

Sedimentološka obilježja i taložna arhitektura kvartarnih fluvijalnih naslaga kod Novigrada Podravskog

Vlatković, Karla

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:060720>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Karla Vlatković

**SEDIMENTOLOŠKA OBILJEŽJA I TALOŽNA
ARHITEKTURA KVARTARNIH FLUVIJALNIH
NASLAGA KOD NOVIGRADA PODRAVSKOG**

Diplomski rad

Zagreb, 2022.

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

Ja, Karla Vlatković, student/ica Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, s prebivalištem na adresi Brune Bušića 23, 10020 Zagreb, OIB 25020691043, JMBAG 0119028627, ovim putem izjavljujem pod materijalnom i kaznenom odgovornošću da je moj završni/diplomski/doktorski rad pod naslovom: Sedimentološka obilježja i taložna arhitektura kvartarnih gluvijalnih naslaga kod Navigrada Podravskog, isključivo moje autorsko djelo, koje je u potpunosti samostalno napisano uz naznaku izvora drugih autora i dokumenata korištenih u radu.

U Zagrebu, 2. 2. 2022.

KVlatkovic

Potpis

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
GEOLOŠKI ODSJEK

Karla Vlatković

**SEDIMENTOLOŠKA OBILJEŽJA I TALOŽNA
ARHITEKTURA KVARTARNIH FLUVIJALNIH
NASLAGA KOD NOVIGRADA PODRAVSKOG**

Diplomski rad
predložen Geološkom odsjeku
Prirodoslovno-matematičkog fakulteta
Sveučilišta u Zagrebu
radi stjecanja akademskog stupnja
magistra geologije

Mentor:
Doc. dr. sc. Katarina Gobo

Zagreb, 2022.

Zahvale

doc. dr. sc. Katarini Gobo na mentorstvu, podijeljenom znanju, strpljenju i povjerenju

*prijateljima Dominiku, Doroteji, Ines, Josipi, Leu, Nini, Petri i Vedranu na studentskim
godinama i iskrenom prijateljstvu*

obitelji na bezuvjetnoj podršci

Gagi i Bartu na beskrajnoj sreći

mami Vesni i tati Daliboru na ljubavi i planinama

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Geološki odsjek

Diplomski rad

SEDIMENTOLOŠKA OBILJEŽJA I TALOŽNA ARHITEKTURA KVARTARNIH FLUVIJALNIH NASLAGA KOD NOVIGRADA PODRAVSKOG

Karla Vlatković

Rad je izrađen u: Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Sažetak: Aluvijalna ravnica rijeke Drave i njenih pritoka formirana je u tri faze tijekom kasnog pleistocena i ranog holocena. Dravu smatramo prijelaznim tipom rijeke od prepletene do meandrirajuće koju nazivamo *wandering river*. Fluvijalni sustavi *wandering* rijeka sedimentološki su vrlo varijabilni te pod snažnim utjecajem njihovog specifičnog razvoja sporednih korita i glavnog korita. U blizini Novigrada Podravskog pronađen je kop šljunkovitih naslaga koje pripadaju drugoj riječnoj terasi rijeke Drave. Analizom njihovih sedimentoloških karakteristika i usporedbom s literaturom zaključeno je da su naslage istaložene iz nekanaliziranih tokova, kanaliziranih bujica i poplavnih događaja te da pojedine naslage vjerojatno odražavaju razvoj sporednih korita *wandering* rijeka.

Ključne riječi: sedimentologija, Drava, aluvij, arhitektura naslaga, *wandering river*

Rad sadrži: 51+V stranica, 31 slika, 2 tablice, 47 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Središnja geološka knjižnica, Geološki odsjek, PMF

Mentor(i): Doc. dr. sc. Katarina Gobo, PMF, Zagreb

Ocjenjivači: Doc. dr. sc. Katarina Gobo, PMF, Zagreb

Doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, PMF, Zagreb

Mr. sc. Dražen Kurtanjek, PMF, Zagreb

Datum završnog ispita: 23. veljače 2022.

BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Geology

Graduate Thesis

SEDIMENTARY CHARACTERISTICS AND DEPOSITIONAL ARCHITECTURE OF QUATERNARY FLUVIAL DEPOSITS IN THE AREA OF NOVIGRAD PODRAVSKI

Karla Vlatković

Thesis completed in: Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb

Abstract: The alluvial plain of the Drava river and its tributary channels was formed in three phases during the late Pleistocene and early Holocene. Drava is considered a wandering river, transitional type from braided to meandering. Fluvial systems of wandering rivers are sedimentologically variable and strongly influenced by their specific development of secondary and main riverbeds. A gravel pit comprising deposits of the second Drava river terrace was found in the vicinity of Novigrad Podravski. By analysing sedimentological characteristics and comparing with available data it can be concluded that deposits of Novigrad Podravski were deposited from sheet-floods, flash-floods and major flood events. It can also be concluded that certain deposits probably reflect the development of secondary channels of wandering rivers.

Keywords: sedimentology, Drava, alluvium, depositional architecture, wandering river

Thesis contains: 51+V pages, 31 figures, 2 tables, 47 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Central Library of Geology, Department of Geology, Faculty of Science

Supervisor: Katarina Gobo, Ph.D. assistant professor, PMF, Zagreb.

Reviewers: Katarina Gobo, Ph.D. assistant professor, PMF, Zagreb

Borna Lužar-Oberiter, Ph.D. assistant professor, PMF, Zagreb

Dražen Kurtanjek, Mr.sc. senior lecturer, PMF, Zagreb

Date of the final exam: February 23, 2022.

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Geologija područja.....	4
2.1	Riječne terase	5
2.1.1	Dravske terase	7
3.	Taloženje u aluvijalnim okolišima.....	9
3.1	Temeljni aspekti sedimentacije u koritima	9
3.2	Transport i taloženje šljunkovitog materijala.....	10
4.	Taložna arhitektura aluvijalnih naslaga	12
4.1	Kontrolirajući čimbenici arhitekture aluvijalnih naslaga	12
4.2	Arhitektonski elementi fluvijalnih naslaga	13
4.2.1	Element CH: korito	16
4.2.2	Element GB: šljunčani sprudovi i naslage.....	17
4.2.3	Element SB: pjeskovite naslage	19
4.2.4	Element LA: lateralna akrecija	20
4.2.5	Element LS: laminarni pjeskoviti pokrovi.....	21
4.3	Meandrirajuće šljunkovite rijeke.....	21
4.4	Prepletene šljunkovite rijeke.....	21
4.5	<i>Wandering rivers</i> : prijelazni tip rijeke između meandrirajuće i prepletene	21
5.	Metode.....	23
6.	Rezultati.....	24
6.1	1. izdanak	24
6.2	2. izdanak	27
6.3	3. izdanak	30
6.4	4. izdanak	33

6.5	5. izdanak	35
6.6	6. izdanak	37
6.7	7. izdanak	39
7.	Rasprava	41
7.1	Fosilne i recentne taložne forme	41
8.	Zaključak	46
9.	Literatura	47

1. Uvod

Rijeka Drava izvire u Toblachu, mjestu koje se nalazi u podnožju Dolomita južnog Tirola. Prolazi kroz Austriju, Sloveniju i Hrvatsku (gdje čini granicu s Mađarskom) te se naposljetku na granici sa Srbijom ulijeva u Dunav. Ukupna duljina Drave iznosi 749 km, a 322,8 km rijeke prolazi kroz Hrvatsku (TADIĆ i BRLEKOVIĆ, 2018).

Dravu, ovisno o promatranom dijelu toka, možemo smatrati prepletenom (slika 1), meandrirajućom (Slika 2) ili prijelaznim tipom rijeke od prepletene do meandrirajuće koju nazivamo *wandering river* (Slika 3). Prijelaz iz jednog tipa korita u drugi ovisi o nagibu terena, energiji vode i naslagama kroz koje se rijeka kreće.



Slika 1: prepleteni dio korita rijeke Drave u blizini Varaždina (modificirano prema [1])

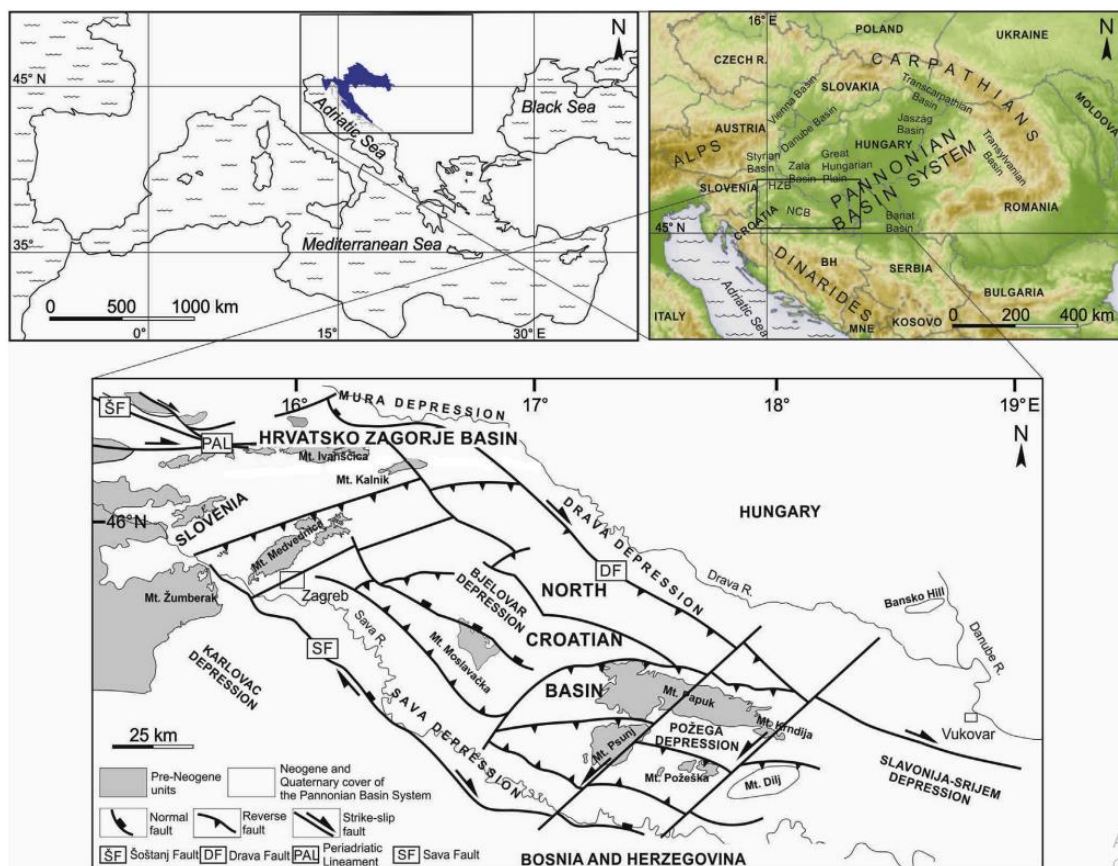
Fluvijalna ravnica rijeke Drave sastoji se od četiri terase koje su se razvijale tijekom kasnog pleistocena i ranog holocena. U blizini Novigrada Podravskog pronađen je kop šljunkovitih naslaga koje pripadaju jednoj od riječnih terasa rijeke Drave (Slika 4). O kojoj terasi je riječ, ne može se sa sigurnošću utvrditi dok se ne provedu detaljnije analize datiranja sedimenta. Sedimentima Mučne Reke u blizini Novigrada Podravskog utvrđena je gornjo-pliocenska/donjo-pleistocenska starost. Naslage su pokrivene holocenskim lesom, kao i naslage Novigrada Podravskog. (WACHA i sur., 2017). Unutar kopa nalazi se obilje naslaga taloženih nekanaliziranim tokovima. Analizirani su izdanci koji također sadrže i naslage drugačijih procesa i uvjeta taloženja kako bi se dao donekle reprezentativan prikaz ovog malog istraživanog područja. Cilj rada bio je opisati naslage pronađene na terenu, uočiti njihove karakteristike koje bi mogle ukazivati na taložne procese kojima su nastale te identificirati arhitektonske elemente kojima pripadaju.



Slika 4: lokacija kopa u blizini Novigrada Podravskog (modificirano prema ŠIMUNIĆ i sur., 1991).

2. Geologija područja

Središnji dio doline rijeke Drave pripada jugozapadnom dijelu Panonskog bazena koji obuhvaća središnji dio nekadašnjeg Paratethysa (Slika 5). Panonski bazen nastao je miocenskom zalučnom ekstenzijom uzrokovanom kolizijom Europske ploče s kontinentskim fragmentima s juga (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018), a njegovo otvaranje očituje se kroz niz normalnih rasjeda. Unutar bazenskog sustava moguće je razlikovati dva bazena različitih sedimentoloških karakteristika; bazen Hrvatskog zagorja i Sjevernohrvatski bazen (BUCKOVIĆ, 2006). Dravska depresija predstavlja područje Sjevernohrvatskog bazena gdje je najprije započelo kontinentsko riftovanje, zatim mnogi kompresijski događaji (SAFTIĆ i sur., 2003; PAVELIĆ, 2018). Tek od karpata na području Panonskog bazenskog sustava formira se jedinstveni taložni prostor. Od otnanga do srednjeg miocena ekstenzijska tektonska faza uzrokuje normalno rasjedanje prostora orijentacije SZ-JI te nastavak formiranja Dravske depresije i Bjelovarske subdepresije. U gornjem badenu nastupa post-riftna faza; ekstenzijska faza zamijenjena je kompresijskom. Bazenski prostor se spušta uslijed hlađenja kore te su reaktivirani rasjedi nastali u sin-riftnoj fazi (MATOŠ, 2014).

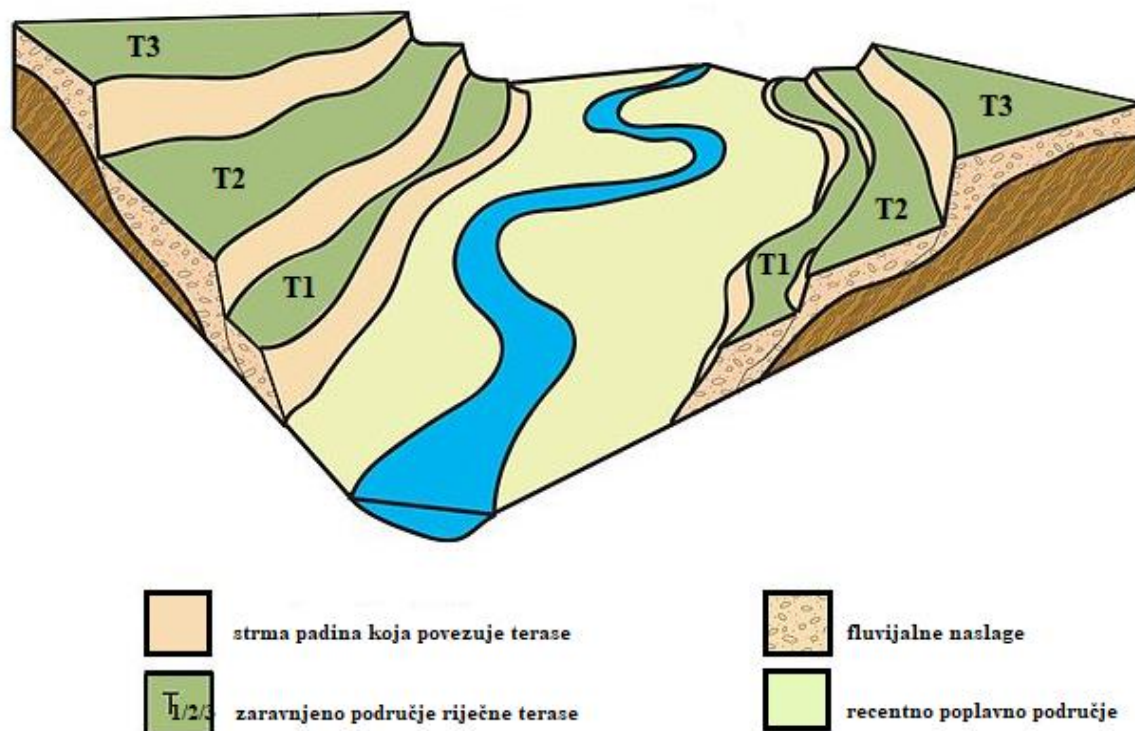


Slika 5: lokacija središnjeg dijela rijeke Drave (PAVELIĆ i KOVAČIĆ, 2018)

Novigrad Podravski pripada tektonskoj jedinici dravske potoline. Proteže se od Legradskog praga pa sve do Dunava te ima dinaridski pravac pružanja. Površina tektonske jedinice u potpunosti je prikriivena kvartarnim naslagama te njen postanak i razvoj usko je vezan uz horst-antiklinorij Bilogore (ŠIMUNIĆ i sur., 1990). Metamorfne i klastične stijene čine podlogu miocenskih naslaga, a vapnenačko-dolomitne breče ukazuju na utjecaj pirinejske orogenetske faze tijekom eocena. Spuštanje taložnog prostora nastupa u donjem miocenu nakon čega je uslijedila transgresija. Daljnje oblikovanje prostora uvjetovano je savskom i štajerskom orogenetskom fazom koje su uzrokovale boranje. Kontinuirana sedimentacija i nastavljeno spuštanje terena pokrenulo je badensku transgresiju, a odvijalo se uz glavni potolinski rasjed Koprivnica-Virje. Tijekom pliocena na ovom području nije bilo prekida sedimentacije, pa su se u dravskoj potolini taložile tzv. Paludinske naslage. Današnja tektonika područja aktivna je duž uzdužnih rasjeda te su prisutna i tangencijalna kretanja po kosim rasjedima orijentacije sjeverozapad-jugoistok (ŠIMUNIĆ i sur., 1990).

2.1 Riječne terase

Riječne terase su zaravnjene površine koje predstavljaju nekadašnje poplavne ravnice. Svaka riječna terasa sastoji se od zaravnjenog područja i strme padine koja povezuje riječnu terasu s bilo kojim nižim područjem (Slika 6). Njihovim proučavanjem moguće je rekonstruirati povijest riječne doline te prepoznati koji čimbenik je najviše utjecao na promjenu nadmorske visine toka. Uglavnom se radi o klimatskim promjenama, tektonici ili slijeganju. Kao i poplavne ravnice, površine riječnih terasa prekrivene su naplavnim sedimentima i sedimentima korita. Ti sedimenti formirani su istim procesima koji uzrokuju sedimentaciju u recentoj riječnoj dolini pa se sedimenti riječnih terasa sastoje većinom od naslaga taloženih u nekadašnjem koritu [2].



Slika 6: shematski prikaz riječnih terasa (modificirano prema [2])

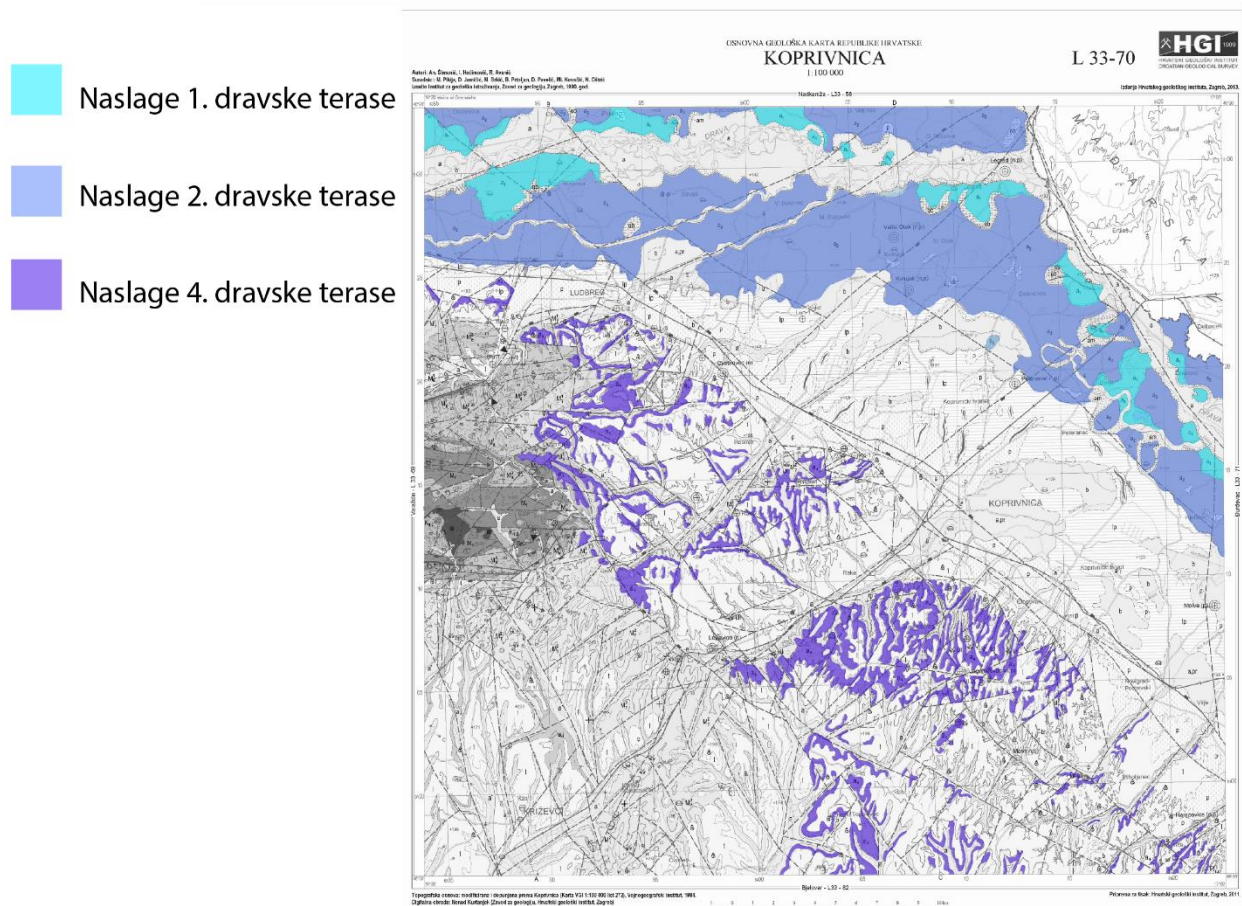
Genetska klasifikacija dijeli terase na erozijske i akumulacijske.

Zaravnjena područja erozijskih terasa formirana su bočnom erozijom u uvjetima stalne nadmorske visine korita. Za takve terase koriste se termini poput *bench*, *strath* ili *rock-cut terrace* ukoliko se radi o eroziji konsolidiranog materijala. Izrazi poput *fill-cut* ili *fillstrath* opisuju erozijske terase nastale u nekonsolidiranom materijalu. Erozijske terase vežemo uz procese razvoja poplavnih područja. Migracija korita i lateralna akrecija su dominantni procesi koji grade i oblikuju površinske sedimente poplavne ravnice koji su ujedno i sedimenti buduće riječne terase. Većinu takvih naslaga čine sprudovi, a njihova debljina ograničena je dubinom korita [2].

Ukoliko su naslage zaravnjenog područja terase također i vršne naslage ispunje doline, riječ je o akumulacijskoj terasi. Naslage ispunje doline činit će podlogu akumulacijske terase ukoliko je donos sedimenta riječnog sustava veći od erozije koju će rijeka (i ostali čimbenici) uzrokovati. Takav odnos sedimentacije i erozije uzrokovan je klimatskim promjenama, priljevom ispranog materijala glacialnog podrijetla, izdizanjem terena izvorišnog područja ili lokalnih dijelova korita [2].

2.1.1 Dravske terase

Aluvijalna ravnica rijeke Drave i njenih pritoka formirana je u tri faze tijekom kasnog pleistocena i ranog holocena. Njen riječni nanos usječen je u četiri terase i recentno poplavno područje (Slika 6). Sjeveroistočni vjetrovi stvorili su velike nanose pijeska uz korito koje danas nazivamo Durđevačkim pijescima.



Slika 7: naslage dravskih terasa (modificirano prema ŠIMUNIĆ i sur., 1991)

U dravskoj nizini nalazimo fluvijalni i eolsko-jezersko-barski tip reljefa. Aluvijalna ravnica Drave sastoji se od četiri riječne terase (BRENKO i sur., 2020).

Povlačenjem Panonskog jezera krajem pliocena te izdizanjem rubnih područja i daljnjim produblivanjem postojećih depresija započelo je formiranje hidrografske mreže Dunavskog slijeva (GÁBRIS i NÁDOR, 2007). Rijeka Drava je tada formirala današnju četvrtu terasu, erozijom stvarajući korito i taložeci krupnozrnasti šljunak i pijesak. Izdizanjem Bilogore i Kalnika Drava je formirala još jednu terasu tijekom pleistocena te dvije terase u holocenu, da

bi se konačno povukla u današnje korito. Klimatski uvjeti sjeverne Hrvatske mijenjali su se sukladno izmjenama glacijacija u Alpama. Velike količine lesa donesene su jakim vjetrovima tijekom oledbi, a tijekom toplijih razdoblja povećavala se količina vode u sustavu pa je dolazilo do intenzivnijeg kemijskog trošenja (ŠIMUNIĆ i sur., 1990).

Treću riječnu terasu nastalu u kasnom pleistocenu karakteriziraju lesni glineno-pjeskoviti siltovi i sitnozrnasti glinoviti pijesci (ŠIMUNIĆ i sur., 1990; MIŠIĆ, 2020). Za vrijeme povremenog poplavlivanja u toplijim razdobljima stvarale su se fluvijalne akumulacije (BRENKO i sur., 2020).

Korito rijeke Drave zajedno s prvom i drugom dravskom terasom čine fluvijalni tip reljefa izgrađen uglavnom od holocenskih šljunaka i pijesaka.

Druga dravska terasa formirana je tijekom drugog Würmskog interglacijala, erozijsko-akumulacijskog je karaktera te djelomično prekriva sedimente treće dravske terase (PRELOGOVIĆ i VELIĆ, 1988; MIŠIĆ, 2020). Uglavnom se sastoji od krupnozrnastog šljunkovitog pijeska i površinskih pjeskovitih siltova (ŠIMUNIĆ i sur., 1990). Mineraloški sastav naslaga upućuje na podrijetlo sedimenta iz Istočnih Alpi (MUTIĆ, 1975; BRENKO i sur., 2020).

Prva dravska terasa formirana je u nekoliko faza, tijekom trećeg Würmskog interglacijala. Njene naslage čine pijesci, šljunkoviti pijesci i pjeskoviti šljunci što upućuje na često poplavlivanje za vrijeme visokog vodostaja (ŠIMUNIĆ i sur., 1990; BRENKO i sur., 2020).

3. Taloženje u aluvijalnim okolišima

Sedimentna tijela i morfologija aluvijalnih okoliša razvijaju se pod utjecajem istovremene erozije i sedimentacije. Erozijski malih razmjera erodiraju i rastresiti materijal i djelomično zasjedi konsolidirani materijal u riječnom koritu. Erozijski većih razmjera produbljava postojeće korito i može stvarati nove kanale u rasponu od sporednih rukavaca do novog korita. Postojeći glavni i sporedni kanali mogu se proširivati i mijenjati svoj položaj ovisno o produbljivanju i lateralnoj migraciji korita (READING, 1996).

Produbljivanjem korita smatramo eroziju podloge uzrokovanom poplavama ili postupnim povećanjem energije toka. Tijekom poplava erodirani substrat često je naknadno ispunjen materijalom, dok povećanje energije toka proširuje korito. Istovremenom erozijom obale i produbljivanjem korita nastaju riječne terase (READING, 1996).

Bočna erozijska korita uvjetuje njegovu migraciju i uključuje odnošenje rastresitog materijala i gravitacijska urušavanja strmih dijelova obala. Odnos tih dvaju procesa i količina erodiranog materijala ovisi o koheziji naslaga. Odroni rastresitog materijala češći su kod rijeka usječenih u podlogu građenu od rastresitog pijeska i šljunka nego kod rijeka usječenih u litificiranu podlogu.

U aluvijalnim okolišima poznajemo četiri mehanizma prijenosa materijala: (1) debritni tokovi nastali odronom materijala obale; (2) pridneni transport sedimenta korita; (3) materijal u suspenziji turbulentnih tokova; (4) materijal nošen vjetrom (READING, 1996).

3.1 Temeljni aspekti sedimentacije u koritima

1. Lateralnom i nizvodnom migracijom korita naslage sprudova talože se vertikalno i naliježu na postojeće sprudove. Frontalni dio novonastajućeg spruda naliježe na stražnji dio prethodnog.

2. Prostorne varijacije u debljini naslaga korita te nagib i orijentacija slojeva velikih razmjera posljedica su topografije i migracije korita.

3. Lateralne i vertikalne varijacije veličine zrna i sedimentnih tekstura pod utjecajem su topografije korita, riječnog toka, transporta sedimenta i migracije korita (BRIDGE, 2006).

3.2 Transport i taloženje šljunkovitog materijala

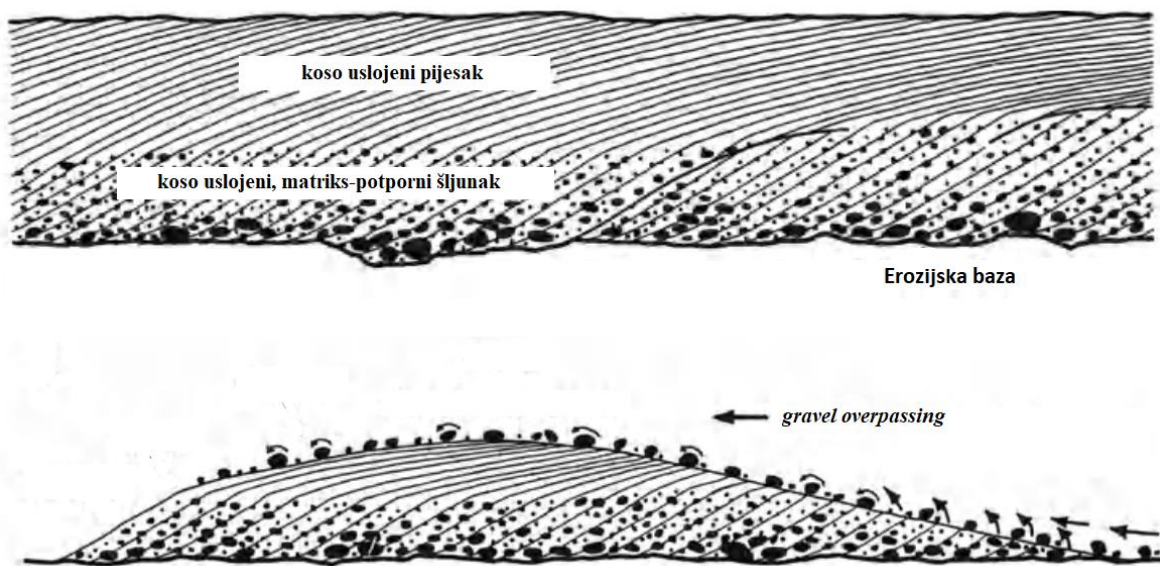
Transport šljunka odvija se u širokom spektru fizičkih uvjeta te stvara niz teksturnih i strukturnih varijacija u nastalim sedimentima. Faktori koji kontroliraju uvjete taloženja su tip toka vode (laminarni ili turbulentan) i koncentracija sedimenta u toku. Specifične litofacijese povezujemo s određenim procesima taloženja, ali pojedinačni tokovi mogu prelaziti iz jednih taložnih uvjeta u druge pa tako i istaloženi sedimenti to odražavaju svojim teksturama i strukturama. Kod transporta šljunkovitog sedimenta razlikujemo dvije vrste toka: (1) tok niske koncentracije sedimenta u turbulentnim uvjetima gdje se taloženje odvija vučenjem materijala te vrlo malo iz suspenzije; (2) tok velike koncentracije koji prigušuje turbulenciju te stvara laminarne uvjete gdje potporu česticama daje uzgon. Navedenu drugu vrstu toka generalno nazivamo gravitacijskim tokom (MIALL, 1996).

Analiza šljunkovitih riječnih naslaga provodi se u sklopu dvaju konteksta. U kontekstu interakcije vode i sedimenta promatraju se tipovi slojevitosti, tekstura i struktura koji ovise o brzini transporta sedimenta, protoku vode i dubini korita. U kontekstu većih razmjera, na razini evolucije korita, promatra se nastanak i razvoj arhitektonskih elemenata aluvija i konačnih sedimentnih sklopova. Očuvanje bilo kakvog sedimentnog tijela ili barem njegovog dijela je slučajnost. Rijetko kada nalazimo očuvane potpune makroforme šljunkovitih sedimenata.

Osim promjene uvjeta uzrokovanih vanjskim čimbenicima, erozija sprudova i dna korita ima kontinuirani učinak na promjenu brzine toka, dubinu korita i količinu sedimenta u sustavu te uzrokuje lokalne promjene uvjeta taloženja. Na primjer, taloženje malog šljunčanog tijela u obliku režnja (*lobe*) lokalno podiže razinu vode te potencijalno uzrokuje poplave manjih razmjera i preusmjeravanje toka.

Varijacije u teksturi i strukturi šljunkovitih sedimenata odražavaju značajne promjene brzine toka vode i prijenosa sedimenta. Šljunak se najčešće transportira naglo u obliku klastera valutica u pokretu (*slugs*) i taloži u obliku *lobes*. Takvi sedimenti odražavaju obrasce promjene dinamike toka i način na koji sediment dopijeva u korito erozijom obale ili odražava migraciju šljunka unutar korita. Veličina klasta proporcionalna je jačini toka, pa će se u uvjetima velikih brzina toka taložiti klastpotporni šljunak. Manje valutice i pijesak talože se pri nižim brzinama strujanja odnosno u uvjetima male energije toka. Kao rezultat toga, struktura šljunkovitih naslaga pokazuje nagle vertikalne promjene (MIALL, 1996).

Šljunkovito-pjeskovita sedimentna tijela obično se sastoje od dobro sortiranog pijeska koji je strogo odvojen od šljunka u donjem dijelu. Takve forme su konveksnih gornjih površina i nazivamo ih *hump-back dunes* (Slika 8). Nastaju kada se radi o bimodalnom sedimentu te kada su klasti dobro zaobljeni, što olakšava sortiranje. U vršnom, pjeskovitom dijelu razvijaju se dine pri niskim energijama toka. Dobro zaobljeni klasti šljunka se tada mogu kotrljati preko dina te zadržavati uz njihove nizvodne strane. Taj proces nazivamo *gravel overpassing* (Slika 8).



Slika 8: *hump-back* dina i *gravel overpassing* (modificirano prema MIALL, 1985)

4. Taložna arhitektura aluvijalnih naslaga

Opsežne akumulacije fluvijalnih naslaga u taložnim bazenima formiranim milijunima godina pokazuju prostornu varijaciju u veličini zrna, geometriji te udjelu i prostornoj distribuciji naslaga korita i poplavne ravnice (ALLEN, 1978). Takve prostorne varijacije javljaju se u različitim redovima veličine. Definiranje taložne arhitekture potpovršinskih aluvijalnih naslaga zahtijeva veliki broj seizmičkih podataka visoke razlučivosti, uzoraka jezgri ili karotažnih zapisa bušotina, precizno datiranje naslaga te velik broj površinskih podataka prikupljenim na izdancima i u recentnim fluvijalnim sustavima. Budući da su potrebni podaci uglavnom nepotpuni ili ih nema dovoljno, potrebno je pretpostaviti trodimenzionalni prostor kako bi se dobio cjeloviti hipotetski prikaz nekog područja. Kako nije moguće promatrati procese razvoja arhitekture aluvija, za interpretaciju i predviđanje njegova razvoja potrebno je koristiti kvantitativne modele. Većina kvantitativnih modela bazira se ili na predviđanju procesa razvoja aluvija ili nastanku struktura aluvija (stohastički modeli) (BRIDGE, 2003).

4.1 Kontrolirajući čimbenici arhitekture aluvijalnih naslaga

Razvoj arhitekture aluvijalnih naslaga pod utjecajem je: (1) geometrije i sedimenata korita i poplavne ravnice; (2) brzine i učestalosti taloženja i erozije u koritu i na poplavnoj ravnici; (3) lokalne tektonske deformacije; (4) migracije glavnog i sporednih korita. Navedeni čimbenici odvijaju se unutar aluvijalnog bazena te su pod utjecajem vanjskih faktora poput regionalne tektonike, klime i eustatičkih promjena razine mora. Geometrija i tip sedimenta koje nalazimo u koritu ili na poplavnoj ravnici ovise o brzini i načinu opskrbe materijalom i vodom, koji pak ovise o tipu izvorišne stijene, topografiji terena, klimi i vegetaciji.

Taložne modele temeljene na rješenjima jednadžbi dinamike fluida zovemo modelima usmjeravanja sedimenta (sediment routing models). Takvi dvodimenzionalni modeli primjenjuju se na relativno jednostavnim problemima protoka i sedimentacije kod modernih rijeka i naplavnih ravnica. Sedimentolozi ih također koriste kako bi objasnili karakteristike sedimenta kojeg nalazimo u aluvijalnim okolišima poput nizvodnog positnjavanja (BRIDGE, 2003). Trodimenzionalni modeli primjenjuju se ukoliko je potrebno simulirati razvoj i migraciju korita u većem razmjeru od lokalnog. Najčešći pristup predviđanju geološke građe potpovršinskih naslaga riječnih akumulacija i vodonosnika su: (1) određivanje geometrije, udjela i položaja različitih sedimentnih tijela iz seizmičkih podataka i jezgri; (2) tumačenje

porijekla sedimentnih tijela; (3) usporedba s analognim izdancima u svrhu predviđanja karakteristika sedimentnih tijela; (4) korištenje stohastičkih modela pri simuliranju arhitekture aluvija.

4.2 Arhitektonski elementi fluvijalnih naslaga

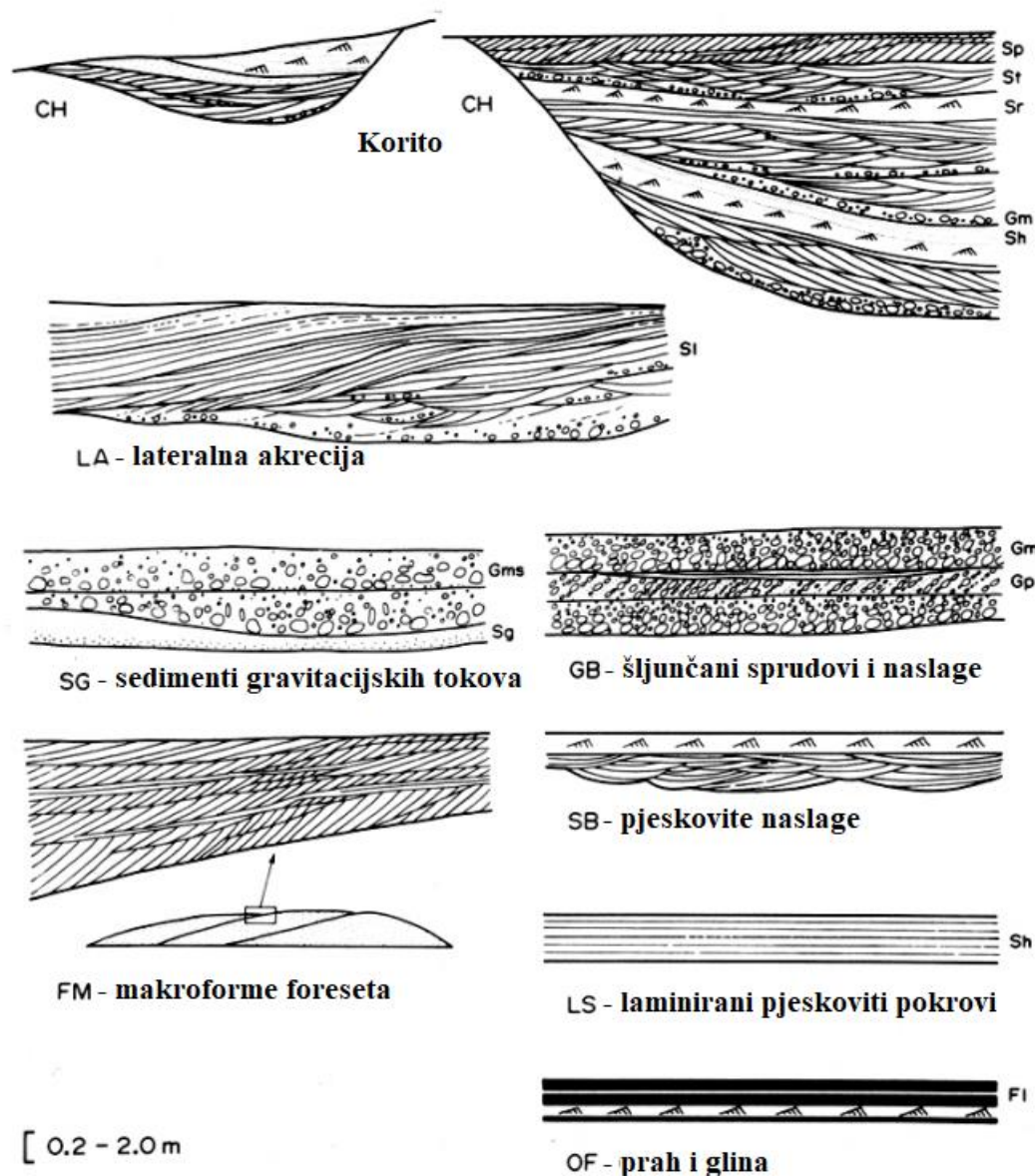
Adekvatno definiranje glavnih arhitektonskih elemenata fluvijalnih naslaga zahtijeva izdanke širine nekoliko desetaka metara. Definiranje geometrije najvećih elemenata i tankih elemenata velikog lateralnog prostiranja zahtijeva izdanke širine od stotine metara, ali takvi uvjeti su rijetko zadovoljeni. Izdanci jedan ili dva reda veličine manji od elemenata koji ih sačinjavaju ne sadrže dovoljno informacija da bi se oni točno interpretirali. Promatranja su ograničena na sklop litofacijesa i vertikalni profil.

Opis i definiranje nekog arhitektonskog elementa uključuje određivanje: (1) prirode kontakta između slojeva (erozijski ili normalan); (2) vanjske geometrije (pokrov, leća, klin, ispuna, itd.); (3) dimenzija (debljina, lateralno pružanje, orijentacija); (4) unutarnje geometrije (slojevitost, graduiranost, sekundarne erozijske površine, orijentacija zrna, itd.).

Prema Miall (1985), poznajemo osam osnovnih arhitektonskih elemenata fluvijalnih naslaga (Tablica 1; Slika 9). Tih osam elemenata variraju po mjerilu i složenosti. Manji elementi naslagani jedan na drugi formiraju tzv. katove (FRIEND i sur., 1979) ili komplekse (ALLEN, 1983) koji čine veće arhitektonske elemente. Elemente stoga možemo svrstati u hijerarhiju ovisno o prirodi kontakata između kompleksa koji ih čine. Allen (1983) je definirao hijerarhiju ovisno o tri vrste kontakta. Kontakt prvog reda odnosi se na izmjenu pojedinačnih sedimentnih tijela. Kontaktima drugog reda smatraju se kontakti između podskupina litofacijesa ili genetski srodnih litofacijesa. Kontakti trećeg reda su oni između pojedinih kompleksa unutar većih elemenata te se obično radi o dobro definiranim erozijskim površinama. Erozijska površina dna korita smatra se kontaktnom površinom trećeg reda. Grupe korita paleodoline mogu činiti dodatni kontakt četvrtog reda.

Tablica 1: arhitektonski elementi fluvijalnih naslaga (modificirano prema MIALL, 1985).

Arhitektonski element	Simbol	Litofacijesi	Geometrija
Korito	CH	Svi	Leća ili pokrov, konkavna donja erozijska baza, veličina i oblik varijabilni, česte sekundarne erozijske površine.
Šljunčani sprudovi i naslage	GB	Gm, Gp, Gt	Leća ili pokrov, često u izmjeni s pješčanim naslagama
Pjeskovite naslage	SB	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Leća, pokrov ili klin, unutar korita i sprudova, prisutne i kod probojnih naslaga.
Makroforme foreseta	FM	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Leća koja naliježe na bazu korita, konveksne erozijske površine drugog reda.
Naslage lateralne akrecije	LA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss; rjeđe Gm, Gt, Gp	Klin ili pokrov, unutar tijela vidljiva migracija naslaga.
Naslage nizvodne akrecije	DA	St, Sp, Sh, Sl, Sr, Se, Ss	Leća konveksne gornje erozijske površine
Ispune usjeka	HO	St, Sp, Sh, Sl, Se, Ss – rjeđe Gm, Gt, Gp	Klin, pokrov, lob
Sedimenti gravitacijskih tokova	SG	Gm, Gms	Pokrovi, često u izmjeni sa šljunčanim sprudovima.
Laminirani pjeskoviti pokrovi	LS	Sh, Sl; rijede St, Sp, Sr	Pokrovi
Sitnozrnaste naslage poplavne ravnice	OF	Prah i glina	Pokrovi varirajućih debljina, često u izmjeni s pjeskovitim naslagama, mogu ispuniti napuštena korita.



Slika 9: arhitektonski elementi fluvijalnih naslaga (modificirano prema MIALL, 1985).

Najveći arhitektonski element koji se može identificirati u riječnom sustavu su naslage ispune korita tj. CH (*channels*). One se mogu definirati ukoliko su pronađene konkavne erozijske površine. Unutar naslaga mogu se pronaći raznolike ispune manjih korita ili kompleksa sprudova. Ispune manjih korita nalazimo u različitim mjerilima u većini fluvijalnih naslaga. Potrebno ih je opisati s obzirom na tip kontakta između površina koje ih definiraju.

Kompleksi sprudova mogu se podijeliti na arhitektonske elemente GB (šljunčani sprudovi; *gravel bars and bedforms*), FM (makroforme foreseta; *foreset macroforms*) i SB (pjeskovite naslage; *sandy bedforms*). Šljunkoviti i pjeskoviti elementi pojavljuju se u izmjeni pa je za njihovo definiranje potrebno identificirati pojedinačne litofacijese. Elementi GB i FM

uključuju razne taložne forme ispune korita i rubnih područja korita vezanih uz obalu, kao i komplekse sprudova. Agradiraju vertikalno te se bočno nagomilavaju tijekom migracije korita. U koritima spore i relativno stabilne migracije elementi GB, FM i SB nagomilavaju se lateralno, rezultirajući naslagama malog kuta nagiba od sredine unutarnjeg dijela zavoja prema sredini korita (Tablica 1; Slika 9).

Naslage malog kuta nagiba od sredine unutarnjeg dijela zavoja prema sredini korita smatramo elementom LA (lateralna akrecija; *lateral accretion*) ukoliko je moguće definirati kontakte slojnih ploha. Zbog malog kuta nagiba, erozije i migracije drugih sedimenata, arhitektonski element LA često se teško prepoznaje (GUSTAVSON, 1978; FORBES, 1983). Razlikovanje elemenata FM i SB ovisi o razmjeru i kvaliteti izdanka. U makroformama foreseta dominira horizontalna slojevitost te je kod većih izdanaka moguća pojava izoliranih dina (koje neki smatraju jednostavnim sprudovima malih dimenzija; MIAL, 1977; ALLEN, 1983). Pjeskovite naslage odlikuju se dinama i riplovima koje ne povezujemo s oblikovanjem sprudova, već s nizvodnom migracijom sedimenta preko postojećih sprudova ili dna korita (Tablica 1, Slika 9).

Laminirani pjeskoviti pokrovi (LS) formiraju se tijekom poplavnih događaja. Naslage poplavne ravnice (OF; *overbank fines*) sastoje se od sitnozrnastog pijeska, praha i gline te ih nalazimo s ugljenom formiranim u područjima poplavnih ravnica i napuštenih korita (Tablica 1).

4.2.1 Element CH: korito

Geometrija korita (Slika 9) definirana je njegovim omjerom širine i dubine, dubinom i sinuožitom. Rekonstruira se na temelju informacija sadržanim u pripadajućim litofacijesima. Sedimenti ispune korita odlikuju se konkavnim erozijskim bazama između pojedinih paketa naslaga. Nagibi u rubnim područjima (uz obalu) sve su blaži kako širina korita raste. Ipak, naslage nagiba većih od 45° mogu se pronaći u rubnim područjima uskih sporednih korita. Korita koja usijecaju rastresiti šljunak i pijesak stvaraju nestabilne obale. Sediment se lako taloži duž obale korita, stvarajući naslage koje se odlikuju izmjenama horizontalno uslojenih i koso uslojenih intervala. Geometrija riječnog korita ne ovisi nužno samo o svojstvima toka poput protoka i količine sedimenta, već barem djelomično o prirodi podloge u koju je korito usječeno (CROWLEY, 1983; CHURCH I ROOD, 1983; CARSON, 1984). Kako bi se

prepoznao element ispune korita potrebno je uočiti rubne dijelove sedimenta određenog nagiba. Na terenu se takve naslage nastoje prepoznati korelacijom prostorno bliskih izdanaka (HOPKINS i sur., 1982), što može biti otežano ili nemoguće zbog prisutnosti ekvivalentnih naslaga različitih razmjera (WIGHTMAN i sur., 1981). Sedimenti nastali migracijom nekoliko manjih korita sadrže veliki broj privremenih rubnih dijelova, pa njihovu geometriju ne možemo opisivati konvencionalnom klasifikacijom arhitektonskih elemenata.

Ispune korita efemernih rijeka uglavnom nalazimo u obliku pokrova sastavljenih od elemenata SB (pjeskovite naslage) i LS (laminirani pjeskoviti pokrovi). Ispune korita u proksimalnom dijelu delte obično čine elementi GB (šljunčani sprudovi i naslage) i SG (sedimenti gravitacijskih tokova). Ispune korita nastale jednostavnom vertikalnom agradacijom positnjavaju naviše, što može biti posljedica progresivne avulzije ili naglog pada dinamike toka (npr. zatrpavanje korita uslijed bujičnih poplava).

Tipični sljedovi elemenata ispune korita su: (1) GB (šljunčani sprudovi) → FM (makroforme foreseta) → SB (pjeskovite naslage) → OF (naslage poplavne ravnice); (2) LS (laminirani pjeskoviti pokrovi) → SB (pjeskovite naslage) → OF (sitnozrnaste naslage poplavne ravnice). Debljina ovih sljedova ili ciklusa ne može premašiti dubinu korita, a vjerojatno je da će pojedini elementi biti erodirani prije taloženja sljedećeg. Pri odvajanju meandra rijeke velikog sinuoziteta, napušteni dio korita biva ispunjen OF sedimentima (laminarnim pjeskovitim pokrovima) konkavne baze.

4.2.2 Element GB: šljunčani sprudovi i naslage

Element GB (Slika 9) tvori naslage velikih debljina. Sastavljene su od mnogih pokrova velikih površina razdvojenih ravnim ili nepravilnim erozijskim površinama. Često ih nalazimo u izmjeni s pokrovima elementa SG te može biti isprepleten s manjim do dominantim pokrovima ili lećama elementa SG (MIALL, 1978; MIALL, 1996). Nizvodno se element GB postupno zamjenjuje elementima SB i FM (MIALL, 1978).

Litofacijesi Gm, Gp, Gt i Gl definiraju niz mezoformi šljunčanih sprudova (Tablica 2).

Najjednostavniji oblik šljunčanog spruda opisan je litofacijesom Gm. Sprud je debljine od nekoliko klasta, zaobljenih je rubova i migrira tijekom visokog režima toka (WALKER, 1979). Tijekom visoke energije protoka vode i sedimenta sprudovi se vertikalno i nizvodno

zadebljavaju, tvoreći longitudinalne sprudove debljine od oko jednog metra (HEIN i WALKER, 1977). Sprud može biti normalno ili inverzno graduiran ovisno o načinu nagomilavanja sedimenta. U plitkim dijelovima vodotoka sprudovi su normalno graduirani, positnjavaju i migriraju nizvodno. Krupnozrnasta frakcija migrira preko sitnije frakcije koja čini bazu spruda (GUSTAVSON, 1978).

Uz nizvodnu stranu sprudova nastalih u dubljim dijelovima korita, ili područjima gdje se korito proširuje, dolazi do vrtloženja toka. Takvo vrtloženje pospješuje nastanak uzvodnih dina i sprudova litofacijesa Gp (HEIN I WALKER, 1977). Sprudovi ponekad mogu pokazivati inverznu graduiranost. Ponekad se šljunkoviti pokrovi mogu taložiti preko pješćanih sprudova, čime dolazi do stvaranja površinskog zaštitnog sloja (eng. *surface armoring*) koji povećava stabilnost i smanjuje mogućnost erozije sprudova. Za to su potrebni uvjeti visokog vodostaja s velikom energijom toka za transport šljunka (CROWLEY, 1983) ili dugotrajni uvjeti niskog vodostaja s malom energijom toka koji ispire sitnu frakciju iz površinskog dijela spruda (CURRAN, 2010).

Litofacijes Gt predstavlja migraciju zakrivljenih poprečnih sprudova ili ispune manjih korita. Tamo gdje manja korita izbijaju na veće područje dolazi do taloženja sprudova s izraženom kosom laminacijom (MIALL, 1978; Tablica 2).

Tablica 2: litofacijesi aluvijalnih naslaga (modificirano prema MIAL, 1985).

Oznaka	Litofacijes	Karakteristike	Interpretacija
Gms	Masivni matriks-potporni konglomerat	Graduiranost	Gravitacijski tok
Gm	Masivan ili slabo uslojen konglomerat	Paralelna laminacija, imbrikacija	Longitudinalni sprud, lag deposit (fizički uklonjena sitnija frakcija), proksimalni dijelovi aluvijalne lepeze
Gt	Uslojen konglomerat	Kosa laminacija	Manje ispune korita
Gp	Uslojen konglomerat	Paralelna laminacija	Longitudinalni sprudovi
Sm	Masivan pješčenjak	Masivan, bez laminacije	Brzo taloženje
St	Srednje do krupnozrnasti pješčenjak, pojava klasta	Koritna kosa slojevitost	Riplovi
Sp	Srednje do krupnozrnasti pješčenjak, pojava klasta	Koritna kosa slojevitost	Longitudinalni sprudovi, riplovi, 2-D dine
Sr	Sitno do krupnozrnasti pješčenjak	Riplovi	Niska energija toka
Sh	Sitno do krupnozrnasti pješčenjak, pojava klasta	Paralelna laminacija	Niska i nepromijenjiva energija toka
Sl	Sitnozrnasti pješčenjak	Niskokutna koritna kosa slojevitost	Sedimenti ispune usjeka, antidine
Se	Erozivni pješčenjak	Blaga koritna kosa slojevitost	Ispuna korita
Ss	Sitno do krupnozrnasti pješčenjak, pojava klasta	Kosa slojevitost	Ispuna korita

4.2.3 Element SB: pjeskovite naslage

Element SB (Slika 9) taloži se iz suspenzije za vrijeme visokog vodostaja pri malim brzinama toka, a često sadrži i 5-10 % šljunka. Nalazimo ga kao ispunu napuštenog glavnog ili sporednog korita, pješčanog klina unutar spruda ili topografski izdignutih naslaga (MIAL, 1996).

Tipični sedimentni oblici dna korita u kojem dominira pijesak su dine, riplovi i pješčani sprudovi. Javljaju se u velikom broju fluvijalnih okoliša te u raznolikim kombinacijama. Dine (litofacijes St; Tablica 2) tipično zauzimaju dublje dijelove aktivnih korita čija je podloga pretežito pjeskovita. Njihovim nagomilavanjem nastaju koso laminirane leće ili lobovi debljine nekoliko metara te rasprostranjenosti nekoliko desetaka do stotine metara. Takvi sedimenti često su ispresjecani te zapunjeni sedimentima litofacijesa Se i Ss, što ukazuje na promjenu energije toka (HARMS i sur., 1963; Tablica 2). U plićim dijelovima korita te na vrhovima i bočnim dijelovima sprudova i laminarnih pješčanih pokrova, česte su pojave strujnih riplova i manjih poprečnih sprudova. Takvo taloženje rezultira sedimentima facijesa Sp, koji sadrži paralelno i koso laminirane naslage (SMITH, 1983). U naslagama plićih dijelova korita nalazimo karakterističnu koritastu kosu slojevitost malih razmjera, pogotovo u površinskim dijelovima sprudova (litofacijes Sr). Nastaje padom energije toka i taloženjem pijeska u obliku pokrova preko postojećih sprudova, rezultirajući normalno graduiranim sedimentima (BRIDGE, 2006).

Probojni kanali i probojne naplavine obično su predstavljene elementom SB. Prepoznajemo ih po konkavnim donjim slojnim ploham a i lokaciji u neposrednoj blizini korita. Probojne naplavine nalazimo u obliku pokrova velikog rasprostiranja i debljine od jednog do dva metra. Lateralno prelaze u element OF. Naslage mogu biti normalno ili inverzno graduirane, ovisno progradaciji ili postupnoj migraciji korita. Jake poplave mogu rezultirati taloženjem litofacijesa karakterističnih za element LS (BRIDGE, 2006).

4.2.4 Element LA: lateralna akrecija

Element lateralne akrecije (Slika 9) karakterističan je za meandrirajuće rijeke. Strujnice toka u zavoju rijeke usmjerene su na način da uzrokuju značajnu sedimentaciju uz unutarnji rub zavoja te eroziju uz njegov vanjski dio. Do takve pojave dolazi zbog spiralnog prevrtanja toka uzrokovanog centrifugalnom silom i geometrijom korita. Sedimenti unutarnjeg dijela zavoja (meandarski prudovi) nagomilavaju se pod velikim kutom u odnosu na smjer toka. Odlikuju se tzv. epsilon kosom slojevitošću (ALLEN, 1963) koja odgovara uzastopnom prirastu sedimenta. Baza elementa LA je erozijska te se njegovom debljinom može aproksimirati dubina korita. U rijekama gdje dominira pijesak i šljunkoviti pijesak nalazimo progradirajuće naslage sprudova varijabilnih litofacijesa (BRIDGE, 2006; Slika 9).

4.2.5 Element LS: laminarni pjeskoviti pokrovi

Pjeskovite pokrove litofacijesa Sh i Sl (Slika 8) interpretiramo kao sedimente nastale u uvjetima visokog režima toka tijekom jakih i iznenadnih poplava (MIALL, 1977; Tablica 2). Individualni pokrovi uglavnom su oko 0,4 - 2,5 m debljine. Ponekad su pokriveni naslagama litofacijesa Sp, St i Sr, ukazujući na pad energije toka odnosno povlačenje vode u korito (TUNBRIDGE, 1981; SNEH, 1983).

4.3 Meandrirajuće šljunkovite rijeke

Meandrirajuće šljunkovite rijeke odlikuje zavojito glavno korito s mnogo sprudova i manja sporedna korita koja nisu uvijek aktivna te ih nazivamo žlijebovima. Naslage positnjavaju nizvodno, u uzvodnim dijelovima sprudova nalazimo pješčane dine, a u nizvodnim šljunkovite pokrove, režnjeve i pješčane dine. Karakteristični su arhitektonski elementi LA. U naslagama napuštenih manjih korita nalazimo sitnozrnaste sedimente (MIALL, 1996).

4.4 Prepletene šljunkovite rijeke

U prepletenim šljunkovitim rijekama dominira arhitektonski element GB te je česta pojava elemenata LA i DA sastavljenih od velikih šljunkovitih sprudova. Prevladavanje elementa LA ukazuje na povećanje sinuoziteta korita. U naslagama prepletenih šljunkovitih rijeka nalazimo cikluse debljine od nekoliko desetaka metara koji predstavljaju migraciju korita te manje cikluse debljine nekoliko metara koji predstavljaju progradaciju sprudova ili poplavne događaje. Sukcesije šljunka i pijeska često pokazuju positnjavanje naviše, debljine su 1,5 – 4 m te su im donje površine erozijske. U vršnim dijelovima šljunkovitih naslaga često su usječene naslage elementa SB. Ovakav kontakt ukazuje na uzastopno taloženje u istom koritu (MIALL, 1996).

4.5 *Wandering rivers*: prijelazni tip rijeke između meandrirajuće i prepletene

Kanadski geomorfolozi zaključili su da bi bilo korisno definirati zaseban tip rijeke koji su nazvali *wandering river* (CHURCH, 1983). Riječ je o šljunkovitom prijelaznom tipu rijeke između meandrirajuće i prepletene. Odlikuje ga jedno glavno meandrirajuće korito s mnogo manjih sporednih korita koji su od glavnog korita odvojeni većim otočnim tijelima (HICKIN, 1993). Ispune sporednih korita uglavom su pjeskovite te ih u sedimentnom zapisu nalazimo iznad šljunkovitih sedimenata taloženih u nekadašnjem koritu ili za vrijeme poplavnih

dogadaja. Slične naslage nalazimo i kod šljunkovitih meandrirajućih ili prepletenih rijeka (BLUCK, 1971; FORBES, 1983). Pijesak je vrlo mobilan u ovakvom tipu šljunkovite rijeke velike energije toka. Prevladavajući način transporta je u suspenziji, a nakon taloženja pjeskovito-šljunkovitih naslaga pijesak se može iz njih mehanički isprati i ponovno taložiti. Pijesak pripadajuće poplavne ravnice uglavnom nije mobilan. Trenutno ne postoji facijesni model wandering rijeka, ali za sada ga smatramo sedimentološkim hibridom facijesa meandrirajućih i prepletenih rijeka (DESLOGES i CHURCH, 1987).

5. Metode

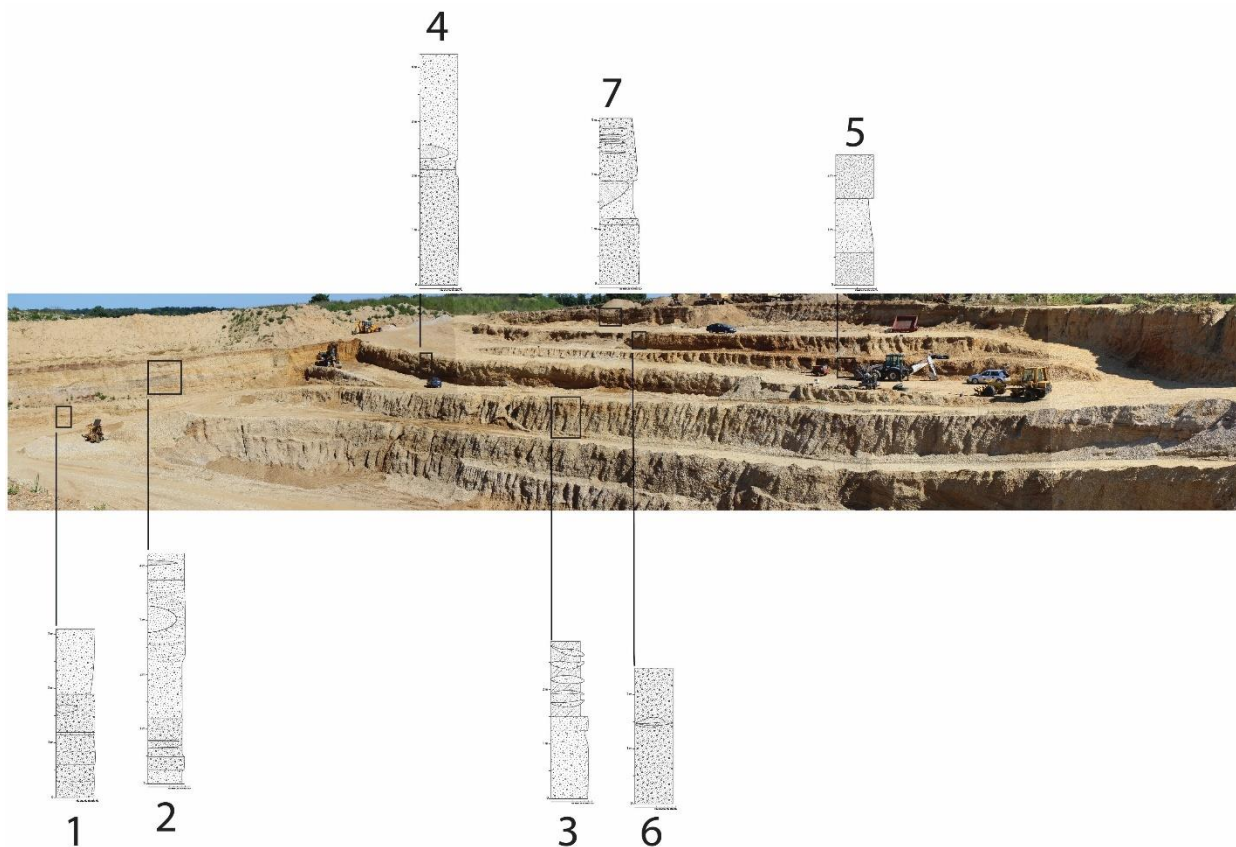
Prikupljanje podataka o fluvijalnim naslagama dravske terase odvijalo se unutar kopa šljunka i pijeska nedaleko od Novigrada Podravskog (Slika 10) te u recentnom koritu nedaleko od Repaškog mosta u razmaku od 9 mjeseci (srpanj 2020. - travanj 2021.). Izdanci su fotodokumentirani, izmjereni te popraćeni geološkim stupovima. Pri izradi geoloških stupova u programu Adobe Illustrator koristila se tehnika *line drawing* kako bi se istaknule karakteristike naslaga. Dokumentirane naslage uspoređene su s literaturom te recentnim naslagama kako bi se definirao njihov nastanak i arhitektonski element fluvijalnog sustava.



Slika 10: kop šljunka i pijeska u blizini Novigrada Podravskog

6. Rezultati

Unutar kopa u blizini Novigrada Podravskog analizirano je sedam izdanaka koji su popraćeni geološkim stupovima (Slika 11).



Slika 11: kop u blizini Novigrada Podravskog s naznačenim lokacijama snimljenih stupova

6.1 1. izdanak

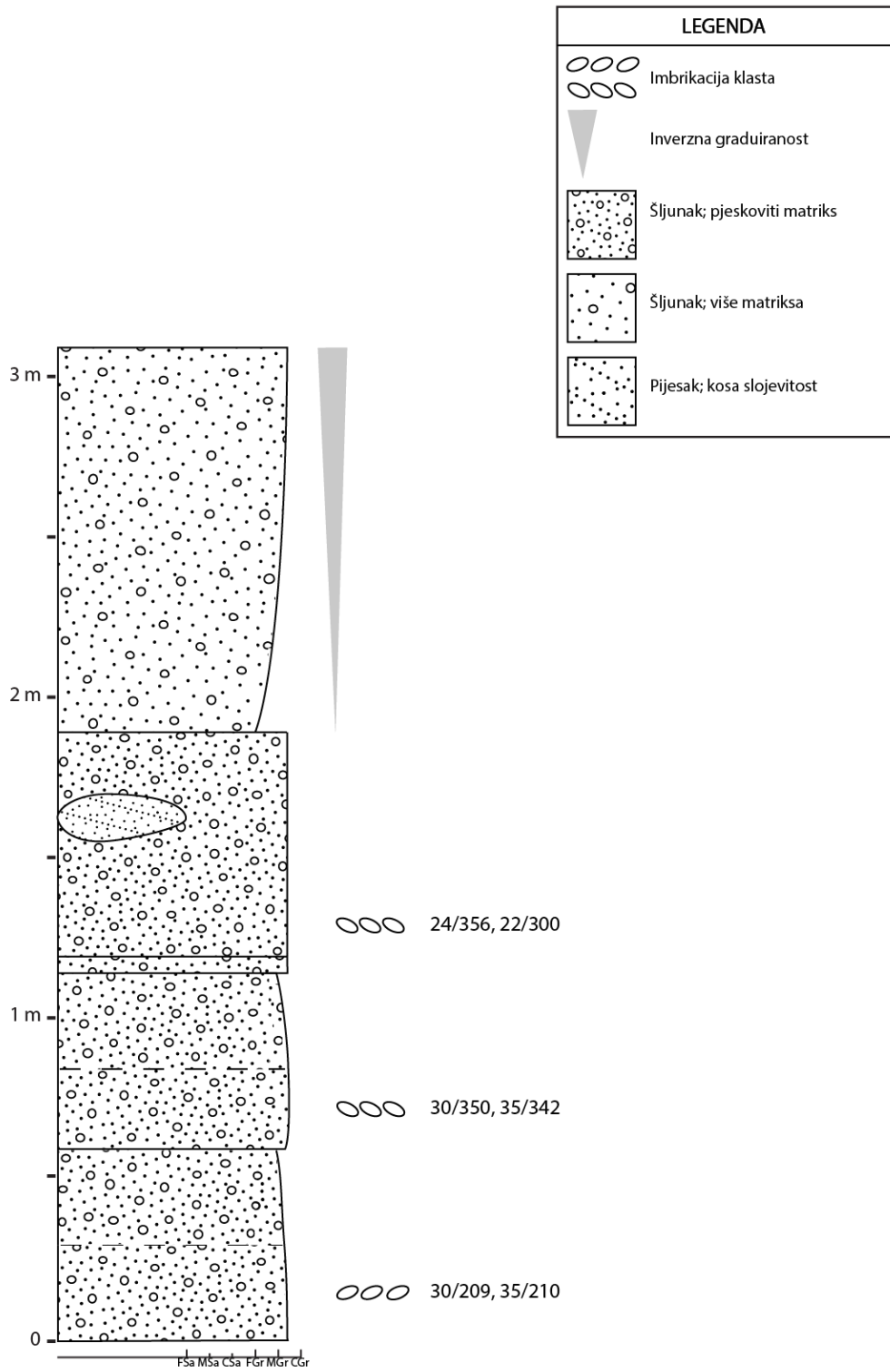
Donji dio izdanka čine naslage bimodalnog sedimenta (Slika 12; Slika 13). Naslage dobro sortiranog, uslojenog šljunka debljine 60 i 55 cm s pjeskovitim matriksom, uglavnom se interpretiraju kao sediment istaložen iz nekanaliziranih tokova (*sheet-flow deposits*) ili niskoreljefni sediment prepletenih rijeka (FLINT i TURNER, 1988). S obzirom na lateralno pružanje naslaga i da je Drava prijelazni tip rijeke, vjerojatno je riječ o sedimentu taloženom iz nekanaliziranih tokova. U naslagama je također vidljiva vrlo slaba graduiranost. Mogu se neformalno podijeliti u gornji i donji dio, gdje se dobro zaobljene valutice loše sortiranog šljunka nalaze iznad imbriciranih klasta dobro sortiranog šljunka. Ovakve naslage nastaju procesom koji nazivamo *gravel overpassing*. Imbrikacija valutica ukazuje na smjer toka i promjenu smjera toka unutar istog izdanka.

Slijede naslage ispunjene sporednog korita debljine 80 cm koje su od prethodnih naslaga odvojene erozijskom bazom (Slika 12; Slika 13). Unutar naslaga pronađen je pjeskoviti koso uslojeni *rip-up* klast u obliku leće debljine oko 20 cm. Energija toka je stoga morala biti dovoljno velika da transportira i taloži šljunak te uzrokuje eroziju pješčenjaka.

Vršni dio izdanka čini inverzno graduirani šljunak debljine 120 cm (Slika 12; Slika 13). Ovakve naslage nastaju nizvodnom migracijom šljunkovitih sprudova ili u poplavnim događajima kojima postupno raste energija toka (BLUCK, 1986).



Slika 12: 1. izdanak; crvenim strelicama naznačeni su pretpostavljeni smjerovi paleotokova



Slika 13: geološki stup prvog izdanka

6.2 2. izdanak

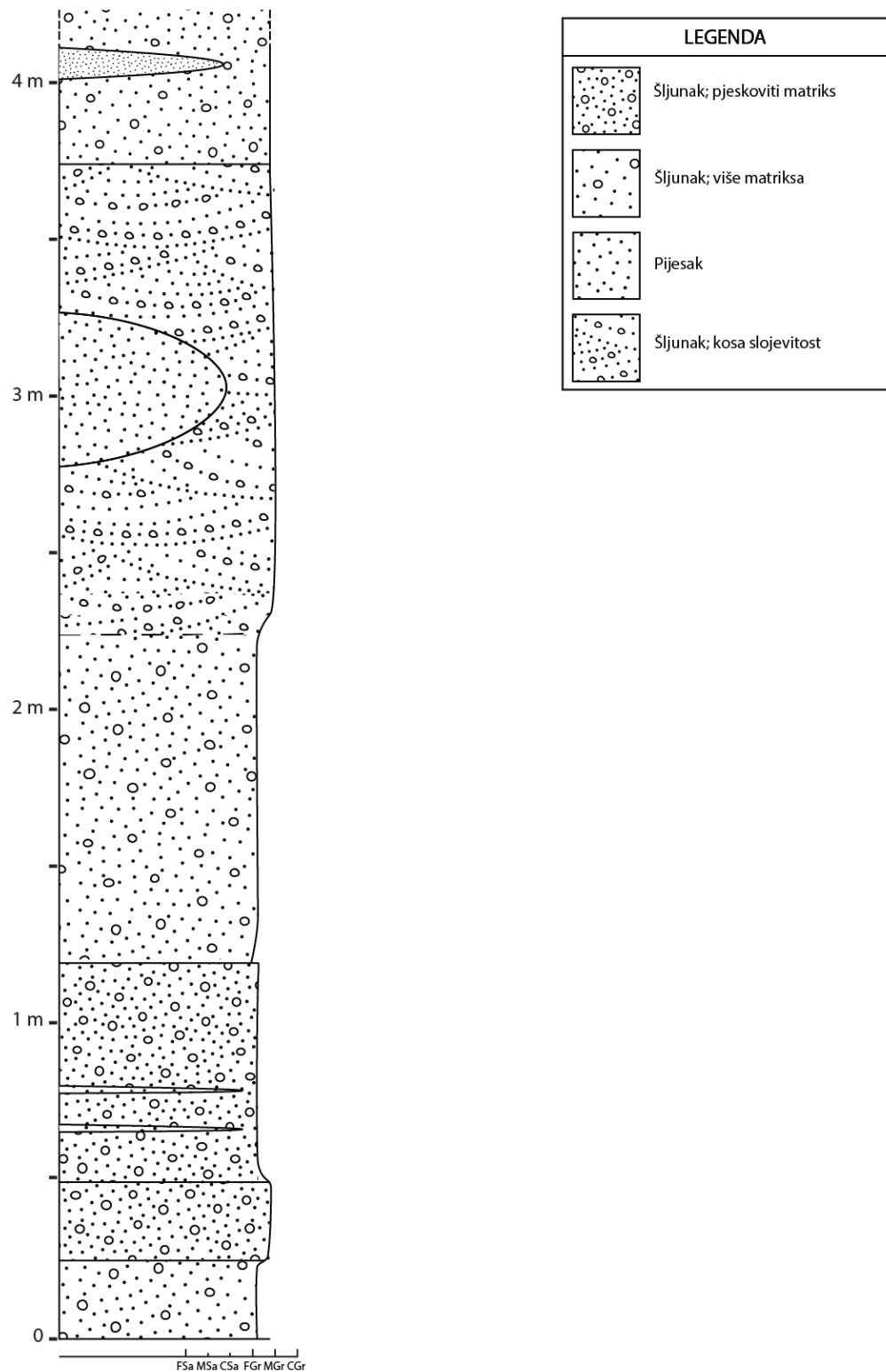
Donji dio izdanka čini slabo sortirani neuslojeni šljunak debljine 25 cm koji je vjerojatno taložen iz toka velike gustoće. Iznad njega nalazimo slabo sortirani šljunak debljine 70 cm s proslojcima pijeska debljine nekoliko cm istaložen u nekanaliziranom plitkom toku (Slika 14; Slika 15).

Slijede sedimenti ispune sporednog korita koji nisu od prethodnih naslaga odvojeni erozijskom bazom (Slika 14; Slika 15). Pretpostavljeno je da je tok postupno iz nekanaliziranog prelazio u kanalizirani. Ukupna debljina naslaga iznosi 390 cm. Uočena je *hump-back* dina debljine 1 m koja pokazuje kosu slojevitost te koso uslojeni šljunak koji se procesom *gravel overpassing* našao u zaklonj strani dine. Na njih naliježe loše sortirani šljunak za koji se smatra da je istaložen unutar istog toka, također procesom *gravel overpassing*.

Vršni dio izdanka čine sedimenti ispune korita koji su od prethodnih naslaga razdvojeni erozijskom bazom. U manjim udubljenjima korita istaložen je koso uslojeni pijesak te je uočeno lećasto tijelo pijeska u blizini takve ispune (Slika 14; Slika 15). Pretpostavljeno je da se takva leća mogla istaložiti istim principom kao i ona na prethodnom izdanku, odnosno da se radi o *rip-up* klastu koji nije nužno morao biti litificiran. Moguće je da se radi o eroziji pijeska u manjem udubljenju korita neposredno nakon njegovog taloženja.



Slika 14: 2. izdanak; crvenom strelicom naznačen je pretpostavljeni smjer paleotoka



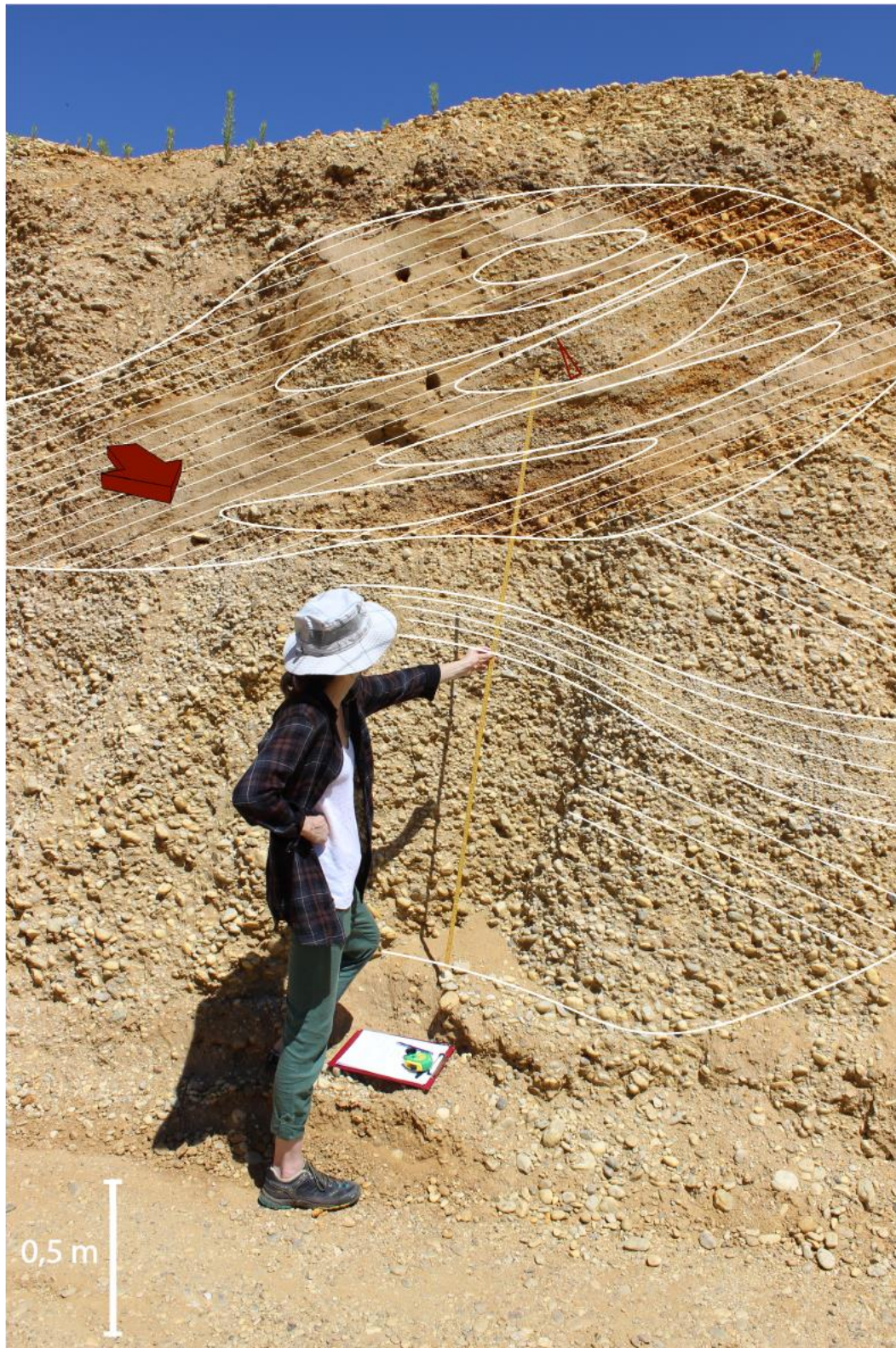
Slika 15: geološki stup drugog izdanka

6.3 3. izdanak



Donji dio izdanka čini koso uslojeni šljunak prekinut slojem sitnijeg šljunka debljine 25 cm. Na njega se nastavlja loše sortirani, koso uslojeni šljunak (Slika 16; Slika 17). Ovim naslagama ne može se definirati baza te je veličina izdanka premala da bi se odredio mehanizam taloženja ili o kojem se arhitektonskom elementu radi. Moguće je da je riječ o arhitektonskom elementu GB.

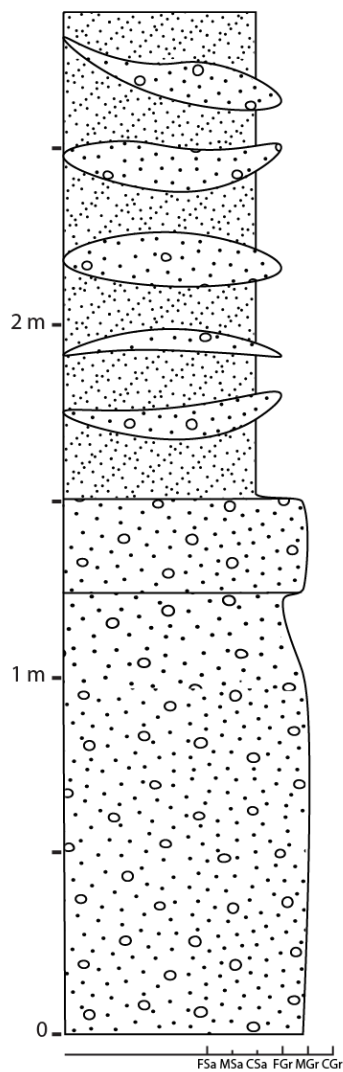
Slijedi bimodalna ispuna sporednog korita debljine 140 cm; koso uslojeni pijesak koji sadrži šljunkovite leće normalne graduiranosti (Slika 16; Slika 17).

Vršni dio čini loše sortirani šljunak debljine 60 cm, vjerojatno taložen iz kanaliziranih tokova (Slika 16; Slika 17).



Slika 16: 3. izdanak; crvenom strelicom naznačen je pretpostavljeni smjer paleotoka

LEGENDA	
	Šljunak; više matriksa
	Pijesak; kosa slojevitost

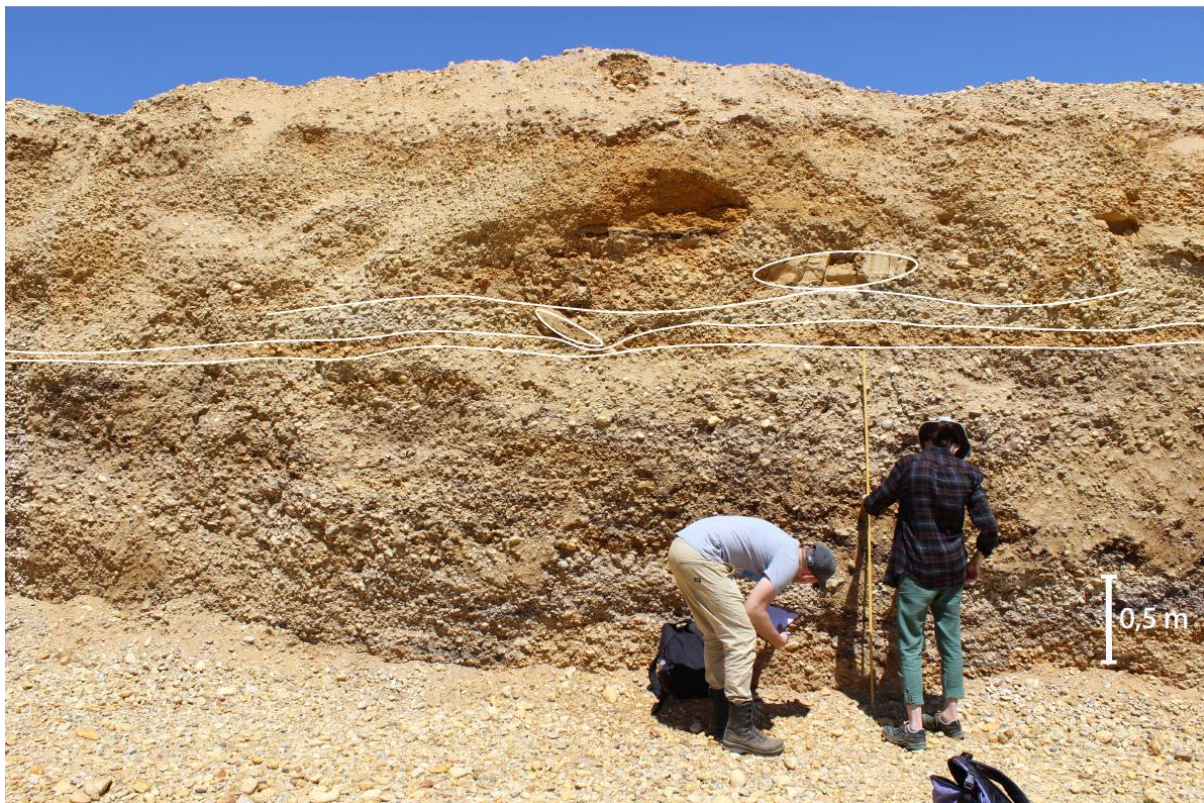


Slika 17: geološki stup trećeg izdanka

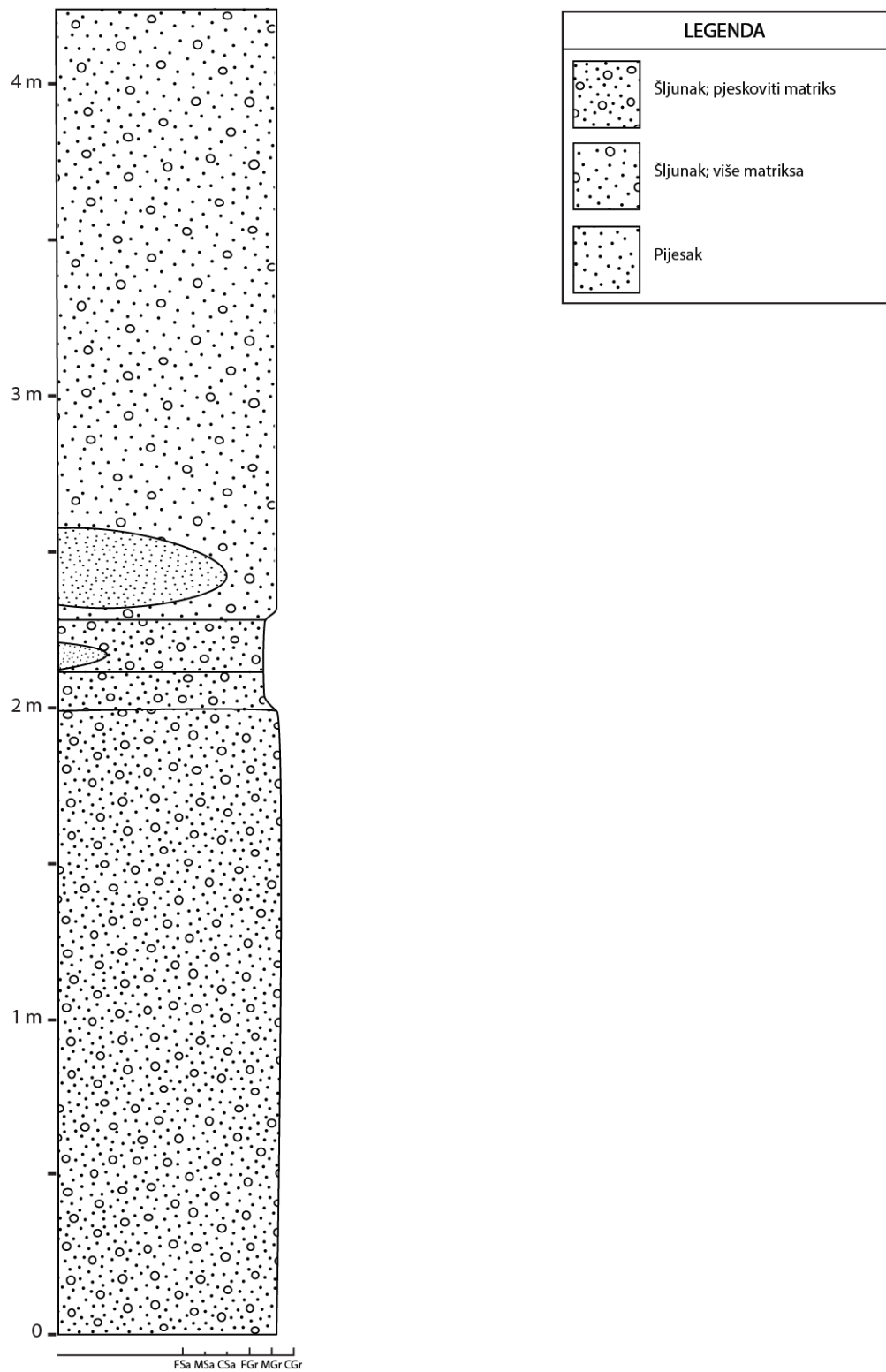
6.4 4. izdanak

Donji dio izdanka čine naslage nesortiranog šljunka, debljine 2 m i bez teksturnih značajki (Slika 18; Slika 19). Za takve naslage smatra se da su produkt naglog taloženja u turbulentim kanaliziranim bujicama ili taloženja iz hiperkoncentriranih tokova (NEMEC i MUSZYNSKI, 1982).

Slijedi šljunak istih obilježja ali u njemu nalazimo leću pijeska bez ikakvih teksturnih značajki, vjerojatno još jedan *rip-up* klast (Slika 18; Slika 19).



Slika 18: 4. izdanak



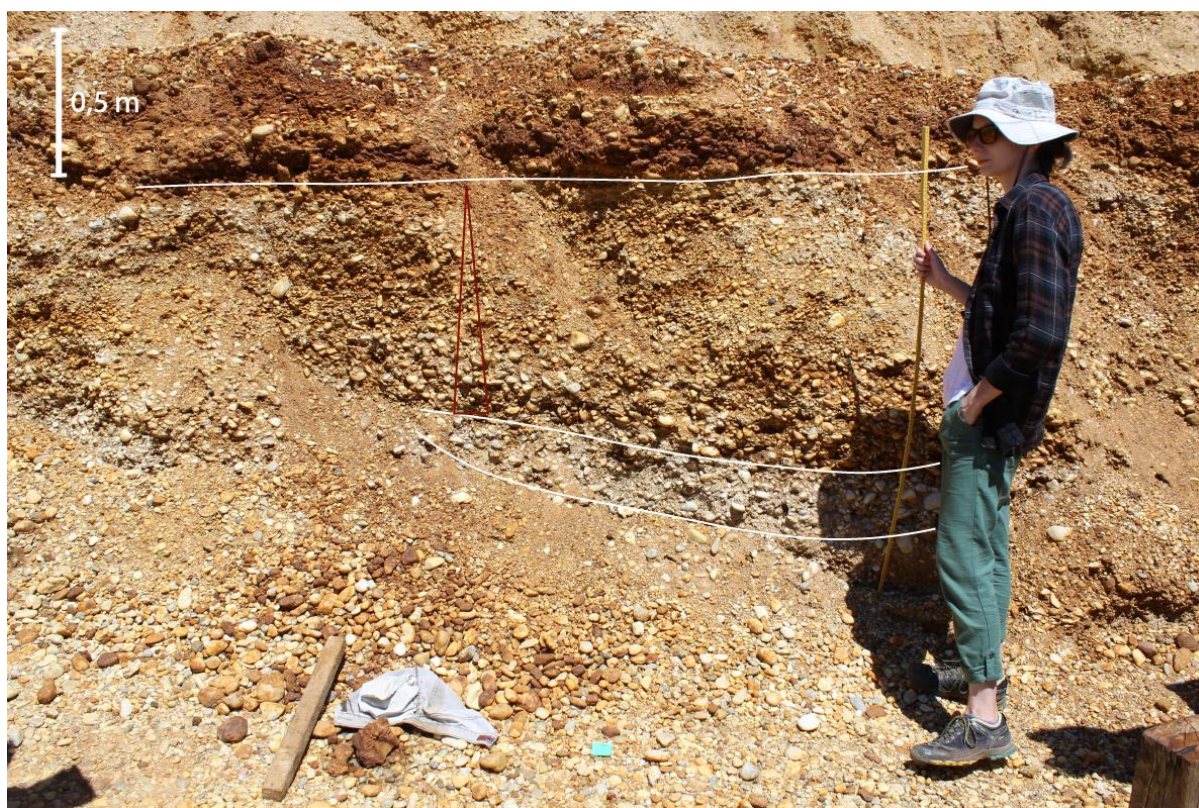
Slika 19: geološki stup četvrtog izdanka

6.5 5. izdanak

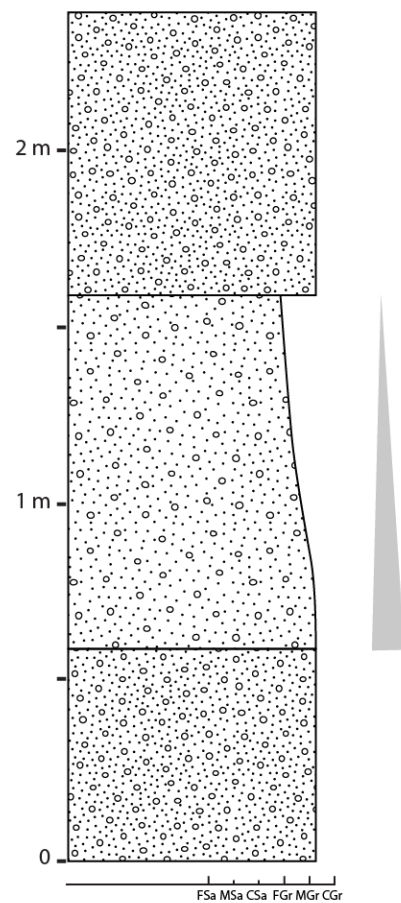
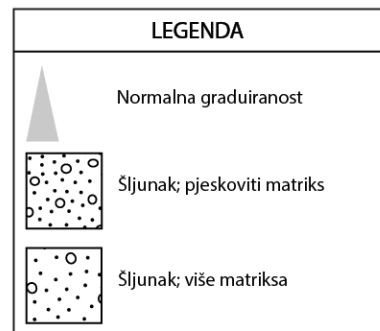
S obzirom na konkavni oblik baze naslaga koje prve nalazimo na ovom izdanku, moguće je da se radi o kanaliziranom toku velike energije te da je uočen samo njegov vršni dio. Naslage su debljine oko 60 cm (Slika 20; Slika 21).

Slijede naslage koje ne pokazuju sortiranost ni slojevitost, ali su normalno graduirane (Slika 20; Slika 21). Opet, riječ je o taloženju iz gustih tokova ili turbulentnih kanaliziranih bujica. Normalnu graduiranost kod šljunkovitih fluvijalnih naslaga interpretiramo kao povlačenje poplavnog događaja koji je uzrokovao njihovo taloženje (NEMEC i MUSZYNSKI, 1982; NEMEC i STEEL, 1984) ili pada energije kanaliziranog toka.

Vršni dio izdanka čini loše sortirani neuslojeni šljunak koji se može taložiti putem ranije spomenutih hiperkoncentriranih tokova ili kanaliziranim bujicama (Slika 20; Slika 21).



Slika 20: 5. izdanak



Slika 21: geološki stup petog izdanka

6.6 6. izdanak

Donji dio izdanka čini slabo sortirani, koso uslojeni šljunak debljine 60 cm za koji je pretpostavljeno da se istaložio iz nekanaliziranih tokova (Slika 22; Slika 23).

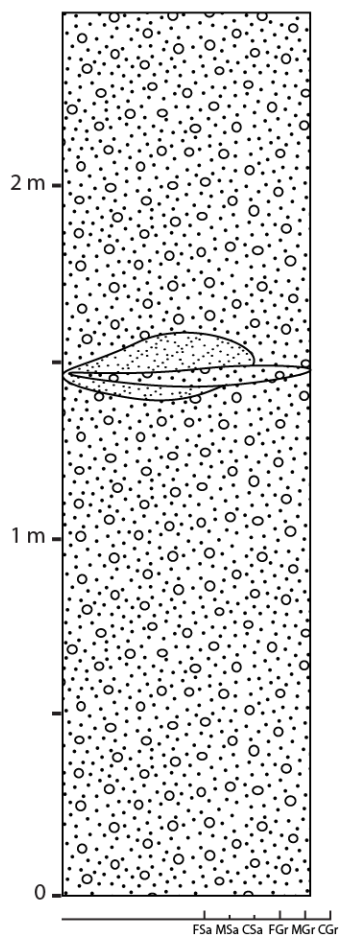
Slijede naslage normalno graduiranog, slabo sortiranog šljunka (Slika 22; Slika 23). Nazire se moguća konkavna erozivna baza pa se pretpostavlja da su ove naslage istaložene uslijed pada energije kanaliziranog toka.

Vršni dio izdanka čini loše sortirani šljunak s nešto više matriksa od ostalih naslaga ovakvog tipa nađenih unutar kopa (Slika 22; Slika 23).



Slika 22: 6. izdanak; crvenom strelicom naznačen je pretpostavljeni smjer paleotoka

LEGENDA	
	Šljunak; pjeskoviti matriks
	Šljunak; više matriksa
	Pijesak; kosa slojevitost



Slika 23: geološki stup šestog izdanka

6.7 7. izdanak

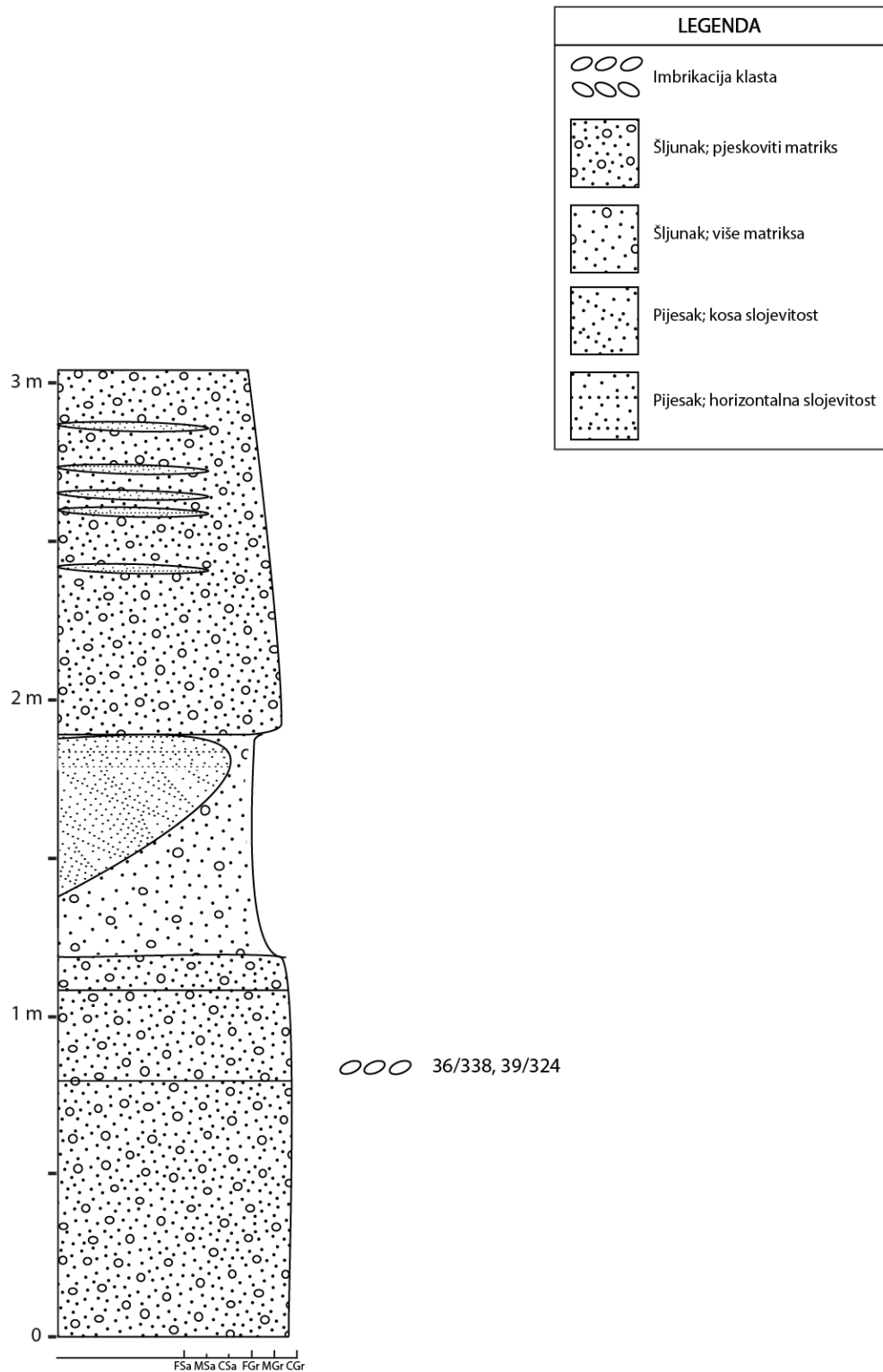
Donji dio izdanka čini loše sortirani neuslojeni šljunak debljine 120 cm. Slijedi sloj šljunka debljine 30ak cm s vidljivom imbrikacijom, na koji se nastavlja loše sortirani šljunak čija debljina lateralno varira zbog usijecanja sporednog korita (Slika 24; Slika 25). Vjerojatno je ponovno riječ o naslagama nekanaliziranih tokova gdje je dominantan proces transporta *gravel overpassing*.

Slijede naslage koritasto koso uslojenog pijeska, debljine 50 cm, koje smatramo naslagama is pune sporednog korita (Slika 24; Slika 25). Ovakva slojevitost može biti posljedica migracije 3D dina. Porast energije toka od niske (uvjeti taloženja dina) prema visokoj uzrokuje eroziju vršnih dijelova dina i taloženje horizontalno laminiranih pijesaka. Kako se korito zapunjavalo, tako je bilo manje dostupnog taložnog prostora te iz tog razloga nalazimo kosu slojevitost manjih dimenzija pri samom vrhu kao rezultat migracije manjih dina. Unutar ovih naslaga mogu se pratiti promjene režima kao i promjena smjera toka.

Vršni dio izdanka čine naslage nekanaliziranih tokova; slabo sortirani šljunak s proslojcima pijeska (Slika 24; Slika 25).



Slika 24: 7. izdanak; crvenim strelicama naznačeni su pretpostavljeni smjerovi paleotokova



Slika 25: geološki stup sedmog izdanka

7. Rasprava

Istraživane naslage taložene su iz visokoenergetskih tokova i tijekom poplavnih događaja te predstavljaju ispunu manjih sporednih korita i potencijalno migraciju većeg sporednog korita (Slika 11).

7.1 Fosilne i recentne taložne forme

U recentnom fluvijalnom sustavu rijeke Drave nalazimo šljunkovito-pjeskovite naslage koje donekle možemo usporediti s onima pronađenim u kopu Novigrada Podravskog.

U recentnom sprudu krupnije valutice šljunka naliježu na pjeskovito-muljevite naslage nizvodnog dijela spruda s malim udjelom klasta (Slika 26). Ovakav raspored naslaga podsjeća na proces *gravel overpassing* za koji se smatra da je oblikovao mnoge naslage pronađene u kopu Novigrada Podravskog. Valutice šljunkovitog recentnog spruda nisu imbricirane u svim dijelovima spruda.



Slika 26: recentni sprud rijeke Drave; *gravel overpassing*

Unutar recentnih sprudova također su uočene površinske pjeskovite naslage s asimetričnim riplovima (Slika 27 - 31). S obzirom na orijentaciju naslaga i riplova (relativno u smjeru toka rijeke) pretpostavljeno je da se pri porastu razine vode u glavnom koritu na tom mjestu stvorio manji sporedni tok čiju ispunu nalazimo na terenu.



Slika 27: ispuna sporednog korita u recentnom sprudu



Slika 28: asimetrični riplovi na recentnom sprudu

Unutar pjeskovitih naslaga istog spruda uočeni su i asimetrični riplovi s nakupinama šljunka uz nizvodne strane riplova (Slika 29; Slika 30). Vjerojatno je riječ o naglom padu razine vode u koritu koja je pri povlačenju iz sporednog toka istaložila valutice dobro zaobljenog šljunka kotrljanjem preko riplova procesom *gravel overpassing*. Na trećem izdanku kopa Novigrada Podravskog pronađeno je pjeskovito sedimentno tijelo sa šljunkovitim lećama normalne graduiranosti (Slika 16; Slika 17) u čijoj se bazi najvjerojatnije nalazi arhitektonski element GB. Iako dimenzije recentnih naslaga ne odgovaraju onima pronađenim u kopu, lako je zamisliti scenarij u kojem se šljunak taloži uz nizvodne strane riplova (ili dina) te biva prekriven novim pjeskovitim sedimentom uslijed povlačenja vode iz sporednog korita. Bez detaljnije analize recentnih naslaga ne može se utvrditi je li proces taloženja recentnih naslaga na slikama 29 i 30 odgovoran za taloženje naslaga u kopu Novigrada Podravskog (Slika 16; Slika 17).



Slika 29: asimetrični riplovi s valuticama; povlačenje vode iz sporednog toka u korito



Slika 30: deblo u sporednom koritu

U sklopu istog spruda pronađen je i manji bazen duljine nekoliko metara. Njegova baza topološki mora biti niža od prethodno opisanog dijela sporednog korita kako bi se u njemu zadržala voda. U rubnom dijelu tog malog bazena nalazimo pjeskovite naslage s vidljivim asimetričnim riplovima usmjerenim prema uzvodnom dijelu spruda (Slika 31). Moguće je da pri porastu razine vode u koritu dolazi do strujanja male energije unutar bazena tijekom kojeg bi se istaložili ovakvi pješćani riplovi. Druga opcija je da se pijesak uz rubove taloži tijekom malih oscilacija razine vode u bazenu. Poprečni presjek ovih naslaga mogao bi izgledati kao leća pijeska kose slojevitosti unutar slabo sortiranog šljunka. Ovisno o kojem dijelu spruda je riječ, šljunak može, ali i ne mora biti koso uslojen te valutice mogu, ali i ne moraju biti imbricirane. U kopu Novigrada Podravskog pronađene su naslage koje djelomično odgovaraju tom opisu, odnosno sadrže leću koso uslojenog pijeska okruženu šljunkom, ali nema nikakve indikacije da se njihovo taloženje odvijalo uz rub manjih bazena ovakvog tipa ili uz rub sporednog korita.



Slika 31: šljunkovito-pjeskovite naslage u rubnom dijelu manjeg bazena

8. Zaključak

U riječnim sustavima *wandering* rijeka veliki dio naslaga taložen je iz nekanaliziranih tokova uslijed velike količine vode u sustavu. Takvi tokovi prethode formiranju sporednih korita i njihovih pripadajućih otoka koji ih odvajaju od glavnog, meandrirajućeg korita. Ispune sporednih korita mogu biti pjeskovite ili šljunčano-pjeskovite, ovisno o energiji toka koji se u njima odvijao. Naslage ispuna sporednih korita vrlo su raznolike. Predstavljaju široki raspon specifičnih načina taloženja pri različitim energijama toka.

U naslagama šljunkovitog pijeska 2. dravske terase naslage šljunka bez vidljivih tekstura tumačimo kao naslage istaložene iz gustog toka čija je energija naglo opadala ili naslage taložene iz turbulentnih kanaliziranih bujica, a prisutnost *rip-up* klasta sugerira da su ti tokovi bili vrlo erozivni. Vjerojatno se radi o eroziji pjeskovito-šljunkovitih sprudova ili pjeskovitih naslaga poplavne ravnice. Normalno graduirani šljunak ukazuje na jenjavanje poplavnog događaja ili pada energije kanaliziranog toka iz kojeg je istaložen. Inverzno graduirani šljunak ukazuje na nizvodnu migraciju šljunkovitih sprudova ili postupni rast energije poplavnog događaja. Ukoliko se na terenu pronade koso uslojeni šljunak koji pokriva erozijsku površinu, vjerojatno je riječ o arhitektonskom elementu GB. Pronađene *hump-back* dine ukazuju na promjenu uvjeta iz niskog režima toka, koji pogoduje taloženju pjeskovitih 3D dina, u visoki režim toka koji je erodirao njihove vršne dijelove, a zatim istaložio horizontalno laminirani pijesak i šljunak. Iz naslaga zabilježenih na terenu zaključujemo da je proces *gravel overpassing* vrlo važan u formiranju malih taložnih tijela.

Fluvijalni sustavi *wandering* rijeka sedimentološki su vrlo varijabilni te pod snažnim utjecajem njihovog specifičnog razvoja sporednih korita i glavnog korita. Standardni ili sveobuhvatni model *wandering* rijeka i njihovih naslaga nije moguće razviti iz trenutne količine podataka.

9. Literatura

ALLEN, J.R.L. (1963): The classification of cross-stratified units with notes on their origin. *Sedimentology*, 2, 9–114.

ALLEN, J.R.L. (1978): Studies in fluvial sedimentation: an exploratory quantitative model for architecture of avulsion-controlled alluvial suites. *Sedimentary Geology*, 21, 129–147.

ALLEN, J.R.L. (1983): Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders. *Sedimentary Geology*, 33, 237–293.

BLUCK, B.J., (1971): Sedimentation in the meandering River Endrick. *Scottish Journal of Geology*, 7, 93–137.

BLUCK, B.J., (1986): Upward coarsening sedimentation units and facies lineages, Old Red Sandstone, Scotland. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 77.

BRENKO, T., BOROJEVIĆ ŠOŠTARIĆ, S., RUŽIČIĆ, S., SEKELJ IVANČAN, T. (2020): Evidence for the formation of bog iron ore in soils of the Podravina region, NE Croatia: Geochemical and mineralogical study. *Quaternary International*, 536, 13–29.

BRIDGE, J. (2003): *Rivers and Floodplains*. Blackwell Science, 98–115.

BRIDGE, J. (2006): Facies Models: Recent Developments. *Facies Models Revisited*, 84, 85–170.

CARSON, M.A. (1984): The meandering-braided river threshold: a reappraisal. *Journal of Hydrology*, 73, 315–334.

CHURCH, M. (1983): Pattern of instability in a wandering gravel-bed channel. U: Collinson, J.D., Lewin, J. (ur.) *Modern and ancient fluvial systems*. International Association of Sedimentologists, Special Publication, 6, 169–80.

CHURCH, M., ROOD, K. (1983): *Catalogue of Alluvial River Channel Regime Data*. Department of Geography, University of British Columbia, 20–75.

CROWLEY, K.D. (1983): Large-scale bed configurations (macroforms), Platte River Basin, Colorado and Nebraska: Primary structures and formative processes. *Geological Society of America Bulletin*, 94, 117–133.

CURRAN, J.C. (2010): An Investigation of Bed Armoring Process and the Formation of Microclusters. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, Nevada, 2–9.

DESLOGES, J.R., CHURCH, M. (1987): Channel and Floodplain Facies in a Wandering Gravel-Bed River. U: Ethridge, F. G., Flores, R. M., Harvey, M. D. (ur.) *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*. Society for Sedimentary Geology, 39, 99–110.

FLINT, S., TURNER, P. (1988): Alluvial fan and fan delta sedimentation in a forearc extensional setting: the Cretaceous Coloso Basin of Northern Chile. U: Nemeč, W., Steel, R. J. (ur.) *Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Setting*. Blackie, 387–399.

FORBES, D.L. (1983): Morphology and sedimentology of a sinuous gravel-bed channel system: lower Babbage River, Yukon coastal plain, Canada. U: J. D. Collinson, J. Lewin (ur.) *Modern and Ancient Fluvial Systems*. International Association of Sedimentologists. Special Publications, 6, 195–206.

FRIEND, P.F., SLATER, M.J., WILLIAMS, R.C. (1979): Vertical and lateral building of river sandstone bodies, Ebro Basin, Spain. *Journal of the Geological Society*, 136, 39–46.

GÁBRIS, G., NÁDOR, A. (2007): Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis. *Quaternary Science Reviews*, 26, 2758–2763.

GUSTAVSON, T.C. (1978): Bed forms and stratification types of modern gravel meander lobes, Nueces River, Texas. *Sedimentology*, 25, 401–426.

HARMS, J.C., MACKENZIE, D.B., MCCUBBIN, D.G. (1963): Stratification in modern sands of the Red River, Louisiana. *The Journal of Geology*, 71, 566–580.

HICKIN, E.J. (1993): Fluvial facies models: a review of Canadian research. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 17, 205–222.

HEIN, F.J., WALKER, R.G. (1977): Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided, Kicking Horse River, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 14, 562–570.

HOPKINS, J.C., HERMANSON, S.W., LAWTON, D.C. (1982): Morphology of channels and channel-sand bodies in the Glauconitic Sandstone Member (Upper Mannville), Little Bow area, Alberta. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 30, 274–285.

MATOŠ, B. (2014): Neotectonic and recently active faults in Bilogora mountain area and assessment of their seismogenic potential. *Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet*, 3–5.

MIALL, A.D. (1977): A review of the braided river depositional environment. *Earth-Science Reviews*, 13, 1–62.

MIALL, A.D. (1978): Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. U: A. D. Miall (ur.) *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geologists, 5, 597–604.

MIALL, A.D. (1985): Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth-Science Reviews*, 22, 261–308.

MIALL, A.D., (1996): *The Geology of Fluvial Deposits Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. 4th corrected printing, Springer, 75–163.

MIŠIĆ, K. (2020): Mineraloška analiza sitne frakcije u šljuncima iz rijeke Drave. *Završni rad*. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 3–8.

MUTIĆ, R. (1975): Pijesak rijeke Drave u naslagama bušotine B-12 nedaleko Podravske Slatine. *Geološki vjesnik*, 28. 243–268.

NEMEC, W., MUSZYNSKI, A. (1982): Volcaniclastic alluvial aprons in the Tertiary of Sofia district (Bulgaria): *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 52, 239–303.

NEMEC, W., STEEL, R.J. (1984): Alluvial and coastal conglomerates: Their significant features and some comments on gravelly mass flow deposits. U: Koster, E. H., Steel, R.J. (ur.)

Sedimentology of Gravels and Conglomerates. Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir. 10, 1–31.

PAVELIĆ, D., KOVAČIĆ, M. (2018): Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rifttype North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia): A review. *Marine and Petroleum Geology*, 91, 455–469.

PRELOGOVIĆ, E., VELIĆ, J. (1988): Kvartarna tektonska aktivnost zapadnog dijela dravske potoline. *Geološki vjesnik*, 41, 237–253.

READING, H.G. (ur.), (1996): *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy* (3rd Edition). Blackwell Science, 37–68.

SAFTIĆ, B., VELLIĆ, J., SZTANÓ, O., JUHÁSZ, G., IVANKOVIĆ, Ž. (2003): Tertiary Subsurface Facies, Source Rocks and Hydrocarbon Reservoirs in the SW Part of the Pannonian Basin (Northern Croatia and South-Western Hungary). *Geologia Croatica*, 56/1, 101–122.

SMITH, D.G. (1983): Anastomosed fluvial deposits; modern examples from Western Canada. U: J.D. Collinson, J. Lewin (ur.) *Modern and Ancient Fluvial Systems*. International Association of Sedimentologists Special Publication, 6, 155–168.

SNEH, A. (1983): Desert stream sequences in the Sinai Peninsula. *Journal of Sedimentary Petrology*, 53, 1271–1280.

ŠIMUNIĆ, A., HEĆIMOVIĆ, I., AVANIĆ, R. (1990): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Koprivnica L33–70. Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.

ŠIMUNIĆ, A., HEĆIMOVIĆ, I., AVANIĆ, R. (1991): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Koprivnica L33–70. Institut za geološka istraživanja, Zagreb; Savezni geološki institut, Beograd.

TADIĆ, L., BRLEKOVIĆ, T. (2018): Hydrological Characteristics of the Drava River in Croatia. U: *The Drava River, Environmental Problems and Solutions*. Springer Geography, 79–90.

TUNBRIDGE, I.P. (1981): Sandy high-energy flood sedimentation -- some criteria for recognition, with an example from the Devonian of S.W. England. *Sedimentary Geology*, 28, 79–96.

WACHA, I., MATOŠ, B., KUNZ, A., LUŽAR-OBERITER, B., TOMLJENVIČ, B., BANAK, A. (2018): First post-IR IRSL dating results of Quaternary deposits from Bilogora (NE Croatia): Implications for the Pleistocene relative uplift and incision rates in the area. *Quaternary International*, 494, 195–200.

WALKER, R.G. (1979): Facies and facies models, general introduction. U: R. G. Walker (ur.) *Facies Models*. Geoscience Canada Reprint Series, 1, 1–8.

WIGHTMAN, D.M., TILLEY, B.J., LAST, W.M. (1981): Stratigraphic traps in channel sandstones in the upper Mannville (Albian) of east-central Alberta: Discussion. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 29, 622–625.

Internetski izvori

[1] Google Earth. Dostupno na: <https://earth.google.com/web/> (pristupljeno 25.1.2022.)

[2] Lustig, L.K., Schumm, S.A., Dury, G.H., Ritter, D.F.: "river." *Encyclopedia Britannica*. Dostupno na: <https://www.britannica.com/science/river> (pristupljeno 24.1. 2022.)