 1421-1418; Sigajski, rkm 1417-1408; Dravski, rkm 1386-1383 i Mohovski, rkm 1308-1314).

Na sektoru Batina (Bezdan) – mađarska granica rkm 1426-1433 radovi su uglavnom dovršeni u cijelosti. Zahvaljujući tome na tom sektoru moguća je danonoćna dvosmjerna plovidba. Jedna od težih dionica na hrvatskom dijelu Dunava bila je Čivutski rukavac (rkm 1400-1394). Izvođenjem regulacijskih radova plovni put je ustaljen i osigurani su preporučeni plovidbeni gabariti.

Na sektoru ušće Drave-Aljmaš (rkm 1 383-1 380) ustaljena je trasa plovnog puta, osigurani gabariti za plovidbu i poboljšani uvjeti ulaska iz plovnog puta Dunava u plovni put rijeke Drave do Osijeka. Međutim, neposredno prije ušća Drave u Dunav u mjestu Bijelo Brdo, redovito se moraju uklanjati velike količine suspendiranog nanosa koje dolaze Dravom i talože se neposredno prije ušća.

Izgradnjom podvodnih pragova spriječeno je daljnje produbljenje korita na sektoru Staklar, rkm 1377-1373. Uklonjeni su ostaci porušene vodograđevine i izvršeno je osiguranje lijeve obale tako da su uvjeti plovidbe znatno poboljšani.

Izgradnjom sustava regulacijskih građevina na sektoru Erdut (Bogojevo) rkm 1369-1360 spriječena je pojava pješćanih sprudova u plovnom putu i osigurani su plovidbeni gabariti.

Sektor Dalj, rkm 1359-1350 poznat je po oštrom zavoju na kojem pri niskim vodostajima plovni put nema potrebnu širinu, a i preglednost u plovnom putu je znatno smanjena. Izvršenim regulacijskim radovima povećana je širina plovnog puta, ali je potrebno stalno održavanje i uređenje tog sektora.

Sektor Savulja, rkm 1350-1347 na kojem su radovi bili započeti 1982. godine također predstavlja okosnicu problema u rješavanju hrvatskog dijela Dunava.

U regiji Mohovskog prosjeka, rkm 1315-1308 izvršeno je osiguranje lijeve i desne obale i spriječeno dalje širenje korita. Osiguranjem obala spriječeno je pogoršanje stanja na kojemu se nalazi kamenito dno. Regulacijskim mjerama poboljšala se trasa plovnog puta i osigurali potrebni gabariti na sektoru Neštin – Susek, rkm 1295-1277. Na sektorima Banoštor i Futog, rkm 1277-1261 korito Dunava bilo je vrlo široko uz pojavu rukavaca i riječnih otoka (ada). Pri niskim vodostajima na ovom sektoru dolazilo je do smetnji za plovidbu jer nisu bili osigurani potrebni plovidbeni gabariti.

Izgradnjom sustava regulacionih građevina voda je koncentrirana u glavni tok čime su na većem dijelu osigurani plovidbeni gabariti, ali je to istovremeno negativno djelovalo na ravnotežu pronosa nanosa duž vodotoka.

Analizom utjecaja dionika na slivu Dunava u zaključku se može konstatirati da primarnu ulogu na protočni režim, promjene u režimu nanosa i morfološke promjene u koritu ima plovidba, odnosno održavanje plovnog puta na analiziranoj dionici između Batine i Iloka. Na eroziju korita dodatno utječu brodovi koji, posebice pri niskim vodostajima, radom motora u koritu podižu koritoformirajući nanosa sa dna. Sve to, uz istovremeni deficit doprinosa

nanosa sa sliva i uzvodnog toka uslijed regulacija, brana i stepenica, dugoročno predstavlja negativan proces.



Slika 4.1.2-2: Podizanje sedimenta uzrokovano radom motora i manevriranjem prilikom pristajanja broda u luci Vukovar za vrijeme malih voda

Prethodno prikazani podaci u poglavlju 2.3 *Prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka o nanosu na rijeci Dunav* pokazuju da na hrvatskom dijelu Dunava nema sustavnog monitoringa riječnog nanosa. Također nema niti povijesnih nizova podataka vezano za koncentracije ili pronos nanosa ili njegov granulometrijski sastav. Razlog tome je što je u prošlosti monitoring hidroloških podataka pa i režima nanosa bio u nadležnosti Saveznog hidrometeorološkog zavoda u Beogradu. Trenutkom osamostaljenja Republike Hrvatske i mirne reintegracije Podunavlja, Dunav je postao granična rijeka između Republike Hrvatske i Srbije te je Državni hidrometeorološki zavod Republike Hrvatske uspostavio monitoring vodostaja i protoka na desnoj obali Dunava. Redoviti monitoring nanosa do sada se nažalost nije uspostavio, iako u arhivu DHMZ-a postoje podaci da je postojao monitoring nanosa na dva profila, kako slijedi:

1. Dunav – Bezdán (isti profil kao i Dunav – Batina), mjerenje suspendiranog nanosa započelo je 1959., ali je 90.-tih godina prekinuto i nije ponovno uspostavljeno
2. Dunav – Bogojevo, mjerenje suspendiranog nanosa započelo je 1965., ali je 90.-tih godina prekinuto i nije ponovno uspostavljeno.

Kao što je već spomenuto u poglavlju 2.3 jedini podaci vezano za monitoring nanosa na Dunavu u Hrvatskoj prikupljeni su u sklopu mjerenja suspendiranog nanosa na Dunavu kod Dalja u 1984/85. godini. Elaborat je izrađen u sklopu kompleksnih istražnih radova na

iznalaženju najpovoljnije lokacije za gradnju NE Slavonija na Dunavu kod Dalja, i daje preliminarne osnovne karakteristike o režimu suspendiranog nanosa kao i nekim karakteristikama nanosa s dna, uz iznošenje metodologije mjerenja. U prilogu poglavlja 2.3.3 dani su rezultati tih profilskih mjerenja kao i granulometrijski sastav suspendiranog nanosa i nanosa sa dna te su na osnovi tih rezultata moguće samo orijentacijske veličine u pogledu nanosa na mjernom profilu Dunav-Dalj.

Ipak, temeljem raspoloživih podataka od 2006. do 2016. godine može se utvrditi da krivulje protoka pokazuju promjenjivost korita Dunava u smislu produbljivanja dna, što je popraćeno odgovarajućim promjenama konsumpcijskih odnosa u danim profilima (slike u prilogu poglavlja 3.3). Iz navedenih prikaza povijesnih protočnih krivulja uočava se kontinuirano povećanje protoka pri istim vodostajima, što je evidentno iz pomicanja krivulja protoka u desno u svim analiziranim profilima.

Prisutno sniženje vodostaja, odnosno produbljenje korita vidljivo je na svim profilima hidroloških postaja na Dunavu. Raspoložive snimke poprečnog presjeka korita u razdoblju 2010. do 2015. godine pokazuju da se u razmatranom razdoblju od 2006. godine u području malih voda na lokacijama hidroloških stanica sniženje korita Dunava kreće oko 20-tak cm, odnosno oko 30-tak cm prosječno u području srednjih voda do najviše 50 cm (na h. s. Batina).

Bez obzira na novije promjene korita, treba zaključiti da se podaci i analize u prilogu ne mogu koristiti za donošenje relevantnih zaključaka o stvarnim promjenama riječnog korita, zbog relativno kratkog razdoblja raspoloživih mjerenja.

DRAVA

U poglavlju 2. *Bilanca nanosa, 2.1. Prikupljanje, analiza i ocjena postojećih podataka na rijeci Dravi* dani su opći podaci vezano za vodotok i ukupan sliv rijeke Drave.

Kao što je već spomenuto, građenje hidroelektrana na gornjem toku Drave u Hrvatskoj (lit. 72) započelo je početkom sedamdesetih godina i rezultiralo je puštanjem u pogon HE Varaždin 1975. godine, HE Čakovec 1982. i HE Dubrava 1989. godine. Sve tri elektrane su derivacijskog tipa, a ukupni volumen pripadajućih akumulacijskih jezera im iznosi 151,90 hm³. Izgrađene hidroelektrane su višenamjenski objekti, jer se osim za proizvodnju električne energije, koriste i za obranu od poplava, za sport i rekreaciju, a mogu se koristiti i za navodnjavanje poljoprivrednih površina, za uzgoj riba, te eventualno za potrebe vodoopskrbe. Tijekom devetnaestog i dvadesetog stoljeća na donjem toku Drave prokopani su brojni meandri čime je duljina riječnog toka između ušća Mure i ušća u Dunav svedena gotovo na polovicu ranije dužine (lit. 72), a početkom dvadesetog stoljeća započelo je građenje obrambenih nasipa i ostalih regulacijskih građevina koje je intenzivirano sredinom sedamdesetih godina.

Za veće riječne brodove Drava je plovna samo na najnižvodnijoj dionici na širem području Osijeka.

Sliv rijeke Drave je smješten u pet država pa tako postoje i različiti interesi vezani za korištenje rijeke, različite mjere protiv šteta od erozije zemljišta, poplava, klizišta, suša, velikih voda, onečišćenja voda, pronosa nanosa, korištenja hidroenergetskih potencijala, plovidbe, vodoopskrbe i sl.

Uređenje korita, smanjenje poplavnih područja izgradnjom nasipa i različitih regulacijskih građevina, zatim, gradnja hidroelektrana i ostalih velikih hidrotehničkih objekata uzduž korita rijeke Drave kao i u njenom slivu u Austriji, Sloveniji i Mađarskoj uvelike su utjecali na njezin vodni režim. Te promjene odražavaju se kao promjene u sezonskim varijacijama protoka, promjene u frekvenciji, trajanju i amplitudama poplavnih događaja, promjene u niskim razinama vodostaja i podzemnih voda, promjene u stupnju porasta odnosno opadanja vodnih valova, a sve to direktno utječe na režim pronosa nanosa.

Vezano za antropogene utjecaje na rijeci Dravi rijeka ima dva izrazito različita dijela na svom toku kroz Hrvatsku. Prirodni tok uzvodnog dijela rijeke od izvora sve do izlaza iz HE Donja Dubrava je snažno i potpuno izmijenjen izgradnjom i radom hidroelektrana, regulacijama riječnog toka i značajnim intervencijama i promjenama u načinu otjecanja sa susjednih slivova (urbanizacija, industrijalizacija, intenzivna poljoprivredna proizvodnja, crpljenje podzemnih voda, itd.) Važno je naglasiti da je uzvodno od ušća Mure na Dravi izgrađeno ukupno 22 hidroelektrane, od čega 11 u Austriji, 8 u Sloveniji i 3 u Hrvatskoj. U Austriji su izgrađena i četiri hidroenergetska sustava na gornjim horizontima sliva.

U Hrvatskoj su zgrađene tri dolinske hidroelektrane: HE Varaždin (1975.godine), HE Čakovec (1982.godine) i HE Dubrava (1989.godine). Prirodni tok rijeke od Donje Dubrave do hrvatsko – slovenske granice po riječnim kilometru prije izgradnje ovih triju hidroelektrana bio je dugačak **80,8** km. Danas se korito sastoji od:

- **akumulacijska jezera** hidroelektrana, u dužini od **23,4 km**
- **stara korita** uz hidroelektrane, u dužini od **54,1 km**
- **derivacijski kanali** hidroelektrana, u dužini od **29,9 km**



Slika 4.1.2-3: Presječeni stari meandri nakon izgradnje hidroelektrana na Dravi

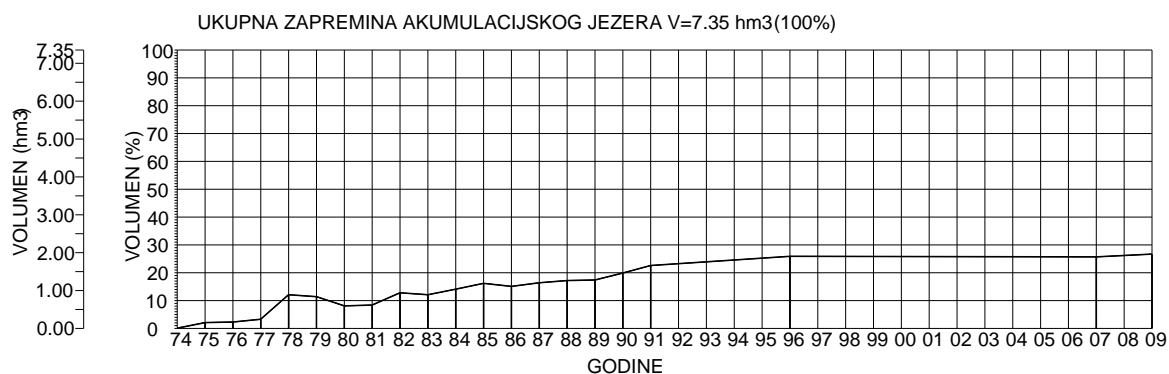


Slika 4.1.2-4: Izmjenjeno ušće pritoke u Dravu nakon izgradnje akumulacije HE Dubrava

Velike dnevne amplitude u rastu i opadanju vodostaja kao posljedica rada hidroelektrana rezultiraju erozijom obala i korita. Iz godišnjih pregleda vodostaja i protoka na hidrološkim postajama nizvodno od HE Donja Dubrava vidljive su dnevne oscilacije koje na hidrološkoj postaji Botovo iznose i do 150 cm. Kod naglog podizanja vodostaja i brzina toka dolazi do efekta podizanja finih frakcija koritoformirajućeg nanosa koji se nošen vertikalnom komponentom brzine u turbulentnom toku pronosi dalje nizvodno do mirnijih dionica korita. Budući da se ti procesi odvijaju na dnevnoj bazi čestim izmjenama protočnog režima uslijed rada hidrocentrala, dnevne količine odnešenog nanosa sa dna mnogo su veće u usporedbi sa takvim prirodnim procesom koji se odvija daleko rjeđe. One nisu samo opasne za stabilnost korita nego predstavljaju i rizik za stabilne ekološke procese.

Za akumulacijsko jezero HE Varaždin, na raspolaganju su za izradu ovog poglavlja bili i rezultati analize zapunjavanja nanosom (lit.76.) koji su prikazani na slici 4.1.2-5. Iz prikaza je vidljivo da se zapunjenost jezera kroz cijelo razdoblje eksploatacije od 1974. do 2009. godine procjenjuje na oko 2 000 000 m³ nanosa na dnu jezera, što iznosi oko 27% ukupnog volumena jezera uz normalnu kotu uspora.

HE VARAŽDIN - UKUPNA KOLIČINA NANOSA U AKUMULACIJI OD 1974. DO 2009. GODINE.



Slika 4.1.2-5: Rezultati analize zapunjavanja nanosom akumulacijskog jezera HE Varaždin



Slika 4.1.2-6: Pogled na područje repa akumulacijskog jezera HE Varaždin sa desnog uspornog nasipa u kolovozu 2009.

Iz poprečnih profila korita na hidrološkim postajama nizvodno od HE Dubrava (u prilogu poglavlja 2) jasno je vidljivo da su promjene u geometriji korita relativno brze u kratkom vremenu. Proces produbljivanja i erozija korita vidljiv je i na donjem toku Drave, odnosno na hidrološkim postajama Terezino Polje, Donji Miholjac i Belišće. Iz tog razloga protočne krivulje na hidrološkim postajama duž analizirane dionice Drave nisu stabilne, posebice u domeni malih voda. U razdoblju od 1975. do 2000. promjene u protočnim krivuljama bile su vrlo česte, posebice u malim vodama.

Kada rijeka teče kroz svoju aluvijalnu ravninu, ona često meandrira ili se pak njen tok dijeli i isprepliće, što je tipično za donji tok rijeke Drave. No i taj prirodni tok je nešto izmijenjen, doduše ipak značajno manje u usporedbi sa uzvodnim tokom. Kao što je to već ranije napomenuto u pog. 2, tijekom devetnaestog i dvadesetog stoljeća na donjem toku Drave prokopani su brojni meandri čime je duljina riječnog toka između ušća Mure i ušća u Dunav svedena gotovo na polovicu ranije dužine, a početkom dvadesetog stoljeća započelo je građenje obrambenih nasipa i ostalih regulacijskih građevina koje je intenzivirano sredinom sedamdesetih godina. Između Botova i Donjeg Miholjca su uglavnom sačuvani dijelovi sa paralelnim tokom, a stari meandri su u funkciji samo u velikim vodama, kada se pune i ponašaju kao prirodne retencije gdje se odlaže i zadržava suspendirani nanos.

Situacija u donjem dijelu toka ipak je znatno drugačija od gornje dionice jer Donja Drava u graničnom dijelu između Hrvatske i Mađarske predstavlja jedinstven riječni sustav u dužini od 380 km bez brana i pregrada. U tom dijelu rijeka Drava zajedno sa svojim pritokama predstavlja jedno od posljednjih prirodnih riječnih staništa u Srednjoj Europi sa tipičnim

prirodnim riječnim elementima kao što su: veliki prirodni otoci, šljunčani i pješčani sprudovi, glinene litice, autohtona vegetacija gdje su pronašle stanište zaštićene vrste ptica i životinja, paralelni tokovi, riječni zavoji i meandri.

Indirektni utjecaji poput korištenja zemljišta, urbanizacije, deforestacije, eliminacije močvarnih i vlažnih staništa, promijenili su protočni režim, pronos nanosa, ekološke parametre i ekološku ranotežu rijeke.

Analizom novijih geodetskih snimki poprečnog profila u akumulacijama koje HEP redovito vrši u svhu kontrole njihovog zapunjavanja (Bonacci, Oskoruš, 2010), utvrđeno je da samo manji dio količine nanosa ostaje u akumulacijama. Uzrok redukcije suspendiranog nanosa koje je očito nizvodno od Dravskih hidroelektrana moglo bi biti isključivanje oko 60 km korita iz protočnog režima kao i prekid prihranjivanja nanosa sa okolnog sliva. Budući da između akumulacija starim koritom Drave uglavnom protječe samo biološki minimum, taj protok nije dovoljan za pokretanje nanosa dnom korita. Veliki dio godine staro korito Drave je zaraslo vegetacijom koje povezuju šljunčano-pješčani sprudovi.

Velike količine šljunka i pijeska su izvađene iz korita i njegove blizine za potrebe građevinske industrije. Te aktivnosti nisu bile pod odgovarajućim nadzorom i usprkos velikim naporima nije moguće dobiti službene i vjerodostojne podatke o količinama izvađenog materijala. Vrlo gruba procjena više-manje službenih količina izvađenog materijala u Hrvatskoj i Mađarskoj u prošlim desetljećima iznosi oko 300 000 m³ na godinu, ali u nekim godinama moglo bi biti i znatno više. Procjena količine ilegalno izvađenog materijala nije poznata (Bonacci, Oskoruš, 2018).

SAVA

Sa svojim prosječnim protokom na ušću od oko 1.564 m³/s, rijeka Sava predstavlja najvažniju pritoku Dunava, s gotovo 25% ukupnog protoka Dunava na točki njihova spajanja u Beogradu, stoga održivo upravljanje sliva rijeke Save ima znatan utjecaj na područje sliva rijeke Dunav. Sliv Save je asimetričan i razveden, pri čemu desnoobalni pritoci čine 75% površine sliva, a lijevoobalni 25%.

Uzdužni pad rijeke Save na ovoj dionici može se podijeliti na tri karakteristične poddionice:

- od Jesenica do Podsuseda 0,867 m/km
- od Podsuseda do Rugvice 0,660 m/km
- od Rugvice do Siska 0,051 m/km.

Rijeka Sava i nizvodni dijelovi njezinih pritoka tipični su aluvijalni vodotoci čija su korita usječena u vlastite nanose, uz stalnu izmjenu čestica nanosa između riječnog dna i suspenzije. Grube čestice nanosa (šljunak, grubi i srednje sitni pijesak) kreću se duž riječnog dna kao *vučeni nanos*, dok su finije frakcije (fini pijesak, mulj i glina) suspendirane u vodi i kreću se kao *suspendirani nanos*. Dio suspendiranog nanosa u stalnoj je izmjeni s materijalom na riječnom dnu i sudjeluje u morfološkim procesima kao koritoformirajući nanos (materijal dna korita); dok najsitnije čestice prolaze bez ikakve interakcije s dnom rijeke (eng. "wash-load") Načelno govoreći, rijeka Sava je bila meandrirajuća rijeka u gotovo čitavom svom srednjem i donjem toku. Dio riječne dinamike uključuje stalne pomake riječnog korita uzrokovane erozijom obala i/ili taloženjem sprudova. Širok riječni koridor

sadrži potkovičasta jezera, poluaktivne rukavce i paralelne kanale.

Intenzivno jaružanje, koje uglavnom utječe na bilancu vučenog nanosa, odvijalo se duž korita rijeke Save, no podaci o jaružanju nisu se prikupljali sustavno. U slivu rijeke Save na području Republike Hrvatske *akumulacije* se grade jedino na pritokama, što utječe i na vučeni nanos i na suspendirani nanos. Protočne riječne *hidroelektrane* u gornjem toku rijeke Save utječu i na režim pronosa vučenog i suspendiranog nanosa. Ovdje treba naglasiti da postoji opći manjak podataka u vezi s procesima zaustavljanja nanosa u akumulacijama na uzvodnom dijelu sliva rijeke Save.

Potreba za uređenjem rijeke Save i zaštitom od poplava rasla je s porastom stupnja *urbaniziranosti* savske doline. Regulacijski i zaštitni radovi poduzimani tijekom prve polovine 20. stoljeća nisu bili sustavni. Ranjivost sustava bila je evidentna 1964. godine kada se dogodila katastrofalna poplava s ljudskim žrtvama i velikom materijalnom štetom. To je bio impuls za pripremu kompleksnog rješenja zaštite od poplava na slivu rijeke Save.

Nakon poplave 1964. godine pristupilo se sustavnoj izgradnji novih i proširenju postojećih savskih nasipa, prije svega na području Grada Zagreba. Konačno rješenje zaštite od poplava Srednjeg Posavlja usvojeno je na temelju Studije regulacije i uređenja rijeke Save u Jugoslaviji (1973, Zagreb, Polytechna Hydroprojekt-Carlo-Lotti & CO, Prag-Rim), međutim sustav nije u potpunosti realiziran.

Dugogodišnjim radovima na *regulaciji rijeke Save* znatno se promijenio vodni režim, režim pronosa nanosa te se izmijenio karakter rijeke. Od širokog protočnog profila s mjestimično paralelnim i isprepletenim tokom uz prisutne sprudove i šljunčane otoke, stvoren je koncentriran tok s velikim padom dna i brzinama, a rijeka Sava je svedena na uski i duboki profil. To je posebno izraženo gornjem toku od granice sa Republikom Slovenijom do Zagreba, gdje se rijeka od mreže manjih paralelnih tokova pretvorila u gotovo ravni kanal koji pravilno protječe kroz grad.

Prema geodetskim snimkama i uočenim problemima s infrastrukturom evidentna je pojava produblivanja korita rijeke Save, odnosno njenog usijecanja u postojeće naslage šljunka. Donosa šljunka iz uzvodnijih dijelova sliva gotovo i nema, pa su u koritu rijeke Save na ovoj dionici dominantni erozijski procesi. Tome je pridonijelo prekomjerno *vađenje šljunka, izgradnja regulacijskih, protuerozijskih i ostalih građevina na uzvodnom dijelu sliva, a posebno izgrađene hidroelektrane na rijeci Savi u Republici Sloveniji*.

Hydroenergetski potencijal rijeke Save se na području Slovenije u značajnoj mjeri već koristi za proizvodnju električne energije. Na gornjem dijelu toka rijeke Save izgrađene su HE Moste, HE Mavčiće i HE Medvode. Na srednjem dijelu toka, između Ljubljane i Radeča, planiran je lanac od deset hidroelektrana. Sa realizacijom lanca hidroelektrana na donjem dijelu toka rijeke Save, tj. na Donjoj Savi, Slovenija je započela 1987. godine izgradnjom HE Vrhovo. Do danas su, uz HE Vrhovo, u pogonu još HE Boštanj (2006.), HE Blanca (2009.), HE Krško (2012.) i HE Brežice (2017.). Neposredno uzvodno od državne granice s Republikom Hrvatskom gradi se i HE Mokrice.

Od značajnih utjecaja na režim tečenja u razdoblju malih i srednjih voda na dionici Save od granice sa Slovenijom do Rugvice ističe se izgradnja uspornih pragova koji su formirani u cilju osiguranja rada rashladnog sustava Termoelektrane – toplane Zagreb.

Termoelektrana-toplana (TE-TO Zagreb) puštena je u pogon 1962. godine. Za potrebe zahvata rashladne vode iz rijeke Save izgrađena je na lijevoj obali crpna stanica s dovodnim kanalom. U prvoj polovici osamdesetih godina, kao posljedica globalnog procesa sniženja dna savskog korita, započinju problemi vezani uz nesmetanu opskrbu TE-TO Zagreb potrebnim količinama rashladne vode. Na temelju provedenih analiza, pokazalo se da je najpovoljnije rješenje izvedba podvodnog regulacijskog praga u riječnom koritu te je 1983. godine izgrađen podvodni regulacijski prag. Prag je usporio tok Save kroz Zagreb, a posljedično se usporio i proces produbljivanja korita uvodno od Zagreba. Međutim nizvodno od praga proces produbljivanja se intenzivirao.

Kontinuirane morfološke promjene u koritu rijeke Save nisu samo lokalnog karaktera, već se radi o globalnom procesu koji ima i svoje dalekosežne posljedice. Erozijski procesi mijenjaju karakteristike rijeke kako u poprečnom tako i uzdužnom smjeru, što rijeci Savi daje sasvim drugačija i nova hidraulička obilježja. U Strategiji upravljanja vodama („Narodne novine“, broj 91/08) postojeće stanje na rijeci Savi u sektoru zaštite od štetnog djelovanja voda opisano je kako slijedi:

„Od velikih voda Save primjereno je zaštićen samo grad Zagreb koji je, prema procjenama, siguran od 1.000-godišnjih velikih voda. Ostala područja uz Savu uglavnom su nedovoljno zaštićena. Uzvodno od Zagreba prema slovenskoj granici obrambeni nasipi samo su dijelom izgrađeni, pa su niže ležeći dijelovi nekoliko naselja šire zaprešićke i samoborske regije učestalo plavljeni. Nizvodno od Zagreba pa sve do granice sa Srbijom, mnoga područja uz Savu imaju nižu razinu sigurnosti od potrebne, jer je zaštitni sustav Srednje posavlje nedovršen, a postojeći obrambeni nasipi na mnogim su mjestima nedovoljno visoki. Sustav Srednje posavlje kanalima, ustavama i preljevima povezuje niz prirodnih retencija od poplava i izravno štiti prostore uz Savu između Podsuseda i Stare Gradiške te prostore uz Kupu nizvodno od ušća Dobre. Na tim područjima se nalaze veliki gradovi Zagreb, Sisak i Karlovac i na kojima danas živi više od milijun stanovnika.

Osnovne komponente ovog sustava obrane od poplava su:

I. **Oteretni kanali** (kanal Sava-Odra, kanal Lonja-Strug) – služe za evakuaciju viška vodnih količina iz Save u retencijske prostore, čime se kompenzira nedostatan kapacitet korita rijeke Save.

II. **Distribucijski objekti za manipulaciju** (preljev Jankomir, preljev Palanjek, preljev Košutarica, ustava Prevlaka, ustava Trebež) – služe za regulaciju vodnih količina unutar sustava.

III. **Retencijski (ekspanzijski) prostori** (Odransko polje, Žutica, Lonjsko polje, Opeka, Trstik, Mokro polje, Zelenik) – služe za prihvatanje viška voda, kod prolaska vodnog vala.

Na dijelu doline Save od Zagreba do Siska do danas je najviše učinjeno. Djelomično je izveden kanal Sava-Odra, a popratni nasipi uz Savu na području Zagreba su potpuno izgrađeni, čime je osigurana zaštita grada od poplava 1.000 godišnjeg povratnog razdoblja. Na nizvodnom dijelu Save djelomično su izgrađeni i rekonstruirani nasipi. U lijevom zaobalju izgrađena je ustava Prevlaka maksimalnog projektiranog kapaciteta od 450 m³/s i dio kanala Lonja-Strug. Pomoću ova dva objekta vrši se rasterećenje Save uzvodno od Siska, čime se postiže veći stupanj zaštite tog grada, ali i niza naselja koja su smještena nizvodno, jer je kapacitet korita limitirajući element na toj dionici, a linijski sustav obrane od poplave

(nasipi) nije adekvatan. Višak vode koji se rasterećuje ustavom Prevlaka prevodi se kanalom Lonja-Strug u retenciju Lonjsko polje (prvo u prostor Žutice, da bi se putem iskopane kinete kanala Lonja-Strug na dijelu Žutice i postojećom hidrografskom mrežom preveo u prostor Lonjskog polja). Na području grada Siska, 2011. godine izveden je preljeve Palanjek, koji također služi upuštanju voda Save u prostor Lonjskog polja.

Tijekom realizacije radova koji su vezani na prostor retencija i rijeke Save izvršeni su i regulacijski radovi na nizu vodotoka, kao i iskop glavnih odvodnih kanala koji predstavljaju osnovne recipijente ovog područja..

Na dijelu doline Save od Siska do Gradiške dijelom su rekonstruirani ili izvedeni novi nasipi uz Savu, kanal Lonja-Strug izgrađen je u punom profilu s obostranim nasipima od ustave Prevlaka do šume Žutica (7 km) te na najnižvodnijem dijelu kod Stare Gradiške (5 km). Duž retencije Žutica izgrađen je desni nasip kanala te lijevi nasip u duljini od 4 km. Desni nasip izgrađen je od Puske do Bročica, a samo lijevi od Gradiške do ušća vodotoka Sloboštine te od Žutice do Struša.

Većim dijelom su izvedeni i nasipi retencije Lonjsko polje. Izgrađenim nasipima dobro su definirane konture retencije Lonjsko polje, čime je osigurano njeno funkcioniranje, ali ne na razini koja joj je namijenjena, jer njen aktualni kapacitet odgovara oko 70% predviđene konačne vrijednosti.

Izvedena je ustava Trebež I, dimenzioniranog kapaciteta 500 m³/s, koja može djelovati kao upusno-ispusni objekt, odnosno, osim što služi za ispuštanje vode iz prostora Lonjskog polja u Savu, moguće je i njeno djelovanje u suprotnom smjeru, što je danas čest slučaj, a uvjetovano je stanjem na Savi i pritocima. Na taj način osiguravaju se prihvatljivije ekološke prilike na prostoru Parka prirode Lonjsko polje i šire. Tako je u sadašnjim uvjetima režim rada ustave prilagođen i provođenju mjera obrane od poplava i regulacije vodnog režima za ekološke potrebe, prema zahtjevima mjerodavnih institucija i korisnika tog prostora. Nadalje, uređen je niz vodotoka, lateralnih kanala i glavnih recipijenata za odvodnju zaobalja.

Prirodno ušće Trebeža služi kao mjesto rasterećenja Save u retencije Opeku i Trstik, i dalje u Mokro polje.

Na dijelu doline Save od Stare Gradiške do Jamene dijelom su rekonstruirani ili izvedeni novi nasipi uz Savu i usporni nasipi uz pritoke, izvedeni su ili rekonstruirani lateralni kanali i odvodni sustavi. Tim radovima postignut je viši stupanj zaštite i bolji uvjeti odvodnje postojećih melioracijskih područja.

Svi ovi opisani objekti i retencije koriste se za manipulaciju velikim vodama, odnosno za relaksaciju glavnog korita Save od velikih voda. Naravno da se time iz glavnog korita Save uklanjaju i velike količine suspendiranog nanosa koji se potom talože u retencijama i ne vraćaju se ponovno u korito

4.2 Ocjena rizika vezano za kontinuitet i količine nanosa

DRAVA

Uređenje korita, smanjenje poplavnih područja izgradnjom nasipa i različitih regulacijskih građevina, zatim, gradnja hidroelektrana i ostalih velikih hidrotehničkih objekata uzduž korita rijeke Drave kao i u njenom slivu u Austriji, Sloveniji i Mađarskoj uvelike su utjecali na njezin vodni režim. Promjene se odražavaju u sezonskim varijacijama protoka, u frekvenciji, trajanju i amplitudama poplavnih događaja, u režimu malih voda, i razina podzemnih voda, promjene u stupnju porasta odnosno opadanja vodnih valova, a sve to direktno utječe na režim pronosa nanosa.

Izgradnjom triju velikih hidroelektrana u Hrvatskoj praktički je prekinut transport nanosa sa dna (prvenstveno šljunka), što ima za posljedicu:

a) **Sniženje vodnog lica i razina podzemne vode u zaobalju**

Minimalni protok ($10 \text{ m}^3/\text{s}$) ili biološki minimum, koji se u 90 % vremena pojavljuje u starom koritu Drave, formira koncentrirani tok veličine malo većega potoka, što rezultira i sniženjem vodnog lica. Stari meandri i inundacije su veći dio vremena suhe te se intenzivira dreniranje inundacijskoga i obalnoga pojasa. Posljedica je sniženje razina podzemne vode u zaobalju

b) **Konstantno smanjenje propusne moći korita i inundacije za veliku vodu**

U vremenu od izgradnje hidroelektrana do danas uočeno je da razine velikih vodnih valova pokazuju trend porasta. U koritu je stalno prisutan jak razvoj vegetacije (zarašćivanje korita), što je jedan od značajnih razloga smanjenja propusnosti korita. Vegetacija u koritu ne stvara prepreku samo kod velikih voda već je nizvodni pronos nanosa po dnu, kako u malim, tako i kod srednjih voda.

U poglavlju 2 dani su prikupljeni podaci o mjerenjima suspendiranog nanosa na hidrološkim postajama na Dravi. Analiza pronosa godišnjih količina suspendiranog nanosa je provedena na nekoliko postaja duž Drave te su evidentirane značajne promjene po određenim razdobljima.

Na najuzvodnijoj hidrološkoj postaji **Varaždin** monitoring koncentracija suspendiranog nanosa vršio se u razdoblju od 1960. do 1981. sa ciljem kako bi se utvrdile godišnje količine pronosa nanosa P (t/god), odnosno njegov utjecaj na zapunjavanje buduće akumulacije HE Čakovec. Nakon što je 1982. dovršena izgradnja HE Čakovec, mjerenje suspendiranog nanosa na tom profilu je prekinuto. Ova postaja smještena je nekoliko km nizvodno od brane akumulacije Varaždin, točnije nizvodno od spoja starog korita Drave i derivacijskog kanala, uzvodno od cestovnog mosta Varaždin-Čakovec. Promatrajući niz podataka o godišnjem pronosu nanosa mogu se izdvojiti dva podrazdoblja.

Za razdoblje 1960.-1967., prije početka rada uzvodne HE Zlatoličje u Sloveniji, godišnje količine nanosa bile su 2,3 puta veće nego nakon njene izgradnje. U 2. razdoblju 1968.-1974. Akumulacija Varaždin uzvodno od hidrološke stanice, prouzročila je daljnji trend

opadanja godišnjih količina, a u 3. razdoblju 1975.-1981. za daljnjih 2,4 puta u odnosu na prethodno razdoblje ili 5,5 puta manje nego li u 1. razdoblju 1960.1967.

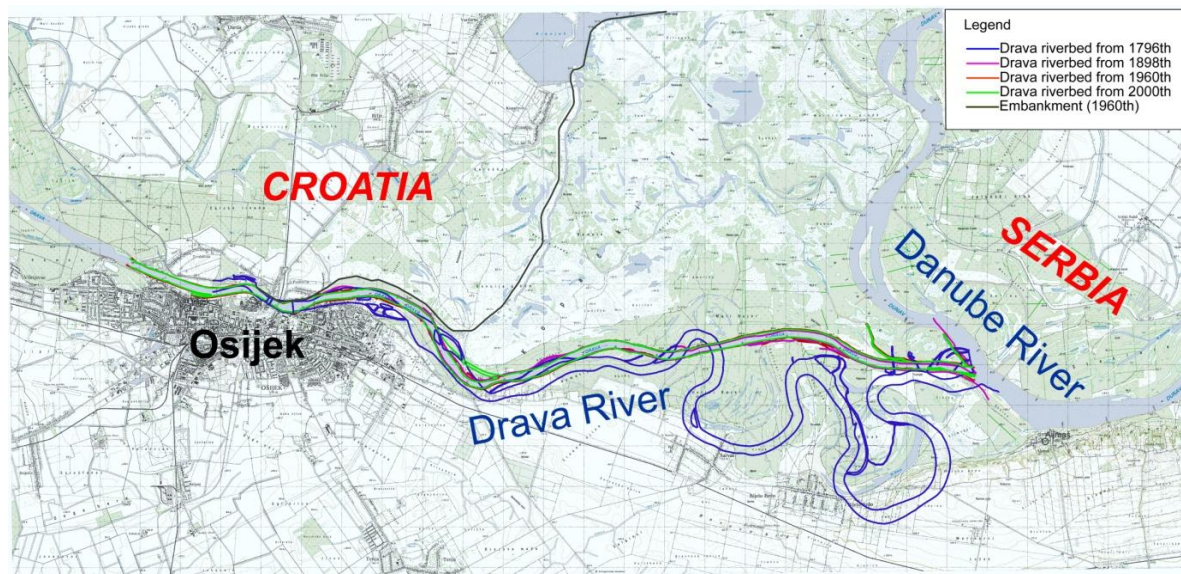
Slijedeća lokacija, na kojoj se dnevno mjere koncentracije nanosa od 1967. pa sve do danas, je *hidrološka postaja Botovo*. Ovaj profil je smješten 68 km nizvodno od brane akumulacije Varaždin, 48 km nizvodno od brane akumulacije Čakovec i 28 km od najnižvodnije brane na akumulaciji Donja Dubrava. Analizirajući cjelokupni niz podataka o godišnjem pronosu od 1967.-2015. na ovom profilu se može uočiti da je izgradnja akumulacije Varaždin prouzročila 17 % smanjenja pronosa suspendiranog nanosa u razdoblju od 1975.-1981. Izgradnja akumulacije Čakovec smanjila je pronos tog nanosa za 2,7 puta u usporedbi sa prvim periodom (1967.-1974.) i 2,2, puta nego u drugom razdoblju (1975.-1981.) Nadalje, izgradnja akumulacije Donja Dubrava smanjila je pronos nanosa za 3,4 puta nego li u 1. podrazdoblju (1967.-1974.), 2,8 puta u usporedbi sa 2. podrazdobljem (1975.-1981.) i 1,3 puta u odnosu na 3. podrazdoblje (1982.-1988.).

Nadalje, dana je analiza godišnjeg pronosa suspendiranog nanosa na profilu *Donji Miholjac*, u razdoblju 1968.-2015. Iako se lokacija ove hidrološke postaje nekoliko puta neznatno mijenjala, generalno se može reći da je ovaj profil smješten 218 km nizvodno od brane na akumulaciji Varaždin, 198 km od brane Čakovec i 178 km nizvodno od brane akumulacije Donja Dubrava. Iz grafičkog prikaza je vidljivo da konstrukcija brane na akumulaciji Varaždin nije prouzročila posljedice na pronos nanosa tijekom razdoblja 1968.-1981. ali je zato izgradnja akumulacije Čakovec smanjila pronos nanosa za 2,6 puta prema tom prvom razdoblju. Izgradnja akumulacije D. Dubrava smanjila je pronos susp. nanosa za 5,3 puta u odnosu na 1. podrazdoblje (1967.-1981.) i 2,1 puta u usporedbi sa 2. podrazdobljem (1982.-1988.). Danas samo oko 19-20% suspendiranog nanosa u odnosu na prvobitne količine iz razdoblja 1968.-1981. prolazi kroz profil Donji Miholjac.

Sa hidromorfološkog stanovišta posebno dinamična i nestabilna su riječna ušća pa tako ušće Drave i Mure mijenja svoj položaj svake godine. Prije 40 godina ušće Mure bilo je 900 m bliže Dravi nego što je to danas. U području ušća postoje dva velika meandra rijeke Drave. U slučaju prvog meandra rijeka Drava se približila i skoro spojila sa Murom tako da su dvije rijeke bile razmaknute samo 50 m jedna od druge a dijelio ih je veliki šljunčani otok. Taj razmak se postepeno smanjivao posljednjih godina tako da je na polovici Mura probila otok na dva mjesta i sada je ušće deltastog oblika sa nekoliko ulaza u Dravu uzvodno od starog ušća kod Legrada. Time se promijenio granulometrijski sastav šljunčanog nanosa na obali i sprudovima koji su bili omiljeno kupalište, a voda se zamutila pod utjecajem finih čestica suspendiranog nanosa (praha i organske tvari) koje donosi Mura.

Na ušću Drave u Dunav smjestio se Kopački rit koji predstavlja važnu i vrlo dobro zaštićenu vlažno-poplavnu močvarnu nizinu u Europi formiranu još za vrijeme pleistocena i holocena. Kopački rit je još 1967. bio zakonom zaštićen kao područje od značajne nacionalne vrijednosti, a 1993. je zaštićen Ramsarskom konvencijom i stavljen na popis svjetskih zaštićenih značajnih močvarnih područja. Promjenjiva razina vode u tom području kao i taloženje finog nanosa podupire široku lepezu biljnih i životinjskih vrsta. No, ipak, uspoređujući sa močvarnim područjem od 37000 ha iz 18. Stoljeća, postoji velika redukcija retencijskog poplavnog područja. U radu Tadić i dr., 2014 upozorava se da su regulacijski radovi skratili vodotok te povećali hidrodinamički gradijen, što je dovelo do intenziviranja erozijskih procesa i ubrzanog pronošenja finog nanosa nizvodno prema ušću Drave u Dunav kod Bijelog Brda, slika 4.2-1. Vezano za sve opisane uzroke, ocjena je da je rizik

vezan za promjene u režimu nanosa vrlo visok na čitavom toku rijeke Drave. Na slici 4.2-1 prikazane su povijesne promjene u tlocrtnom obliku korita Drave na dionici od grada Osijeka do ušća u Dunav (prikaz preuzet iz lit.77)



Slika 4.2-1: Povijesne promjene u obliku korita Drave od Osijeka do ušća u Dunav

SAVA

Rijeku Savu između Podsuseda i Rugvice karakterizira nagla promjena brzine toka. Srednje profilske brzine u Podsusedu iznose do 2,9 m/s, dok je maksimalna vrijednost u propagaciji vodnog vala zabilježenog 19.9.2010. u matici rijeke iznosila 4,88 m/s. Na području Rugvice se režim toka mijenja od bujičnog do prijelaznog režima, stoga se srednje profilske brzine kreću od 0,73 m/s do maksimalnih 1,25 m/s. To se posljedično odražava i na režim pronosa nanosa, stoga se na dionici od granice sa Slovenijom pa sve do Rugvice suspendirani nanos uglavnom odnosi tj. pronosi nizvodno kao tranzitni nanos, a nizvodno od Rugvice, uslijed smirivanja toka, počinje proces taloženja. Sustavno praćenje provedeno je prije više od 50 godina. Tom prilikom je uočen trend smanjenja količine nanosa u nizvodnom smjeru, uz niz lokalnih varijacija, povezanih s utjecajem pritoka i morfologijom duž rijeke, slika 4.2.5., prikaz ukupne količine pronosa nanosa od Radovljice do ušća u Dunav (izvor: Priručnik: Međunarodna komisija za rijeku Savu).

Općenito govoreći, uslijed nedovoljne prihrane nanosom sa uzvodnog dijela toka, prisutan je snažan trend produbljivanja korita sve do Rugvice. Erozijski procesi posebice su snažno izraženi u profilima mostova, što utječe na povećani rizik od narušavanja njihove stabilnosti. Primjer otkazivanja stabilnosti mosta uslijed djelovanja globalne i lokalne erozije potpomognute uvjetima toka pri ekstremnim vodostajima je željeznički most „Jakuševac“ u Mičevcu. Dana 30. ožujka 2009. u 22:30, pri nailasku teretnog vlaka, došlo je do gubitka stabilnosti nosive konstrukcije, što je za posljedicu imalo deformaciju rasponskog sklopa mosta i kolosijeka. Do naginjanja stupa došlo je zbog superpozicije dva djelovanja: narušavanja globalne stabilnosti korita zbog čega se cijelo korito vodotoka znatno spustilo u odnosu na vrijeme kada je most projektiran i izveden, te pojave lokalnog podlokavanja u zoni stupa mosta. Rijeka Sava na području Jakuševca se nalazi u zoni kraja gornjega toka.

Zbog već uznapredovale globalne erozije korita, dno rijeke se znatno spustilo u odnosu na razinu u vrijeme projektiranja i izgradnje mosta, a položaj stupova mosta u koritu rijeke je uzrokovao dodatno sniženje korita zbog pojave lokalne erozije u zoni neposredno uz uzvodne stjenke stupova. Zbog ovog ukupnog podlokavanja, odnosno odnošenja dijela nosivog tla ispod stupova mosta, stabilnost mosta je bila narušena. U trenutku kolapsa mosta vodostaj Save bio je vrlo visok, kao i protok te brzina toka koji su u kombinaciji sa statičkim i dinamičkim opterećenjem uslijed nailaska vlaka doveli do gubitka stabilnosti konstrukcije naginjanjem stupa mosta u kavernu, slika 4.2 -2 i 4.2-3.

Razmjeri promjena u koritu nastalih u odnosu na projektno stanje bili su :

1. dno korita spustilo se od 1985. do 2009. za 5-6 m,
2. lokalno produbljenje u zoni stupa je 4-5 m,
3. ukupno produbljenje u zoni stupa u odnosu na projektirano dno je oko 10 m.

Most je bio zatvoren za promet dvije godine i devet mjeseci, a rekonstrukcija je bila vrlo zahtjevna i dugotrajna te je stajala nešto manje od 30 milijuna kuna. Nakon tog događaja HŽ Infrastruktura prišla je obnovi i rekonstrukciji svih rizičnih željezničkih mostova na Savi i drugim rijekama.



Slika 4.2-2: Lijevi stup je izgubio stabilnost (Snimljeno u 9.mj.2010., foto Oskoruš)



Slika 4.2-3: Deformirana gornja konstrukcija (Snimljeno u 3.mj.2009., HŽ Infrastruktura)

Kao što je to vidljivo na fotografijama 4.2-4. do 4.2-6 sastav nanosa i morfološki procesi u koritu u povezanosti sa tim, mijenjaju se duž toka Save. Slika 4.2.2-6 prikazuje šljunčano dno u profilu Medsave, uzvodno od Zagreba, dok slijedeća slika 4.2.2-7 prikazuje proces u istom tom profilu koji se sastoji u eroziji dna uz istovremeno horizontalni rast obala. Slika 4.2.2-8. prikazuje količine nataloženog suspendiranog nanosa u vidu pijeska, zaostalog nakon prolaska vodnog vala u inundaciji profila Podsused žičara. Ovdje dakako treba naglasiti da se redovito godišnje uzorkovanje nanosa sa dna korita duž rijeke Save provodi samo na dvije lokacije (u Rugvici i Jasenovcu), što je nedovoljno za ozbiljne analize.



Slika 4.2-4: Profil Medsave – šljunčano dno

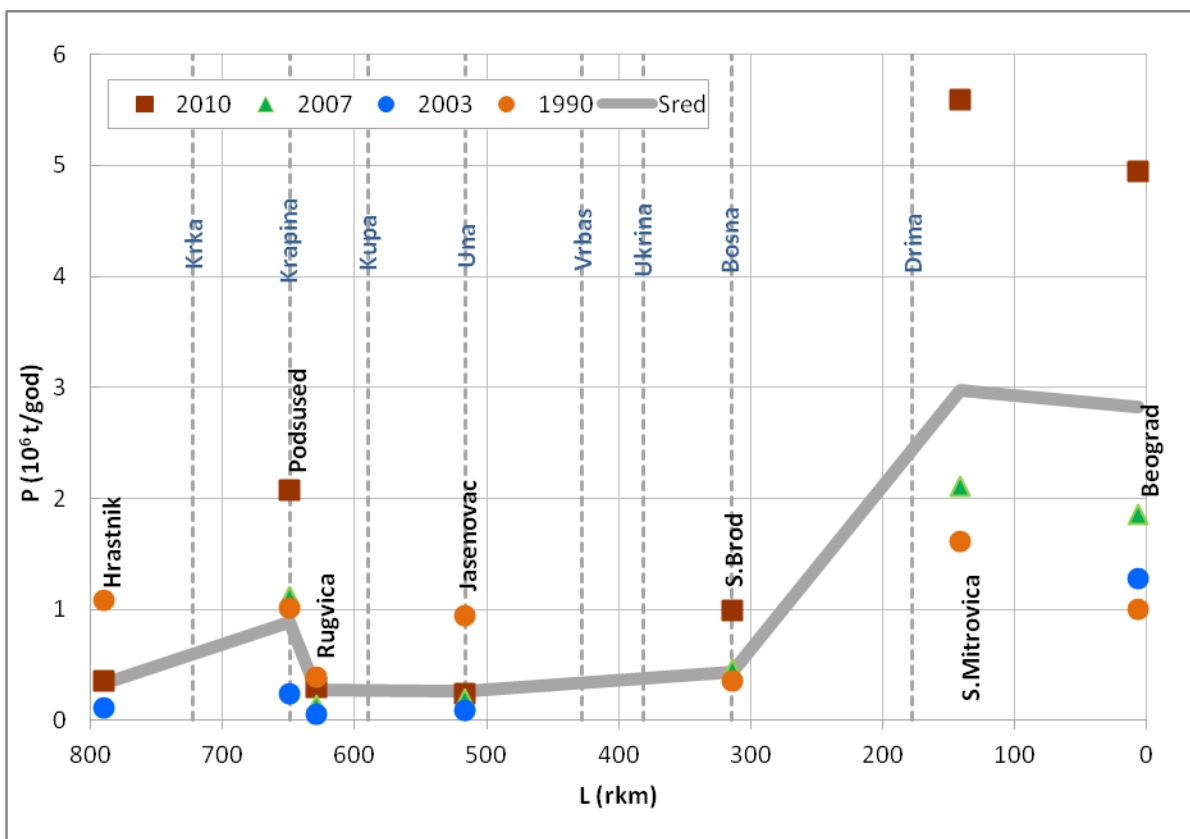


Slika 4.2-5: Profil Medsave: erozijsko –sedimentacijski proces



Slika 4.2-6: Profil Podsused žičara erozijsko – sedimentacijski proces nakon prolaska vodnog vala 2014

Na slici 4.2-7 dan je prikaz ukupne količine pronosa nanosa od Radovljice do ušća u Dunav (izvor: Priručnik: Međunarodna komisija za rijeku Savu)



Slika 4.2-7: Prikaz ukupne količine pronosa nanosa od Radovljice do ušća u Dunav (izvor: Priručnik: Međunarodna komisija za rijeku Savu)

4.3 Mjere i dobra praksa za poboljšanje režima nanosa

Na grafičkom prikazu (slika 4.3-1.) opisan je proces detektiranja problema u slivu, analizu uzroka i pritisaka te pronalaženje učinkovitih rješenja. Ovaj proces će u nastavku biti opisan s aspekta režima nanosa na analiziranim slivovima Dunava, Drave i Save.



Slika 4.3.-1: Shematski prikaz kritične analize i prijedloga mjera i rješenja

Potencijalne mjere ili rješenja mogu se svrstati u grupe vezano za:

- Dugoročne promjene u morfologiji korita uslijed erozije ili taloženja
- Kretanje nutrijenata s poljoprivrednih površina, industrijskog zagađenja i zagađenja s urbanih područja te njihov pronos putem čestica sedimenta suspendiranog u vodi
- Utjecaj nanosa na kvalitetu vode za vodoopskrbu i navodnjavanje
- Utvrđivanje količine deponiranog nanosa u estuarijima rijeka, lukama, plovnim kanalima ili pak procjena zapreminskog deficita u akumulacijama kao i procjena duljine uporabnog perioda hidrotehničkih objekata
- Procjena intenziteta erozije tla sa slivnog područja
- Proučavanje posljedica poplave
- Vrednovanje taloženja nanosa u obalnim područjima u funkciji kontrole srednje i dugoročne dinamike obalnih promjena
- Procjena utjecaja morfoloških promjena na vodeni eko sustav i širi okoliš

4.3.1 Katalog mjera i rješenja s informacijama o potencijalnim mjerama/rješenjima uključujući njihovu učinkovitost i izvedivost

Okvirna vodna direktiva (OVD) zahtijeva obnovu dobrog hidromorfološkog statusa u prirodnim vodnim sustavima. To podrazumijeva pažljivu procjenu prije bilo kakve mjere za upravljanje slivom, odnosno bolje razumijevanje, kako trenutnog stanja, tako i potencijalnih promjena pod utjecajem novih zahvata u riječnom slivu. Prema toj direktivi svaki riječni sliv mora imati svoj plan upravljanja (eng. River Basin Management Plan, RBMP) koji se novelira svakih šest godina, a koji između ostalog, treba regulirati i različita pitanja vezana za riječni nanos. Ta pitanja su slijedeća:

- ocjena ravnoteže riječnog nanosa kao i njegove kvantitete i kvalitete
- sustav monitoringa
- mjere za sprečavanje utjecaja zagađivača na vodu i riječni nanos
- mjere za održanje sveukupnog vodnog režima uključujući kvalitetu i kvantitetu kako bi se zaštitila močvarna područja, inundacijski i prirodni retencijski prostori
- mjere za kontrolu erozijskih procesa
- mjere za osiguranje i održavanje uvjeta sigurne plovidbe
- određivanje područja za eksploataciju riječnog nanosa
- upute za odlaganje nanosa, njegove obrade i korištenja

Upravljanje vodnim režimom rijeke kao što je Dunav i njegovih pritoka Drave i Save mora uzeti u obzir nacionalne i međunarodne granične uvjete. Održivo upravljanje dunavskim slivom moguće je samo kroz integralno planiranje i interdisciplinarni pristup bez obzira na državne granice.

Pri snažno izmijenjenom protočnog režimu i opisanim regulacijskim radovima vezanim za uređenje plovnog puta na Dunavu, nemoguće je režim nanosa vratiti u prirodno stanje kakvo je bilo prije stotinjak godina. No, moguće je sustavnim planiranjem postići koliko - toliko ravnotežu, odnosno kreirati plan održivog upravljanja nanosom.

Definitivni zaključak je da je vodni režim Drave pod velikim antropogenim utjecajem i da je hidromorfološki status snažno izmijenjen. Kako postoji interes za zaštitu vodnog režima i održivog režima pronosa nanosa kao i ekstremno vrijednog krajobraza rijeke i njenog eko sustava, potrebno je više prekograničnih i interdisciplinarnih napora i projekata na tom planu.

U budućim aktivnostima posebnu pažnju treba posvetiti ušću Mure u Dravu kao i ušću Drave u Dunav. Ove dvije lokacije su vrlo značajne sa hidromorfološkog aspekta i njihova uloga u globalnim okolišnim procesima je neprocjenjiva. Već sada na ušću u Dunav dolazi do taloženja velikih količina nanosa koje svake godine treba otklanjati u svrhu održavanja plovnog puta Dunavom i Dravom do Osijeka.

Kako sustav hidroelektrana u Sloveniji nije još završen (preostaje za izgradnju HE Mokrice), potrebna je suradnja nadležnih institucija s obje strane granice, u cilju poštivanja mjera koje propisuju režim tečenja nizvodno od slovenskog sustava HE na Savi. Te mjere su neophodne kako bi maksimalni protoci i volumeni velikih voda koji dolaze Savom bili

nepromijenjeni u odnosu na stanje prije izgradnje brana na hidrocentralama. Obveza uzvodnije HE Krško, tiče se i minimalnih ispuštanja kroz branu voda kao i vučenog nanosa, odnosno šljunka koji se tu zadržava. Uzvodno od HE Krško nalazi se brana za potrebe zahvaćanja rashladne vode za nuklearnu elektranu (NE) Krško. Obveza je da se kroz branu NE Krško kontinuirano minimalno ispušta $100 \text{ m}^3/\text{s}$ u rijeku Savu u slučaju kada su protoci u rijeci Savi veći od $100 \text{ m}^3/\text{s}$, odnosno ukupni protok u slučaju kad je manji od $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Taj uvjet u normalnom režimu rada mora poštivati i HE Krško tj. mora kontinuirano minimalno ispuštati $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Kod protoka većih od $2900 \text{ m}^3/\text{s}$, na brani HE Krško podižu se segmentni zatvarači na preljevnim poljima. Tada dolazi do otplavlivanja nataloženog nanosa iz akumulacije HE Krško, a isti postupak se provodi i na brani NE Krško. No, budući da krupan materijal često zaostaje, u Studiji utjecaja na okoliš za HE Krško je kao mjera zaštite nizvodnog korita predviđeno i umjetno prebacivanje nanosa iz gornjeg dijela nizvodno. Međutim, o toj aktivnosti nema dokumentiranog dokaza o provođenju navedenih mjera.

S obzirom na rad HE Brežice i sve buduće hidroelektrane koje su u planu izgradnje u Sloveniji (HE Mokrice) i u Hrvatskoj (Program Zagreb na Savi), važna mjera u očuvanju održivog režima nanosa je uspostava standardnog operativnog postupka (SOP), koji bi se provodio u operativnom radu hidroelektrana, a kojim bi se omogućilo nesmetan prolaz nanosa u nizvodni dio korita.

Budući da je zbog raznih povijesnih razloga monitoring riječnog nanosa u odnosu na druge hidrološke parametre bio znatno zapostavljen, važna mjera je obnova monitoringa pronosa nanosa kao i proširenje mreže postaja na kojima bi se mjerili parametri kao što su: kontinuirana koncentracija suspendiranog nanosa i njegov granulometrijski sastav, mjerenje vučenog nanosa uz praćenje granulometrijskog sastava nanosa sa dna, geodetsko snimanje korita. Proširenje mreže bi trebalo definirati na osnovi slijedećih čimbenika:

- Obnova mjernih lokacija na slivu Dunava na kojima su se 1991. godine mjerenja nanosa prekinula. Time bi se postojeći nizovi dnevnih vrijednosti koncentracija suspendiranog nanosa i njegov dnevni pronos produžili te bi se mogli koristiti kao podloge za evaluaciju dosadašnjih morfoloških promjena i kao podloge za modeliranje budućih.
- Uspostava kontrolnih graničnih mjernih profila na Dunavu, Dravi i Savi na ulazu/izlazu u Republiku Hrvatsku, na što obvezuje Okvirna direktiva o vodama kao i druga europska legislativa.
- Zbog sve većeg interesa i zahtjeva za kontinuirana mjerenja ili profilska mjerenja na pojedinim kritičnim presjecima ili uzdužnim dionicama, potrebno je ulagati u suvremenu opremu/senzore za praćenje mutnoće u realnom vremenu, na dogovorenim profilima od prvenstvene važnosti.
- Zbog snažno izraženih erozijskih procesa i produblivanja dna korita, u bliskoj budućnosti bi trebalo uspostaviti mjerenje vučenog nanosa na pojedinim kritičnim dionicama. U nekom budućem petogodišnjem planu trebalo bi predložiti i uspostaviti novu metodologiju mjerenja vučenog nanosa.
- Razvoj standardnih mjernih tehnika modela i alata za modeliranje budućih morfoloških procesa na kritičnim dionicama dunava, Drave i Save.

Navedene mjere su dugoročne i ukoliko se realiziraju biti će okosnica i baza sustavnog praćenja režima sedimenta na slivu Dunava u Hrvatskoj a time i u cijelom Podunavlju (EU).

Na bazi dugoročnih mjera moći će se izraditi pouzdani morfološki modeli, koji će integrirati podatke dobivene mjerenjem istom metodologijom ili tehnologijom.

Kako se za realizaciju tih mjera očekuje da će potrajati, u međuvremenu potrebno je sistematizirati sve postojeće podatke o hidrografskim snimanjima na rijekama Drava, Sava i Dunav, koje gospodarski subjekti u Hrvatskoj prate radi održavanja svojih objekata i osnovnih sredstava. To su prije svega pravni subjekti koji održavaju plovne puteve, velike hidroenergetske objekte, te željezničke i cestovne mostove.

Tako prikupljene informacije i podaci ne mogu dati cjelovitu sliku, ali mogu upotpunjavati mozaik saznanja o morfološkim promjenama; o njihovim uzrocima i posljedicama, te primijenjenim metodama sanacije ili poboljšanja.

Iako nedovoljne za sustavni pristup, ove kratkoročne mjere (prikupljeni podaci) dobrodošli su za korištenje kao analogija na sličnim riječnim potezima.

4.3.2 Informativni dokumenti o dobroj praksi koja će se razviti na temelju analize mjera za poboljšanje kontinuiteta sedimenta na području istraživanja

UNESCO-ISI je međunarodna sediment inicijativa pod okriljem UNESCO-IHP (eng. UN Educational, Scientific and Cultural Organisation, International Hydrological Programme-International Sediment Initiative), sa sjedištem u Veneciji. Aktivnosti ISI su vođene od strane Savjetodavne skupine uz pomoć Stručne skupine. Savjetodavna skupina utvrđuje strateške smjernice i ciljeve ISI-a, vodi i nadzire njihovu provedbu te utvrđuje i olakšava suradnju s partnerima i izvorima financiranja. Stručna skupina sastoji se od stručnjaka za eroziju i nanos, predstavnika UNESCO centara i drugih partnerskih organizacija, kao i ostalih zainteresiranim strana. Stručna skupina pruža stručno znanje i savjete, umrežavanje i institucionalnu podršku za provedbu ISI strateških ciljeva te doprinosi 8. fazi Međunarodnog hidrološkog programa (IHP) za razdoblje 2014.-2021. pod naslovom „Voda i sigurnost: odgovori lokalnim, regionalnim i globalnim izazovima“ (eng. “Water security: responses to local, regional and global challenges”) dajući naglasak na široki društveni, ekonomski i okolišni utjecaj erozije, nanosa i procesa taloženja. Strateški ciljevi te organizacije su:

- povezivanje znanosti s politikom upravljanja na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini, uključujući i prekogranične suradnje na slivu rijeke
- bolje razumijevanje mobilizacije nanosa, njegovog pronosa i nakupljanja te proračun bilance nanosa na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini kako bi se podržalo učinkovito upravljanje
- jačanje kapaciteta za upravljanje nanosom kroz obrazovanje, osposobljavanje i poticanje suradnje među dionicima
- naglašavanje važnosti upravljanja nanosom donositeljima odluka i javnosti

Spomenuti ciljevi se provode kroz provedbu sljedećih mjera:

- Razvoj baze podataka sa informacijama o eroziji tla i nanosu koja će služiti kao osnova za globalnu procjenu erozije i taloženja te njihovih socijalnih, ekonomskih i ekoloških implikacija
- Pružiti reprezentativne primjere vezane za probleme nanosa s aspekta različitih institucija. Ažuriranje postojećih studija u riječnim slivovima i pokretanje novih. Razviti aktivnosti i zajedničke programe za promicanje boljeg razumijevanja režima nanosa i metoda za njegovo istraživanje i praćenje
- Podrška znanstvenoj razmjeni podataka, obrazovanju i osposobljavanju za održivo upravljanje nanosom na svim razinama, kroz suradnju s partnerima, na konferencijama, radionicama i drugim inicijativama za izgradnju kapaciteta
- Distribuirati informativne materijale, upute i postupke koji se odnose na probleme nanosa, namijenjene lokalnim i nacionalnim upravama, povjerenstvima za riječne slivove, relevantne tehničke agencije, lokalne zajednice i druge zainteresirane strane
- Jačanje suradnje s drugim UNESCO programima, centrima i drugim organizacijama UN-a, regionalnim mrežama, međunarodnim institucijama i stručnih i znanstvenih udruženja.

Pod okriljem Europske komisije 2002. godine je osnovana europska mreža pod nazivom **SedNet** (eng. *Sediment Network*). Od 2005. godine ta mreža djeluje samostalno i nadilazi svoje prvobitne ciljeve te u posljednjih desetak godina SedNet postaje jedna od vodećih europskih inicijativa koja uključuje pitanje nanosa u europske strategije za postizanje dobrog ekološkog statusa. SedNet razvija nove alate i modele za upravljanje nanosom, organizira konferencije, okrugle stolove i potiče projekte na lokalnoj i regionalnoj razini.

Istraživačka grupa koja se bavi opažanjima na zemlji **GEO** (eng. *Global Earth Observation*), međuvladina organizacija s trenutno 95 država članica i 89 organizacija članica. Grupa ima za cilj usklađivanje međunarodnih aktivnosti u smjeru bolje dostupnosti globalnih EO podataka te tako želi ojačati svijest o pitanjima nanosa. Kako bi se učinili naponi u smjeru bolje koordinacije i globalnog monitoringa, upravljanje podacima kao i njihova dostupnost, razvija se globalni sustav praćenja „GEOSS“ (eng. *Global Earth Observation System of Systems*). U narednih deset godina cilj je da „GEOSS“ postavi temelje za bolju koordinaciju i suradnju i pruža okvir za uspostavu globalnog informacijskog sustava za praćenje nanosa.

Od međunarodnih i regionalnih projekata koji se provode na ovim našim područjima, treba istaknuti projekte na slivu Save i Dunava koje zajedno s lokalnim ekspertima provode Savska i Dunavska komisija ISRBC, ICPDR, pod pokroviteljstvom međunarodnih i europskih organizacija, poput UNESCO-ISI, SedNet, Med Friend, Europske komisije (www.irtces.org/isi), (www.sednet.org). Projekti su obično regionalnog karaktera ili su na razini cjelokupnog sliva, a provode se u svrhu zaštite od poplava, gospodarenja nanosom, praćenja morfoloških promjena, regulacije plovnih putova ili zaštite ekosustava Dunava i Save.

Na inicijativu Međunarodne Savske komisije (eng. *International Sava River Basin Commission, ISRBC*), zajedno s UNESCO Međunarodnom inicijativom za nanos (ISI) i Europskom mrežom za nanos (SedNet), 2012. godine je pokrenut projekt „*Praktične smjernice za održivo upravljanje nanosom, koristeći sliv rijeke Save kao ogledni primjer*“. Cilj tog projekta je razvoj i potvrda praktičnih smjernica za ostvarenje SSM plana (eng. *Sustainable Sediment Management Plan*) na razini sliva Save. Rezultat tog projekta je priručnik pod naslovom: *Procjena bilance nanosa za sliv rijeke Save (BALSES)*. Priručnik je izradila stručna grupa stručnjaka iz Slovenije, Hrvatske, Bosne i Hercegovine i Srbije u kojem je analizirana bilanca nanosa za glavni tok rijeke Save uzimajući u obzir i doprinos velikih pritoka iz Bosne i Srbije te je na taj način uspostavljena osnova za održivo prekogranično upravljanje vodom i nanosom u slivu rijeke Save.

Prva faza projekta „*Procjena sedimenta na rijeci Savi*“ (**BALSES**) dovršena je 2014., a druga faza pod nazivom „*Prijedlog sustava za praćenje sedimenta na rijeci Savi*“ završila je krajem 2015. godine. Glavne aktivnosti su usmjerene prema uspostavi slijedećih strateških i specifičnih ciljeva:

- pregled postojećih podataka o nadzoru riječnog nanosa (namjera: prikupljanje što je moguće više podataka iz različitih institucija)
- pregled međunarodnih tehničkih standarda i tehnika monitoringa i procjene nanosa, njihove primjene u slivu rijeke Save (namjera: uskladiti metodologije mjerenja sedimenta i praćenje s međunarodnim standardima kako bi dobili usporedive rezultate)
- uspostava slobodne baze podataka o nanosu (namjera: dostupnost podataka i informacija između ustanova-korisnika i drugih zainteresiranih strana)
- planirana obnova i osiguravanje sigurne plovidbe na Savi, koja zahtijeva produbljivanje plovnih puteva i lučnih područja
- zaštita od poplava, uključujući pitanje erozije i produbljivanje korita
- prilagodba ekosustava na klimatske promjene i antropogene utjecaje.

Na razini podunavskih zemalja, pod okriljem Dunavske komisije u novije vrijeme se stalno pokreću projekti vezani za rehabilitaciju plovnog puta kao i režima nanosa na Dunavu. Jedan od njih je i projekt **FAIRway Danube** koji predstavlja prvu fazu implementacije „Master plana za rehabilitaciju i održavanje plovnog puta rijeke Dunav i njegovih pritoka“ koji je razvijen u okviru strategije Europske unije za dunavsku regiju (EUSDR). Ovaj Master plan je usvojen od strane ministara prometa zemalja dunavske regije u prosincu 2014. Njegov cilj je postizanje i održavanje dobrih plovnih uvjeta tijekom cijele godine pružanjem minimalnih razina usluge. Ovaj projekt se provodi harmonizirano u šest zemalja: Austriji, Slovačkoj, Mađarskoj, Hrvatskoj, Bugarskoj i Rumunjskoj, a financiran je od strane instrumenta za povezivanje Europe (CEF) programa Europske unije. Doprinos ovog projekta u Republici Hrvatskoj se sastoji u slijedećem:

- Redovito snimanje poprečnih profila riječnog korita suvremenom opremom montiranom na brodovima,

- Instalacija uređaja nove generacije za registraciju vodostaja uz mogućnost dojava podataka u realnom vremenu,
- Hidrološki prognostički model u svrhu operativnih prognoza vodostaja na 5 hidroloških postaja na Dunavu

Navedenim projektom nije bio predviđen monitoring nanosa, stoga mjerenja količine i kvalitete nanosa na Dunavu u Hrvatskoj treba u što skorije vrijeme pokrenuti.

4.3.3 Izvještaj o održivim, praktičnim mjerama i preporukama za poboljšanje upravljanja nanosom na rijeci Dunav radi ublažavanja učinka značajnih pritisaka

Upravljanje sedimentom u riječnim slivovima i plovnim putovima bilo je važno pitanje gospodarstvenicima tijekom povijesti. Promjene u ovom području značile su suočiti se sa brojnim složenim tehničkim i ekološkim izazovima. Kao pomoć pri održivim praktičnim mjerama u poboljšanju upravljanja sedimentom objavljene su studije niza slučaja koji predstavljaju širok raspon fizioloških i socioekonomskih uvjeta koji su dostupni kao smjernice za kreatore politike i dionika koji se bave upravljanjem vodom i riječnim slivom. Studije uključuju sliv rijeke Nil, sliv rijeke Mississippi, sliv rijeke Rajne, sliv rijeke Volge, sliv Žute rijeke, riječni sliv Hai he i Liao he u Kini. Ti dokumenti su dostupni na slijedećim stranicama:

<http://isi.irtces.org/isi/ISIInformationSystem/INFOREPOSITORY/casestudies/web>

U tim se primjerima daje ključno iskustvo vezano uz upravljanje sedimentom, sa ciljem pružanja pregleda problema sa sedimentom širom svijeta. Također su prezentirane ključne preporuke za razvoj strategija upravljanja te se daju opcija politike i strategije za poboljšanje održivog upravljanja rijekama.

Radovi na tu temu prezentirani su na radionicama i konferencijama te se dokumenti sa najnovijim projektima, istraživanjima, projektima i primjerima dobre prakse mogu pronaći na niže navedenim stranicama:

<https://sedimentmanagement.events.unibz.it>

<https://sednet.org>

https://sednet.org/links/#EU_Projects

<http://www.reformrivers.eu/>

Pod pokroviteljstvom programa „REFORM“ (Restoring rivers FOR effective catchment Management) i „RESTORE Rivers“ u Europi se sve više pokreću projekti za revitalizaciju starih odsječanih rukavaca i meandra te ih se uključuje u protočni režim.

<https://smartsediment.eu>

Partneri Smartsediment rade na različitim lokacijama u Nizozemskoj i Flandriji gdje razvijaju razne pješčane barove, dubine i obale. U međuvremenu, surađujuće stranke prate i

analiziraju učinke, kako bi stekli znanje za buduće projekte.

U cilju zaštite Scheldt riječnog sliva od poplava i erozije uzrokovanih Sjevernim morem flamanska vlada je izradila veliki plan obrane od poplava (**SIGMA II**) u bliskoj suradnji sa svim gospodarskim sektorima i dionicima u regiji. Primarni cilj bio je zaštita od poplava, uključujući planove održivog upravljanja vodama, poljoprivrede, zaštite prirode. Svi projekti utvrđeni u SIGMA planu su razvijeni na temelju detaljnih tehničkih analiza koje će ne samo ispitati njihovu učinkovitost, već i njihov potencijal za izradu „win-win“ rješenja.

Ukupno, oko 5.000 hektara močvara se obnavlja poplavnim vodama, poboljšavaju biološku raznolikost i pružaju dodatna rekreacijska područja za lokalno stanovništvo. Također, SIGMA plan je dio većeg prekograničnog projekta s Nizozemskom koja ima za cilj razviti zdrav i multifunkcionalni sustav ušća rijeke koji se može koristiti na održiv način za ljudske potrebe duž cijele regije.

<https://northsearegion.eu/sullied-sediments>

Sullied Sediments razvija i testira nove alate kako bi bolje procijenio, liječio i spriječio onečišćenje od određenih onečišćujućih tvari koje se mogu naći u sedimentima na našim plovnim putovima.

Ovaj projekt donosi bolju procjenu, bolji tretman i bolju prevenciju onečišćenja u pilot NSR vodenim putovima od strane novih kemikalija "Watch List" (WL) EU-a, novih lijekova i hranjivih tvari, koji do 2020. nisu podložni zakonima o praćenju EU-a, već *grade up* u sedimentima u tim vodenim putovima. Regulatorne vlasti ne poznaju njihove razine, lokacije ili utjecaje. Također nemaju alate za procjenu sedimenata i donošenje odluka o upravljanju s takvim kemikalijama.

<http://www.nweurope.eu/projects/project-search/suricates-sediment>

Cilj projekta je povećati ponovnu upotrebu sedimenata za protuerozijsku zaštitu i zaštitu od poplava. Projekt treba poslužiti državnim institucijama, vodnom gospodarstvu, riječnim lukama, donositeljima odluka i stručnjacima za eroziju, u svijetlu suvremenih rješenja za ponovnu upotrebu sedimenata u lukama, plovnim putovima i riječnim obalama.

Vezano za pronos nanosa velikih rijeka i zatrpavanje njihovih ušća na kojima se nalaze velike luke (poput Rotterdam, Hamburg), svake godine se moraju provoditi opsežna jaružanja i uklanjanje sedimenta. Sada se pokreće inicijativa ponovnog otvaranja starih meandara koji će služiti za rasterećenje nanosa neposredno prije ulaska u luke. Naime, poznato je da su u posljednjih tridesetak godina prošlog stoljeća poplavna područja bila isušivana te se zemljište prenamjenjivalo u poljoprivredne svrhe. Početkom ovog stoljeća nizozemska vlada započela je proces ponovnog otkupljivanja uređenog poljoprivrednog zemljišta od farmera kako bi ga ponovno vratila rijeci u sklopu projekta „Više prostora za rijeke“ („More space for Rivers“).

<http://www.drava-life.hr/en/home/>

Projekt "DRAVA LIFE - Integrirano upravljanje rijekom" koristi inovativni pristup upravljanju rijekom i nastoji stvoriti primjer najbolje prakse obnove rijeke u Hrvatskoj i regiji. Glavni cilj projekta je unaprjeđenje Drava ekosustava u Hrvatskoj, koji će se ostvariti provedbom

aktivnosti obnove rijeke, koje se provode u suradnji s vodama i tijelima za zaštitu prirode te nevladinim organizacijama. Restauratorske djelatnosti izuzetno će pogodovati ugroženim staništima i vrstama unutar Natura 2000 područja, a također će doprinijeti boljoj zaštiti od poplava naseljenih područja duž rijeke Drave i povećati rekreacijsku vrijednost područja za lokalne ljude. Projekt **Drava – Life** ima za cilj obnovu nekih meandara na Dravi. Za vrijeme trajanja projekta tijekom 2019. na Dravi se planira izvesti seriju mjerenja suspendiranog i vučenog nanosa u malim, srednjim i velikim vodama, na pet karakterističnih profila.

5. UPRAVLJANJE NANOSOM

Posljednja faza studije, u kojoj je riječ o izradi prijedloga i smjernica za poboljšanje upravljanja nanosom na području dunavskog sliva u Republici Hrvatskoj, temelji se na analizi i ocjeni provedenoj kroz tri prethodne faze studije. Studija daje hrvatske prijedloge međunarodnom projektu Danube Sediment za rijeku Dunav, kao partnerski doprinos za izradu Vodiča upravljanja nanosom i Priručnika o nanosu za dionike.

5.1 Sinteza rezultata po prethodnim fazama

5.1.1 Integracija prikupljanja podataka o nanosu

Područje istraživanja nanosa u okviru ove Studije obuhvaća rijeke Dunav, Dravu i Savu u Republici Hrvatskoj. Prikupljanje svih raspoloživih podataka vezanih za problematiku nanosa provedeno je u prvoj fazi izrade ove Studije, kojom su obuhvaćene i analizirane sljedeće podloge:

- Opći podaci o području istraživanja: osnovni podaci o predmetnim slivovima Dunava, Drave i Save,
- Topografske podloge,
- Hidrološke podloge: pregled postojećih i ukinutih vodomjernih stanica na predmetnim slivovima, pregled raspoloživih protočnih krivulja s vodomjernih stanica, vremenske serije srednjih dnevnih vodostaja i protoka na vodomjernim stanicama predmetnog područja;
- Pregled morfoloških promjena riječnog korita temeljem raspoloživih poprečnih presjeka u profilima hidroloških stanica, geodetski snimljeni u različitim razdobljima;
- Psamološke podloge: pregled postojećih i ukinutih mjernih mjesta za mjerenje riječnog nanosa na predmetnim potezima Drave, Save i Dunava;
- Detaljno prikupljanje postojećih podataka o nanosu uz ocjenu njihove dostupnosti, analiza postojećih nizova u svrhu evidentiranja podataka koji nedostaju,
- Pregled primjenjivanih metoda monitoringa (metode koje su se koristile u prošlosti i suvremene metode);
- Sistematizacija i digitalizacija dostupnih arhivskih podataka o: mjerenjima sedimenta, te njihovo unošenje u odgovarajuće numeričke i prostorne baze podataka prema formatima koje je tijekom projekta definirao Naručitelj i koje omogućuju daljnju analizu podataka;
- Podaci i informacije o eksploataciji šljunka iz riječnog korita na predmetnom području: lokacije, način eksploatacije šljunka na pojedinim lokacijama, vremenske serije količina izvađenog šljunka na pojedinim lokacijama,
- Pregled do sad provedenih studija o pronosu nanosa za analizirane rijeke u Republici Hrvatskoj;
- Izvještaj o kvaliteti i količini postojećih podataka o nanosu.

5.1.2 Izvještaj o postojećem stanju

Postojeće stanje monitoringa karakterizira velika neujednačenost mjerenja na predmetnim vodotocima.

Praćenje nanosa na razini riječnog sliva uključuje redovita terenska istraživanja, zračno mapiranje, fotografiranje erozije tla, erozije obala vodotoka, odrona zemlje i mehaničkih kretanja, kao i redovita mjerenja suspendiranog i vučenog nanosa, zasipanja akumulacija, podatke o vađenju riječnog nanosa i o kvaliteti nanosa (granulometrijskog sastava i kemijske analize).

No, kako je već ranije naglašeno, ništa od toga se sustavno ne provodi na samom toku Dunava na području Republike Hrvatske. Na slivu Drave i Save situacija je nešto bolja, no i tu su evidentne vremenske i prostorne nehomogenosti kao i razlike u tehnici mjerenja i obrade podataka, kako slijedi po stavkama:

- Mjerenje količina suspendiranog nanosa i vučenog nanosa:
 - različite metode uzorkovanja i promjene metodologije tijekom vremena,
 - različita učestalost mjerenja,
 - raznoliko trajanje vremenskih serija u okviru dugoročnih mjerenja,
 - potpun izostanak mjerenja nanosa na Dunavu,
 - prekid mjerenja vučenog nanosa na Savi i Dravi,
 - promjene lokacija stanica tijekom vremena (uzvodno/nizvodno od pritoka),
 - nedovoljan broj lokacija za praćenje nanosa, uz trend daljnjeg smanjenja broja lokacija

- Praćenje granulometrijskog sastava nanosa:
 - razlike u učestalosti mjerenja,
 - potpun izostanak praćenja granulometrijskog sastava nanosa na Dunavu,
 - zbog prekida mjerenja vučenog nanosa na Savi i Dravi, ne raspolaže se ni granulometrijskim sastavom vučenog nanosa.

- Nedostaju mjerenja i praćenja u vezi s izgradnjom velikih objekata, regulacijama i drugim utjecajima na porječje te utjecajima u koritu rijeke

- Modeliranje transporta nanosa provedeno je samo za dionicu rijeke Drave

5.2 Smjernice za izradu Vodiča za upravljanje nanosom na rijeci Dunav u Republici Hrvatskoj

Transport sedimenata može se definirati kao prirodni proces koji se manifestira u procesima taloženja sedimenta i obično se proučava u sklopu primjenjene mehanike ili hidrauličkih osobina toka rijeke. Glavni problem koji treba riješiti kod te vrste modeliranja je definiranje funkcionalnih odnosa koji povezuju hidrodinamiku (kretanje vode) s kretanjem sedimenta i/ili obrnuto.

S jedne strane, problem se praktički može proučiti u polju promatranjem i mjerenjem najrelevantnijih procesnih parametara ili u laboratoriju pomoću fizičkog (hidrauličkog) modeliranja. S druge strane, može se teoretski proučavati numeričkim modeliranjem i upotrebom odgovarajućih terenskih i laboratorijskih podataka za svrhe validacije modela.

Suvremeni matematički dvodimenzionalni ili trodimenzionalni modeli, mogu se podijeliti u dvije skupine: povezani i razdvojeni modeli. Spojeni modeli rješavaju jednadžbe upravljanja, tj. jednadžbu kontinuiteta (ravnoteže mase) i jednadžbu dinamike dvostupanjskog toka istodobno, dok razdvojeni modeli rješavaju hidrodinamičke jednadžbe odvojeno od sedimentoloških jednadžbi. Važna prednost povezanih modela je da oni mogu nositi s intenzivnim nestabilnim procesima, kao što su morfološke promjene korita nakon poplava ili bujica. Numerički modeli transporta sedimenata mogu predvidjeti morfološke promjene i pomoći riječnim inženjerima da planiraju odgovarajuće preventivne mjere.

Kod postavljanja konceptualnog modela riječnog sliva trebaju se identificirati koristi i korisnici tj. dionici koji imaju utjecaj na režim sedimenta (slika 4.4.1). Unutar riječnog sliva postoji potreba za prikupljanjem neophodnih informacija i podataka odnosno podloga, koje bi pomogle u donošenju odluka u sklopu procesa upravljanja riječnim slivom. Postoji širok raspon alata na raspolaganju znanstvenicima i gospodarstvenicima korisnih za upravljanje riječnim sedimentom. Ti alati se mogu podijeliti u nekoliko skupina:

1. Alati za mjerenje i monitoring za prikupljanje informacija o dinamici sedimenta
2. Fizikalni i matematički modeli
3. Sustav za potporu pri donošenju odluka u upravljanju riječnim slivom
4. Procjena rizika
5. Analiza troškova i koristi

Informacije prikupljene svakim od tih tipova alata su različite, ali se međusobno dopunjuju i svaki tip tih informacija može se smatrati dijelom sekvencijalnog procesa donošenja odluka.

Alati za mjerenje i monitoring za prikupljanje informacija o dinamici sedimenta, kao prva grupa, primarno priskrbljuju informacije o načinu kako sustav pronosa nanosa funkcionira. Takve informacije govore o porijeklu sedimenta i načinu njegovog pronosjenja, o količinama koje se pronose, o mehanizmima pronosa zagađenja putem nanosa, temeljne pokazatelje o trendovima u vremenskim nizovima i daju podršku donositeljima odluka te predstavljaju podloge za donošenje pravne regulative i smjernica.

Modeli predstavljaju jedan od najkorisnijih tipova alata za korištenje znanstvenicima i

stručnjacima, jer mogu pružiti informacije o pronosu nanosa na različitim dionicama unutar vodotoka ili unutar čitavog sliva. Rezultati modeliranja omogućuju simulaciju različitih sadašnjih i budućih scenarija, što može uključiti procjene značajki točkastih ili difuznih izvora zagađenja koji ulaze u rijeku, kao i odgovor na promjene u riječnom slivu poput načina korištenja zemljišta, izgradnja hidrotehničkih objekata, vađenje riječnog nanosa, promjena klime itd. Postoje varijacije takvih modela tako da oni mogu biti:

- Fizikalni modeli
- Konceptualni modeli
- Statistički i regresijski modeli

Najčešće se koriste konceptualni matematički modeli. Neki od njih poznati su pod imenom: TOPMODEL, SHE, SOBEK, HEC RAS, HEC6, MIKE 11, MIKE 21 C, Sedimentgraph, SWAT, TELEMAC. No, treba naglasiti da jedan od osnovnih zahtjeva svih modela raspoloživost podataka, kako za pokretanje modela, tako i za njihovu kalibraciju. Podaci koji se u te svrhe koriste su slijedeći:

- Procjena erozije i produkcije nanosa sa slivnog područja
- Količine suspendiranog i vučenog nanosa u vodi
- Dinamika taloženja nanosa u rijekama, uključujući inundacijske prostore, poplavne nizine, akumulacije i luke.
- Količine izvađenog nanosa iz korita i obalnog područja

Načelno u praksi na slivu Dunava postoje različite razine monitoringa. Tehnike i metode mjerenja variraju od zemlje do zemlje, od potpunog izostanka monitoringa do sasvim zadovoljavajućih alata za evaluaciju. Osim neujednačenosti razine monitoringa prisutan je i nedostatak integracije između znanstvenih istraživanja i upravljanja slivom, odnosno sedimentom, što znači da se najprihvatljiviji *state-of-the-art* alati ne koriste u dovoljnoj mjeri u upravljanju sedimentom.

Zbog nedostatka komunikacije moguć je i obrnut slučaj, a to je da znanstvena zajednica ne prati potrebe vodnog gospodarstva. Osim toga, u Hrvatskoj je slučaj da različite institucije, odnosno dionici imaju svoj specifični interes za prikupljanje samo neke vrste informacija. Za većinu od njih potrebni su detaljni prostorni i vremenski podaci te u vezi sa tim postoji jasna potreba za harmoniziranim mjerenjima nanosa i mreže za monitoring na međunarodnom planu.

Treća grupa alata koja nudi sjajan potencijal za one koji moraju donositi odluke ili planove je informacijski sustav za donošenje odluka (DSS, Decision Support System). To su računalni informacijski sustavi razvijeni kao pomoć donosiocima odluka kako bi povezali različite pojedinačne zadaće u području odlučivanja. Postoje tri glavne komponente unutar tog sustava DSS, a to su:

- Korisnički pristup koji pruža laku interakciju između korisnika i sustava
- Baza podataka koja sadrži sirove i obrađene podatke na predmetnom području tj. slivu
- Skup alata sa metodama i tehnikama odnosno programskim aplikacijama za efektivno povezivanje modela i podataka. U te alate moraju biti implementirane

strategije upravljanja riječnim slivom, metode procjena rizika, ali i također alati za analize kao što je npr. Analiza troškova – koristi. Upravo je analiza troškova i koristi koristan alat sa kojim se procjenjuju različite opcije upravljanja sustavom tako što se evaluiraju doprinosi ili gubici za svaku potencijalnu upravljačku opciju.

- Važno za upravljanje sedimentom na slivu je i potreba za uključivanjem socio-ekonomskih i ekoloških čimbenika, stoga je od presudne važnosti uključivanje svih dionika u proces odlučivanja.

Kad se govori o planu upravljanja nanosom, jedna od najvažnijih potreba je razvoj integralne baza podataka koju će ažurirati svi dionici na slivu. Prikupljeni podaci i informacije služili bi kao podrška analizama, prognozama, predviđanjima, optimalizaciji resursa, i općenito, u donošenju upravljačkih odluka.

Što se tiče primjerice riječne plovidbe, na hrvatskom dijelu plovnog puta rijeke Dunav je potrebno osigurati širinu od 180 m pri dubini od 2,5 m ispod plovidbene razine. Na dijelovima zavoja nužna je minimalna širina plovnog puta $R_{min} = 200$ m. Vezano za ove uvjete Agencija za vodne puteve raspolaže podacima o formiranju sprudova, batimetrijskim snimkama dna, pronosu vučenog nanosa i taloženju suspendiranog nanosa duž plovnog puta, kako bi se moglo utvrditi trenutno stanje i/ili planirati potrebne intervencije. Ukoliko bi ti podaci bili dio jedne integralne baze i dostupni drugim dionicima kao i znanstvenoj zajednici, lakše bi se moglo pristupiti analizama i razvoju modela transporta nanosa. Redovna godišnja geodetska mjerenja o zatrpavanju akumulacija koja provodi Hrvatska elektroprivreda, podaci o vađenju nanosa za koji se daju godišnje koncesije, informacije o premještanju nanosa, također su vrlo važni i trebaju biti dio takvog jednog informacijskog sustava. Nadležne institucije za monitoring i provedbu in-situ mjerenja također bi svoje podatke pohranjivale u takvu bazu. Razne analize i studije zajedno sa znanstvenim istraživanjima na tu temu također bi bile dijelom jednog takvog sustava. U tablici 5.2 dane su smjernice za upravljanje nanosom na rijeci Dunav u RH.

Razvoj novih metoda, alata, kao i obrazovanje kadrova u području mjerenja i modeliranja jedna je od nezaobilaznih aktivnosti. Stoga se školovanje i stjecanje novih znanja u tom području kao i praćenja iskustava drugih ne može dovoljno naglasiti. Zajednički projekti država na podunavskom slivu mogu biti korak naprijed prema tom cilju.

Temeljem iznesenoga, u tablici 5.2-1 navedene su smjernice za izradu vodiča za upravljanje nanosom na Dunavu u RH.

Tablica 5.2-1: Ključne smjernice za izradu vodiča za upravljanje nanosom na Dunavu u RH

Problem	Smjernice
Praćenje i ocjena nanosa	<ul style="list-style-type: none"> • Povećanje broja lokacija za praćenje nanosa i zaustavljanje trenda daljnjeg smanjenja broja lokacija • Dostupnost podataka o suspendiranom nanosu • Nedostatak podataka o vučenom nanosu • Izostanak metodologije koja bi bila dogovorena među zemljama u vezi s uzorkovanjem i mjerenjem suspendiranog nanosa i vučenog nanosa • Manjak mjerne opreme i potreba za njezinim poboljšanjem, naročito kad je riječ o kontinuiranom praćenju i stanjima tijekom velikih poplava • Praćenja kakvoće nanosa prema Okvirnoj direktivi o vodama (2000/60/EZ).
Procjena ravnoteže nanosa	<ul style="list-style-type: none"> • Veličina i izrazito heterogene prirodne karakteristike dunavskog sliva značajno utječu na bilancu vode i nanosa • Značajne pritoke donose veliku količinu nanosa i imaju izniman utjecaj na hidrološki i hidraulički režim te stanje nanosa • Kontrolirani režim najznačajniji je umjetni utjecaj na pronos nanosa i procese taloženja u toku rijeke Dunav • Iskapanje materijala iz korita rijeke relativno je važna komponenta tih procesa, premda je, načelno govoreći, utjecaj jaružanja lokalni i ovisi o lokaciji iskapanja • Regulacijske građevine sa svrhom uređivanja rijeke i hidroenergetska postrojenja igraju značajnu ulogu u oblikovanju korita

5.3 Smjernice za izradu Priručnika o sedimentu za dionike u Republici Hrvatskoj

Članstvo Republike Hrvatske u Europskoj uniji donijelo je nove izazove pred vodno gospodarstvo. Nakon preuzimanja europske pravne stečevine u nacionalno vodno zakonodavstvo i usuglašavanja prijelaznih razdoblja za njenu provedbu, u tijeku je postupni razvoj sustava zaštite od poplava i navodnjavanja. Opseg praćenja stanja voda (monitoring) značajno je proširen, a planovi upravljanja vodnim područjima noveliraju se svakih šest godina. Okvirna direktiva o vodama zahtijeva obnovu dobrog hidromorfološkog statusa, što zahtijeva pažljivu procjenu rizika prije bilo kakve mjere koja se planira poduzimati u slivu ili na vodotoku.

Pretpostavka za učinkovito upravljanje vodama jest raspolaganje podacima i informacijama koje se odnose na vodne resurse i sustave, te korisnike tih resursa. Općenito govoreći, za sve dionike na slivu Dunava vrijede ista pravila:

- pravilo uravnotežene uporabe,
- međusektorska koordinacija i
- suradnja koja ima transnacionalni utjecaj na vodna tijela.

Prilikom postavljanja konceptualnog modela riječnog sliva trebaju se identificirati koristi i korisnici tj. dionici koji imaju specifični utjecaj na režim sedimenta. Svaki od tih dionika ima drugačiji pristup gospodarenju sedimentom i njihovi interesi često mogu biti suprotstavljeni. Stoga smjernice za izradu Priručnika o sedimentu za dionike u Republici Hrvatskoj trebaju pokrivati slijedeće aspekte:

- Razvoj sustava uravnoteženog upravljanja nanosom na čitavom slivu Dunava;
- Razvoj zajedničke metodologije monitoringa količine nanosa;
- Mjere za sprječavanje utjecaja jaružanja i plovidbe na povećanu zamućenost vode;
- Uspostava mjera za suzbijanje erozije, bujica i drugih sedimentnih procesa;
- Uspostava mjera za osiguranje i održavanje vodnog režima;
- Uspostava mjera osiguranja i održavanja uvjeta za sigurnu plovidbu;
- Uspostava mjera za zaštitu močvarnih područja i prostora za zadržavanje poplavnih voda i nanosa;
- Mjere za kontrolu zasipavanja akumulacija;
- Definiranje određenih područja za kapitalno jaružanje;
- Institucionalni aranžmani za provedbu Plana upravljanja nanosom.

Od svih dionika na slivu Dunava se očekuju rezultati navedeni u prethodnom tekstu:

- Razmjena znanja;
- Definirana mreža za praćenje sedimenta;
- Definirane standardne metode za kvantitativno mjerenje sedimenta;
- Razrađeni protokoli za razmjenu podataka i informacija;
- Razvijeni modeli transporta sedimenta za različite dionike (korištenje hidroenergije, navigacija, zaštita prirode);
- Uspostavljene monitoringa sedimenta na odabranim pilot područjima;
- Izrada Plana upravljanja sedimentom i Priručnika o sedimentu za dionike.

Dionici na slivu Dunava u Hrvatskoj od posebnog značenja za režim nanosa mogu se svrstati u osnovne grupe:

- Dionici gospodarenja vodama (Hrvatske vode)
- Dionici koji se bave monitoringom nanosa (DHMZ RH)
- Dionici koji osiguravaju plovni put (Agencija za plovne puteve)
- Dionici koji se bave proizvodnjom električne energije (HEP Proizvodnja)

U nastavku se daju smjernice za monitoring, plovidbu i način korištenja hidroenergetskih građevina sa aspekta upravljanja vodama i posljedično, nanosom.

a) Monitoring:

Na slivu Dunava postoje različite razine monitoringa i institucije koje su zadužene za njegov nadzor i provođenje. Većinom su to državne službe, agencije ili pak zavodi. Vezano za financijske mogućnosti, tehnike, metode i prostorna raspodjela mjerenja variraju od zemlje do zemlje, od potpunog izostanka monitoringa do sasvim zadovoljavajućih alata za evaluaciju. Svaka od tih metoda mjerenja ima dobre strane ali i ograničenja, no definitivno se može primijetiti da mnoge od novijih tehnika nisu iskorištene na najprihvatljiviji i najefektivniji način.

U Republici Hrvatskoj za monitoring nanosa nadležan je Državni hidrometeorološki zavod, Sektor za hidrologiju.

U praksi je često slučaj da različite institucije, odnosno dionici imaju svoj specifični interes za prikupljanje samo neke vrste informacija. Za većinu od njih potrebni su detaljni prostorni i vremenski podaci te u vezi sa tim postoji jasna potreba za harmoniziranim mjerenjima nanosa i mreže za monitoring na međunarodnom planu.

Također postoji nedostatak integracije između znanstvenih istraživanja i upravljanja slivom, odnosno sedimentom, što znači da se najprihvatljiviji ili najmoderniji alati ne koriste u upravljanju. Zbog nedostatka komunikacije moguć je i obrnut slučaj, a to je da znanstvena zajednica ne prati potrebe vodnog gospodarstva.

Važnost in situ mjerenja je već više puta naglašena i ništa ne može zamijeniti podatke prikupljene mjerenjima. No, da bi monitoring bio učinkovit, on treba obuhvaćati:

- (1) Izbor smislenih i realnih ciljeva monitoringa;
- (2) Razvoj plana monitoringa;
- (3) Dizajn pravilne strategije uzorkovanja.

Poseban naglasak daje se na definiranje gustoće mreže za monitoring sedimenta. Izradu mreže za monitoring sedimenta potrebno je temeljiti na načelu minimalne gustoće; mjerenjem erozije, transporta i taloženja sedimenta unutar sliva ili mjerenjem ukupnog ispuštanja sedimenta u more. Kod definiranja mreže za monitoring treba voditi računa da svaki veći vodotok prije svog ušća, u profilima na kojima se mjeri protok vode, treba imati i praćenje transporta nanosa.

WMO (1981) preporučuje da pronos sedimenta treba mjeriti na minimalno 30% postaja u mreži gdje se mjeri protok u sušnoj / mediteranskoj regiji, a 15% u vlažnoj regiji. Minimalna gustoća postaja za mjerenje protoka je 1000-2500 km² / 1 postaja u ravnim regijama umjerenih ili mediteranskih zona, 300-1000 km² / 1 postaja u planinskim područjima umjerene ili mediteranske zone i 5000-20000 km² / 1 postaja u sušnim zonama.

Iz navedenih uvjeta se može zaključiti da su europski normalni uvjeti minimalnog praćenja sedimenta gustoća mreže između 1000-3000 km² / 1 postaja za normalne uvjete i 3000-10000 km² / 1 postaja za izvanredne uvjete.

Prema kriterijima Svjetske meteorološke organizacije (WMO) koji su opisani u poglavlju 4.3.1 *Katalog mjera i rješenja*, u tablici 5.3.1 se daje prijedlog lokacija za monitoringa nanosa na Dunavu, Dravi i Savi u Hrvatskoj.

Tablica 5.3.1: Prijedlog lokacija za monitoring nanosa na rijekama Dunav, Drava i Sava

RIJEKA DUNAV			
r.br.	Hidrološka postaja	r km	Napomena
1.	Batina	1424,8	Batina je prva hidrološka postaja na Dunavu na teritoriju RH na kojoj se mjeri H,Q i T vode, ali za sada nema monitoringa nanosa. Također je granični profil sa R Srbijom (Bezdan). Treba uvesti monitoring nanosa.
2.	Aljmaš	1381,5	Lokacija hidrološke postaje Aljmaš je nakon ušća Drave u Dunav. Na stanici se mjeri H,Q i T vode, ali treba uvesti i monitoring nanosa.
3.	Dalj	1354,2	Lokacija hidrološke postaje Dalj je na izlazu iz velikog dunavskog meandra, tzv. „Daljske krivine“ . Na stanici se mjeri H,Q i T vode, ali za sada nema monitoringa nanosa.
4.	Vukovar	1336,5	Lokacija hidrološke postaje je u Vukovaru, na ušću Vuke u Dunav, blizu luke. Na stanici se mjeri H,Q i T vode, ali za sada nema monitoringa nanosa
5.	Ilok most	1301,5	Ilok je zadnja postaja na Dunavu u RH i granični hidrološki profil između RH i R Srbije (Bačka Palanka). Na stanici se mjeri H,Q i T vode, ali za sada nema monitoringa nanosa. Treba uvesti monitoring nanosa.
RIJEKA DRAVA			
1.	DRAVA-Otok Virje	309	Lokacija Otok Virje je granični profil na Dravi između R Hrvatske i R Slovenije (Ormož). Prijedlog je uspostava hidrološke postaje na mostu u Ormožu, na kojoj bi se mjerili slijedeći

			parametri: vodostaj, protok, temperatura vode i nanos (kontinuirano mjerenje koncentracije suspendiranog nanosa, povremena profilaska mjerenja susp. nanosa, granulometrijski sastav nanosa sa dna i povremeno mjerenje vučenog nanosa).
2.	Botovo	226,8	Lokacija hidrološke postaje Botovo je nizvodno od hidrocentrala na Dravi. Trenutno se na stanici mjeri H,Q i T vode, dnevna i profilaska (do 6 puta godišnje), koncentracija susp. nanosa kao i granulometrijski sastav nanosa sa dna. Uvesti kontinuirano mjerenje koncentracije suspend. nanosa i povremeno mjerenje vučenog nanosa.
3.	Novo Virje	200,6	Trenutno se na stanici mjeri H,Q i T vode. Uvesti kontinuirano mjerenje koncentracije suspend. nanosa, granulometrijski sastav nanosa sa dna i povremeno mjerenje vučenog nanosa.
4.	Terezino Polje	152,3	Na stanici se mjeri H,Q,T vode, konc. susp. nanosa (1xdnevno) i profilaska (do 6 x godišnje), granulom. sastav nanosa sa dna. Uvesti kontinuirano mjerenje mutnoće i povremeno mjerenje vučenog nanosa.
5.	Donji Miholjac	80,5	Trenutno se na stanici mjeri H,Q i T vode, dnevna i profilaska (do 6 puta godišnje) koncentracija susp nanosa kao i granulometrijski sastav nanosa sa dna. Uvesti kontinuirano mjerenje konc. susp. nanosa i povremeno mjerenje vučenog nanosa.
6.	Belišće	53,8	Zadnja postaja na Dravi prije ušća u Dunav na kojoj se mjeri H i Q. Uvesti kontinuirano mjerenje koncentracije suspend. nanosa, granulometrijski sastav nanosa sa dna i mjerenje vučenog nanosa.
7.	Bijelo Brdo	1,00	Postaja na Dravi neposredno prije ušća, pod usporom Dunava. Zbog izrazitih procesa taloženja nanosa i formiranja sprudova treba uvesti kontinuirano mjerenje koncentracije suspend. nanosa, povremenu analizu granulometrijskog sastava nanosa sa dna i mjerenje vučenog nanosa.
RIJEKA MURA			
1.	Goričan	693,4	Ovo je prekogranični profil sa R Mađarskom (Letenye). Trenutno se na stanici mjeri H,Q i T vode, a treba uvesti: kontinuirani monitoring koncentracija suspendiranog nanosa, povremena profilaska mjerenja susp. nanosa te

			granulometrijski sastav nanosa sa dna i količine vučenog nanosa.
2.	Mursko Središće	693,4	Ovo je prva postaja na ulazu Mure u Republiku Hrvatsku i granični profil sa R Slovenijom. Trenutno se na stanici mjeri H,Q i T vode, a treba uvesti: kontinuirani monitoring koncentracija suspendiranog nanosa, povremena profilaska mjerenja susp. nanosa te granulometrijski sastav nanosa sa dna i količine vučenog nanosa.
RIJEKA SAVA			
1.	Drenje Brdovečko-SIMK (Jesenice)	693,4	Ovo je prva postaja na ulazu Save u Republiku Hrvatsku i granični profil sa R Slovenijom (Jesenice na Dolenjskem). Trenutno se na stanici mjeri H,Q i T vode, a treba uvesti: kontinuirani monitoring koncentracija suspendiranog nanosa, povremena profilaska mjerenja susp. nanosa te granulometrijski sastav nanosa sa dna i količine vučenog nanosa.
2.	Podsused most	676,3 (postoji Podsused žičara na 675,4)	Predlaže se nova lokacija za kontinuirano mjerenje konc. susp. nanosa na mostu u Podsusedu, nizvodno od ušća Krapine, a uzvodno od postojeće postaje Podsused žičara. Trenutno se ovdje jednom dnevno mjeri koncentracija susp. nanosa i povremeno se vrše profilaska mjerenja. Treba uvesti i analizu granulometrijskog sastava nanosa sa dna kao i povremena mjerenja vučenog nanosa.
3.	Rugvica	636,3	Lokacija hidrološke postaje je nizvodno od šireg gradskog područja Zagreba, gdje Sava naglo usporava svoj tok. Trenutno se na stanici mjeri H,Q i T vode, dnevna i profilaska (do 6 puta godišnje), koncentracija susp. nanosa kao i granulometrijski sastav nanosa sa dna. Uvesti kontinuirano mjerenje koncentracije suspend. nanosa i povremeno mjerenje vučenog nanosa.
4.	Crnac	575	Predlaže se mjerenje nanosa na mostu u Crncu, nakon ušća Kupe u Savu, zbog kontrole doprinosa Kupe. Uvesti kontinuirano mjerenje Q, konc. susp. nanosa, povremena profilaska mjerenja i granulometrijski sastav nanosa sa dna kao i povremeno mjerenje vučenog nanosa.
4.	Jasenovac nizv.	498 (postojeći)	Predlaže se nova lokacija postaje cca 1-2 km nizvodno od ušća Une u Savu zbog kontrole

		Jasenovac na 500,5 ne uključuje Unu)	doprinosu Une. Uvesti kontinuirano mjerenje H, Q, konc. susp. nanosa, povremena profilska mjerenja i granulometrijski sastav nanosa sa dna i povremeno mjerenje vučenog nanosa.
5.	Stara Gradiška	453,4	Na ovoj stanici suspendirani nanos se mjerio do Domovinskog rata 1991., ali se motrenje nanosa kasnije nije ponovno obnovilo. Trenutno se na stanici mjeri H i Q, a treba uvesti kontinuirano mjerenje koncentracije suspend. nanosa, povremena profilska mjerenja, granulometrijski sastav nanosa sa dna i mjerenje vučenog nanosa.
6.	Davor c.s.	416	Lokacija postaje je nizvodno od ušća Vrbasa u Savu. Trenutno se na stanici mjeri H i Q, a treba uvesti kontinuirano mjerenje koncentracije suspend. nanosa, povremena profilska mjerenja, granulometrijski sastav nanosa sa dna i mjerenje vučenog nanosa.
7.	Slavonski Brod	360	Postaja sa najduljim neprekinutim nizom dnevnih koncentracija susp. nanosa (1964.-2018.).Trenutno se na stanici mjeri H, Q i dnevne koncentracije susp. Nanosa. U fazi je instalacija senzora za kontinuirano mjerenje mutnoće/koncentracije suspend. nanosa, sa daljinskom dojavom. Treba uvesti povremena profilska mjerenja, granulometrijski sastav nanosa sa dna i mjerenje vučenog nanosa.
8.	Slavonski Šamac	306	Lokacija postaje je na graničnom mostu, nizvodno od ušća Bosne u Savu. Trenutno se na stanici mjeri samo H. Treba uvesti kontinuirano mjerenje Q i kontinuirano mjerenje koncentracije suspend. nanosa, povremena profilska mjerenja, granulometrijski sastav nanosa sa dna i mjerenje vučenog nanosa.
9.	Gunja	227	Ovo je posljednja postaja na Savi na teritoriju Republike Hrvatske, prije ušća Drine. Trenutno se na stanici mjeri H,Q i T vode, a treba uvesti: kontinuirani monitoring koncentracija suspendiranog nanosa, povremena profilska mjerenja susp. nanosa te granulometrijski sastav nanosa sa dna i količine vučenog nanosa.
RIJEKA KRAPINA			
1.	Kupljenovo	14	Ovo je posljednja hidr. postaja na Krapini prije ušća u Savu. Trenutno se na stanici mjeri H,Q

			i koncentracije susp. nanosa (1xdnevno). Treba uvesti kontinuirani monitoring konc. susp.nanosa, povremena profilna mjerenja te granulometrijski sastav nanosa sa dna i količine vučenog nanosa.
RIJEKA UNA			
1.	Hrv. Kostajnica	42,1	Na ovoj stanici suspendirani nanos se mjerio do Domovinskog rata 1991., ali se motrenje nanosa kasnije nije ponovno obnovilo. Treba uvesti kontinuirano mjerenje konc. susp. nanosa, povremena profilna mjerenja, granulometrijski sastav nanosa sa dna i mjerenje vučenog nanosa.
2.	Dobretin	78,5	Predlaže se nova lokacija za kontinuirano mjerenje konc. susp. nanosa na izlazu iz Bosne, a prije ušća Sane.
3.	Donja Suvaja - vrelo Une	192	Predlaže se nova lokacija za kontinuirano mjerenje konc. susp. nanosa na samom izvoru

b) Navigacija

U Republici Hrvatskoj za riječnu plovību nadležna je Agencija za vodne puteve. Za potrebe nesmetane riječne plovibe, na hrvatskom dijelu plovnog puta rijeke Dunav je potrebno osigurati širinu od 180 m pri dubini od 2,5 m ispod plovibne razine. Na dijelovima zavoja nužna je minimalna širina plovnog puta $R_{min} = 200$ m. Vezano za ove uvjete Agencija za vodne puteve stalno nadzire plovni put i raspolaže podacima o formiranju sprudova, batimetrijskim snimkama dna, pronosu vučenog nanosa i taloženju suspendiranog nanosa duž plovnog puta, kako bi se moglo utvrditi trenutno stanje i/ili planirati potrebne intervencije. Ukoliko bi ti podaci bili dio jedne integralne baze i dostupni drugim dionicima kao i znanstvenoj zajednici, lakše bi se moglo pristupiti analizama i razvoju modela transporta nanosa. Nadležne institucije za monitoring i provedbu in-situ mjerenja također bi svoje podatke trebale pohranjivati u takvu bazu. Razne analize i studije zajedno sa znanstvenim istraživanjima na tu temu također bi bile dijelom jednog takvog sustava. S tim u vezi važno je naglasiti opravdanost redovitog simultanog mjerenja poprečnih profila Dunava, Save i Drave.

c) Korištenje hidroenergije

Na području Republike Hrvatske izgrađene su tri velike hidroelektrane na rijeci Dravi kojima gospodari Hrvatska elektroprivreda, Sektor za hidroelektrane, Proizvodno područje sjever. To su HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava na dionici rijeke Drave između granice sa Republikom Slovenijom i ušća Mure u Dravu.

Redovna godišnja geodetska mjerenja o zatrpavanju akumulacija koja provodi Hrvatska elektroprivreda, podaci o vađenju nanosa i njegovom premiještanju vrlo su važni i trebaju biti dio jedne zajedničke baze podataka. Preporuča se uspostava monitoringa za kontinuirano praćenje pronosa sedimenta na pilot područjima kao što su brane i

akumulacije hidroelektrana kao i razvoj modela za modeliranje pronosa nanosa na objektima hidroelektrana (brane, derivacijski kanali, akumulacije, osnovna korita). Razvijanje odabranih eksperimentalnih modela služilo bi kasnije kao podloge za druge lokacije.

Strategija energetskeg razvoja potiče izgradnju malih hidroelektrana kao obnovljivih izvora energije i na manjim vodotocima predmetnog sliva Dunava, te su neki takvi objekti izgrađeni a neki su pred izgradnjom ili u planu izgradnje (npr. rijeke Bednja, Orljava).

Na manjim vodotocima na kojima nema monitoringa pronosa nanosa, jedini pokazatelj koji se može koristiti je hidromorfološko stanje vodnog tijela u sadašnjem stanju i ekspertna procjena učinaka izgradnje takvog objekta (brane) na pronos nanosa. U tom smislu trebalo bi se propisati jedinstveni kriterij za osiguranje minimalnih protoka i ispuštanja nataloženog nanosa uzvodno od brane, uz uvažavanje hidrološkog režima pojedinog vodotoka.

d) Zaštita okoliša

Širok spektar djelovanja u području zaštite okoliša proteže se od zakonske regulative, izdavanje godišnjih koncesija, vođenje evidencije o količini izvađenog nanosa, informacije o premještanju nanosa, zaštita prirode i ekosustava. Takve informacije također su vrlo važne i trebaju biti dio zajedničkog informacijskog sustava.

Što se tiče zaštite okoliša, potrebno se usredotočiti na povezanost svih komponenti vodenog sustava, tj. sedimentom / tlom / površinskom vodom / podzemnim vodama i kopnenim sustavom. Naravno da tu uvijek postoji izazov u pronalaženju optimalnog odnosa između svih dionika, kao što su npr. interesi korisnika voda i korisnika zemljišta. To je posebice slučaj kada se poduzimaju neke mjere kojima se javnost protivi, budući da se neke mjere koje gospodarstvenici smatraju korisnim, mogu negativno percipirati od strane javnosti ili zaštite prirode.

Pitanja koja se pojavljuju kod dionika koji se bave ovim područjem variraju u vremenu i prostoru. Neke aktivnosti planiraju se na lokalnoj razini, nacionalnoj ili internacionalnom planu i mogu biti povezana sa prostornim planiranjem. Sa druge pak strane, pitanja vezana za vremensku skalu imaju potrebu predviđanja budućnosti. U takvim slučajevima postoji potreba za indikatorima koji pomažu u praćenju promjena sustava kroz vrijeme, u čemu je neophodan monitoring koji daje karakterizaciju sliva. To dovodi do nužnosti boljeg povezivanja i koordinacije između tehničkog, ekonomskog i socijalnog aspekta.

Zaključak: Vrlo je teško dati detaljne smjernice pojedinom dioniku, ali se u zaključku ovog poglavlja može generalno naglasiti slijedeće:

- U budućnosti treba započeti s idejom aktivnosti na čitavom riječnom slivu - internacionalizacija, prekogranična suradnja, prilagodba nacionalnih RBMP-a planova zakonodavstvu na razini EU. Međunarodne komisije za sliv rijeke mogle bi biti pokretači takvih aktivnosti.
- Razmjena informacija koje su već dostupne i koje su regulirane postojećom zakonskom regulativom
- Razvoj dodatnih informacija, prije svega monitoringom, te izradom simulacijskih modela pronosa riječnog nanosa.

- Zajednička baza podataka tj. informacijski sustav za pohranjivanje prikupljenih podataka - zajednički informacijski sustav zahtijeva usklađivanje metodologije mjerenja, protokola, smjernica (integrirani alati) za praćenje.



Slika 5.3-2: Sediment na desnoj obali Dunava nizvodno od Batine za vrijeme malih voda (snimljeno 22.11.18.)

KORIŠTENA DOKUMENTACIJA I LITERATURA

Godišnja izvješća o mjerenju nanosa dobivena od DHMZ-a:

1.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1980.	E -	1253
2.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1981.	E -	1311
3.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1982.	E -	1355
4.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1983.	E -	1398
5.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1984.	E -	1435
6.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1985.	E -	1481
7.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1986.	E -	1528
8.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1987.	E -	1556
9.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1988.	E -	1580
10.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1989.	E -	1609
11.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1990.	E -	1637
12.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1991.	E -	1653
13.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1992.	E -	1672
14.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1993.	E -	1683
15.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1994.	E -	1693
16.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1995.	E -	1704
17.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1996. i 1997.	E -	1717
18.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1998.	E -	1725
19.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	1999.	E -	1731
20.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2000.	E -	1738
21.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2001.	E -	1743
22.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2002.	E -	1746
23.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2003.	E -	1747
24.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2004.	E -	1752
25.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2005.	E -	1759
26.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2006.	E -	1762
27.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2007.	E -	1765
28.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2008.	E -	1768
29.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2009.	E -	
30.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2010.	E -	
31.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2011.	E -	
32.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2012.	E -	
33.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2013.	E -	
34.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2014.	E -	
35.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2015.	E -	
36.	Mjerenje suspendiranog nanosa	kod Rugvice i Jasenovca	2016.	E -	
37.	Mjerenje pronosa vučenog nanosa	na Savi kod Podsuseda u	1980.	E -	1280
38.	Mjerenje pronosa vučenog nanosa	na Savi kod Podsuseda u	1981.	E -	1314
39.	Mjerenje pronosa vučenog nanosa	na Savi kod Podsuseda u	1982.	E -	1353
40.	Mjerenje pronosa vučenog nanosa	na Savi kod Podsuseda u	1983.	E -	1399
41.	Mjerenje pronosa vučenog nanosa	na Savi kod Podsuseda u	1984.	E -	1430
42.	Mjerenje pronosa vučenog nanosa	na Savi kod Podsuseda u	1985.	E -	1480
43.	Mjerenje pronosa vučenog nanosa	na Savi kod Podsuseda u	1986.	E -	1526

44.	Mjerenje suspendiranog nanosa na Dravi u	1986.	E -	1522
45.	Mjerenje suspendiranog nanosa na Dravi u	1987.	E -	1557
46.	Mjerenje suspendiranog nanosa na Dravi u	1988.	E -	1575
47.	Mjerenje suspendiranog nanosa na Dravi u	1989.	E -	1610
48.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1990.	E -	1635
49.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1991.	E -	1649
50.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1992.	E -	1664
51.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1993.	E -	1679
52.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1994.	E -	1692
53.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1995.	E -	1696
54.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1996.	E -	1705
55.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1997.	E -	1714
56.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1998.	E -	1724
57.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	1999.	E -	1730
58.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2000.	E -	1734
59.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2001.	E -	1736
60.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2002.	E -	1742
61.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2003.	E -	1744
62.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2004.	E -	1749
63.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2005.	E -	1757
64.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2006.	E -	1760
65.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2007.	E -	1764
66.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2008.	E -	1766
67.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2009.	E -	1771
68.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2010.	E -	
69.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2012.	E -	1788
70.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2013.	E -	
71.	Mjerenje suspendiranog nanosa i nanosa sa dna na Dravi i Muri u	2014.	E -	

Ostala literatura i izvori:

72. Prognoze morfološko – psamoloških procesa u rijeci Dravi nakon izgradnje HE Novo Virje: "Procjena utjecaja postojećih vodnih građevina i eksploatacije riječnog nanosa na morfološko-psamološke značajke Drave, Institut za elektroprivredu d.d., 1998."
73. „Identifikacija utjecajne zone podvodnog regulacijskog praga u koritu rijeke Save kod TE-TO Zagreb“, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1994.
74. Studija o mogućnostima vađenja pijeska i šljunka iz r. Drave, Hrvatske vode, Vodnogospodarski odjel za vodno područje sliva Drave i Dunava, Osijek, 1997.
75. WB8-HR-ENE-11 - Hidrološke analize rijeke Save na potezu od granice sa Slovenijom do Siska, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 2015.
76. Projekt uklanjanja nanosa iz akumulacijskog jezera HE Varaždin, Institut za elektroprivredu d.d., 2009.
77. "The Drava River", editor D. Loczy, Chapter 9.: Human Impact on Water regime (Bonacci O., Oskoruš D., 2018 - Map of the Drava River channels around the city of Osijek between 1796-2000 (modified after Tadić et al., 2014)

PRILOZI TEKSTU

Prilozi tekstu dani tablično i grafički u .xls-u priloženi su na CD-u

- Prilog poglavlju 2.1.2-1*** Tablični iskazi karakterističnih mjesečnih i godišnjih vodostaja i odgovarajući protoci Drave
- Prilog poglavlju 2.1.2-2*** Grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka
- Prilog poglavlju 2.1.2-3*** Tablični i grafički prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dravi.
- Prilog poglavlju 2.1.3.*** Podaci o provedenim mjerenjima nanosa na rijeci Dunav i analizama granulometrijskih krivulja
-
- Prilog poglavlju 2.2.2-1*** Tablični iskazi karakterističnih mjesečnih i godišnjih vodostaja i odgovarajući protoci Save
- Prilog poglavlju 2.2.2-2*** Grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka
- Prilog poglavlju 2.2.2-3*** Tablični i grafički prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Savi
- Prilog poglavlju 2.2.3.*** Podaci o provedenim mjerenjima nanosa na rijeci Savi i analizama granulometrijskih krivulja
-
- Prilog poglavlju 2.3.2-1*** Tablični iskazi karakterističnih mjesečnih i godišnjih vodostaja i odgovarajući protoci Dunava
- Prilog poglavlju 2.3.2-2*** Grafički prikaz rezultata mjerenja protoka i jednadžbe krivulja protoka
- Prilog poglavlju 2.3.2-3*** Tablični i grafički prikazi raspoloživih podataka o poprečnim presjecima na lokaciji razmatranih hidroloških stanica na Dunavu
- Prilog poglavlju 2.3.3.*** Podaci o provedenim mjerenjima nanosa na rijeci Dunav i analizama granulometrijskih krivulja

KARTOGRAFSKI PRILOZI

- Prilog 1:** *Situacija područja monitoringa nanosa na Dravi, Savi i Dunavu u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 2:** *Kartografski prikaz količina pronosa suspendiranog nanosa duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 3:** *Kartografski prikaz koncentracije suspendiranog nanosa duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 4:** *Kartografski prikaz fizičkih karakteristika nanosa duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 5:** *Kartografski prikaz bilance nanosa duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 6:** *Kartografski prikaz morfoloških značajki duž rijeke Drave u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 7:** *Kartografski prikaz količina pronosa suspendiranog nanosa duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 8:** *Kartografski prikaz koncentracije suspendiranog nanosa duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 9:** *Kartografski prikaz fizičkih karakteristika nanosa duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 10:** *Kartografski prikaz bilance nanosa duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 11:** *Kartografski prikaz morfoloških značajki duž rijeke Save u Republici Hrvatskoj*
- Prilog 12:** *Kartografski prikaz morfoloških značajki duž rijeke Dunav u Republici Hrvatskoj*