

# Pregled i usporedba različitih gravitacijskih tokova i njihovih naslaga

---

**Mikić, Karolina**

**Undergraduate thesis / Završni 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:217:861793>

*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

Karolina Mikić

**PREGLED I USPOREDBA RAZLIČITIH  
GRAVITACIJSKIH TOKOVA I NJIHOVIH  
NASLAGA**

Seminar III  
Preddiplomski studij geologije

Mentor:  
doc. dr. sc. Katarina Gobo

Zagreb, rujan 2022.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu  
Prirodoslovno-matematički fakultet  
Geološki odsjek

Seminar III

### PREGLED I USPOREDBA RAZLIČITIH GRAVITACIJSKIH TOKOVA I NJIHOVIH NASLAGA

**Karolina Mikić**

**Rad je izrađen:** Geološki odsjek, Horvatovac 102a, 10000, Zagreb

**Sažetak:** U ovom radu kategorizirani su i opisani osnovni tipovi gravitacijskih tokova: turbiditne struje, likvefakcijski i zrnski tokovi, kao i značajni debritni tokovi koji jedini prenose krupnozrnasti sediment. S druge strane, važnost turbiditnih struja izražena je u prijenosu sedimenta na vrlo velike udaljenosti, ali u podmorju. Iako su zbog lakšeg opisa i razumijevanja naslaga gravitacijskih tokova uvedeni različiti pojmovi, terminološka problematika je još uvijek uočljiva.

**Ključne riječi:** gravitacijski tokovi, turbiditi, debriti

**Rad sadrži:** 16+IV stranica, 11 slika, 13 literaturnih navoda

**Jezik izvornika:** hrvatski

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

**Mentor:** doc. dr. sc. Katarina Gobo

**Ocjenjivači:** doc. dr. sc. Katarina Gobo, doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, doc. dr. sc. Frane Marković

**Datum završnog ispita:** 26. rujna 2022.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

University of Zagreb  
Faculty of Science  
Department of Geology

### **Seminar III**

## **GRAVITY FLOWS AND THEIR DEPOSITS – REVIEW AND COMPARISON OF DIFFERENT CLASSIFICATION**

**Karolina Mikić**

**Thesis completed in:** Department of Geology, Horvatovac 102a, 10000, Zagreb

**Abstract:** This thesis presents categorisation and basic description of gravity flows, including turbidity currents, liquified flows, grain flows, as well as the importance of debris flows in coarse sediment transport. On the contrary, the importance of turbidity currents is noticeable in sediment transport on great subaqueous distances. Various scientists introduced different terminology to make description and reasoning of gravity flows deposits easier to understand. However, terminological problems are still present.

**Keywords:** gravity flows, turbidites, debrites

**Seminar contains:** 16+IV pages, 11 figures, 13 references

**Original in:** Croatian

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

**Supervisor:** doc. dr. sc. Katarina Gobo

**Reviewers:** doc. dr. sc. Katarina Gobo, doc. dr. sc. Borna Lužar-Oberiter, doc. dr. sc. Frane Marković

**Date of the final exam:** 26th of September 2022.

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TIPOVI GRAVITACIJSKIH TOKOVA.....	2
2.1. Turbiditne struje.....	3
2.2. Likvefakcijski tokovi.....	4
2.3. Zrnski tokovi.....	5
2.4. Debritni tokovi.....	6
3. NASLAGE GRAVITACIJSKIH TOKOVA.....	7
3.1. Turbiditi .....	7
3.2. Naslage likvefakcijskih i zrnskih tokova.....	10
3.3. Debriti .....	11
4. KLASIFIKACIJA I TERMINOLOGIJA.....	12
5. ZAKLJUČAK.....	14
6. LITERATURA.....	15

## 1. UVOD

Transport sedimenta gravitacijom jedan je od najjednostavnijih mehanizama kretanja čestica niz padinu. Kada voda sadrži visoku koncentraciju sedimenta, ta mješavina tvori debritne tokove slične kašastoj konzistenciji mokrog betona. Ovakve guste mješavine ponašaju se drugačije od sedimenta raspršenog u vodi i kreću se pod utjecajem gravitacije po tlu ili podvodno kao debritni tokovi. Rjeđe mješavine mogu se podvodno gravitacijski kretati kao turbiditni tokovi. Ovakvi mehanizmi kretanja važni su u smislu transporta krupnozrnastog sedimenta u duboke oceane (NICHOLS, 2009).

Sediment može putovati nezavisno o fluidu pod utjecajem efekta gravitacije direktno na sediment. Voda pridonosi smanjenju unutrašnjeg trenja te daje potporu česticama, no nije primarno odgovorna za kretanje sedimenta niz padinu. Tok počinje gravitacijskim kretanjem sedimenta, a prestaje kada se sav materijal istaloži. Podvodni gravitacijski transport sedimentološki je puno značajniji od kopnenog jer obuhvaća veće taložne površine kao i količine transportiranog materijala. Postoji više vrsta gravitacijskih kretanja, počevši od primjerice masovnog kretanja (*en masse*) i fluida koji se ponaša tako da smanjuje trenje između zrna, do onih gdje se transport odvija mehanizmom zrno po zrno (*grain-by-grain*) uz potporu fluida (BOGGS, 2006).

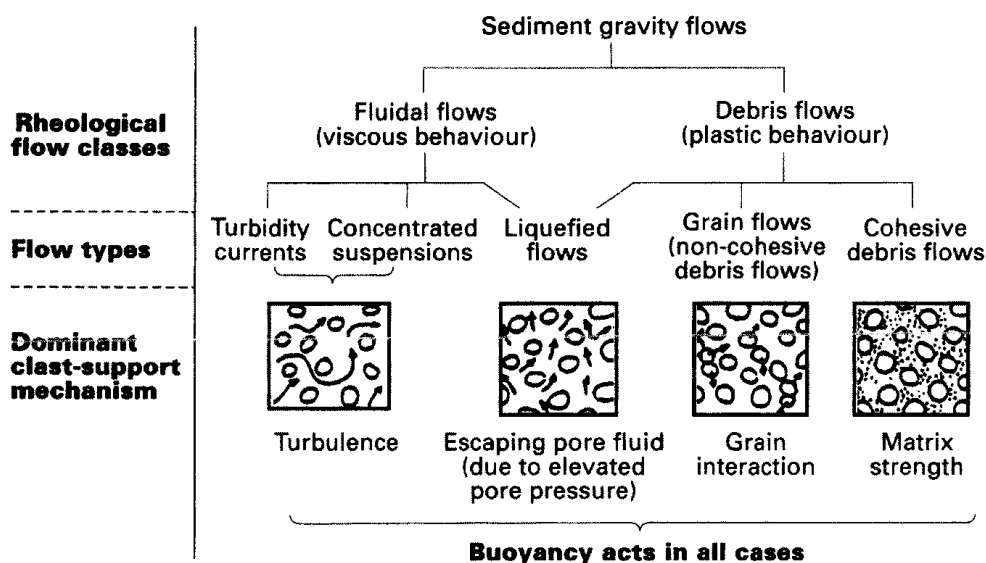
Podmorski gusti tokovi su zasigurno volumetrijski najvažniji tokovi sedimenta na našem planetu. Pojedinačan tok može prenositi i preko  $100 \text{ km}^3$  materijala, deset puta više od godišnje količine sedimenta prenošenog svim svjetskim rijekama te mogu doseći udaljenosti i više od 1500 km, kao i putovati vrlo brzo, čak i niskim gradijentima od samo  $0,01^\circ$  do  $0,1^\circ$  (TALLING et al., 2012). Tokovi uz dno oceana su opasni jer zbog svojih kretnji mogu prouzrokovati industrijsku, okolišnu ili ljudsku katastrofu, kao primjerice prekidanje cjevovoda ili podmorskih kablova kao i pojavu tsunamija, primjerice kod Grand Banks događaja. Naslage ovih tokova u stijenskom zapisu mogu sadržavati značajna ležišta ugljikovodika (MULDER & ALEXANDER, 2001) te velike volumene terestričkog i marinskog organskog ugljika. Imaju važnu ulogu u moduliranju ležišta organskog ugljika u dubokom oceanu kao i razine ugljikovog dioksida u atmosferi. Ovakve naslage pridonose uvidu u dinamiku podmorskih klizišta, magnitude asociranih tsunamija te mogu sadržavati zapise velikih potresa, riječnih plavljenja te sedimente nastale glacijalnim otapanjem koje je uzrokovano klimatskim promjenama (TALLING et al., 2012).

Kako su započela istraživanja velikih podvodnih padina modernih strmih delti, postalo je jasno da sedimentacija na tim padinama uključuje brojne gravitacijske procese te progradacija čela delte nije jednostavna (NEMEC, 1990).

Klasifikacija podmorskih gustih tokova i njihovih naslaga postala je zbunjujuća zbog njene važnosti u različitim područjima te zbog niza shema predstavljenih i korištenih u raznim vremenskim razdobljima. Primjerice, kod opisa arhitekture ležišta ugljikovodika ili kao alata za razumijevanje dinamike fluida u modernim oceanima. Tako su nastale sheme utemeljene na promatranju ponašanja toka, opisu stijenskih naslaga ili kao pokušaj interpretacije ponašanja toka u geološkoj prošlosti. Razni autori počeli su koristiti drugačiju terminologiju u geološkoj literaturi što je prouzrokovalo brojne rasprave i neslaganja. (MULDER & ALEXANDER, 2001).

## 2. TIPOVI GRAVITACIJSKIH TOKOVA

Gravitacijski tokovi sedimenata dijele se na temelju reološkog ponašanja ili mehanizmu zrske potpore (slika 1). Po Lowe-u (1979), reološka klasifikacija razdjeljuje ih na plastične i fluidne tokove. Plastični tokovi imaju određenu posmičnu čvrstoću koja mora biti nadvladana kako bi se tok pokrenuo. Posljedica toga je da se tijekom usporavanja, plastični tok „zamrzne“, kada je prijeđena točka kritičnog smicanja. Fluidni tokovi, s druge strane, nemaju inherentnu čvrstoću te nastavljaju kretanje sve dok je primijenjeno smicanje iznad nule. Potom kontinuirano usporavaju i graduirano talože sediment (READING, 1996).



Slika 1: Prikaz dominantnih mehanizama različitih vrsta gravitacijskih tokova (prema MIDDLETON & HAMPTON, 1976; READING, 1996)

## 2.1. Turbiditne struje

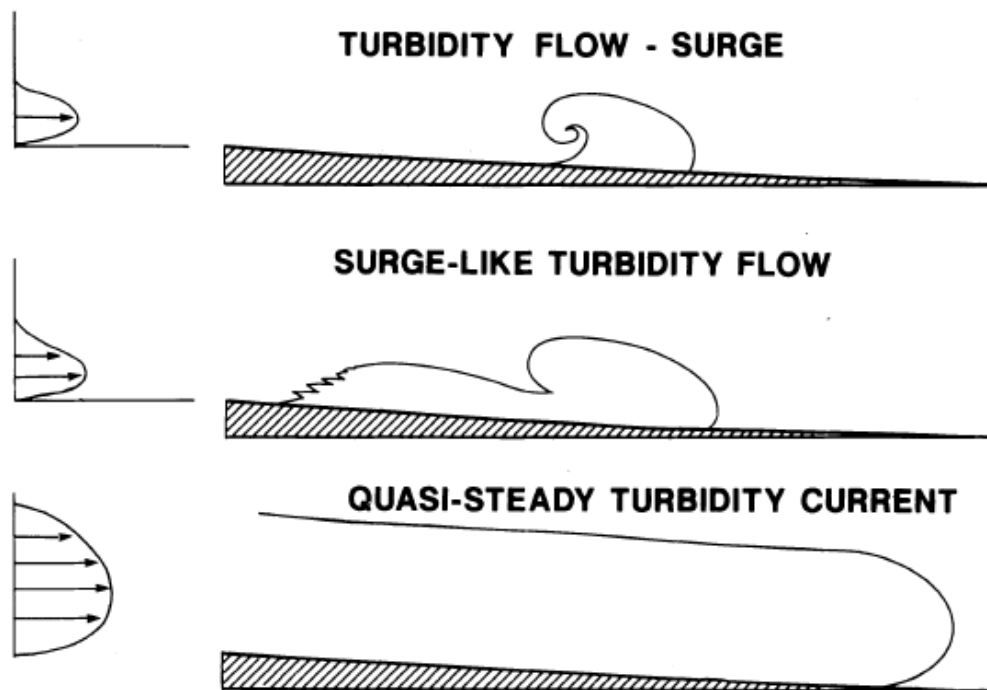
Turbiditne struje predstavljaju tip strujanja niz padinu mora, oceana ili jezera, u kojem se sediment nalazi u suspenziji zbog turbulencije (slika 2). Turbiditne struje mogu biti eksperimentalno inducirane u laboratorijima iznenadnim puštanjem gusto zamućene vode niz nagnuti žlijeb ispunjen bistrom vodom. Njihova pojava uočena je u prirodnim uvjetima kada zamućena riječna voda ulazi u jezero, kao i u marinskim okolišima na kontinentalnim rubovima, točnije blizu vrha podmorskih kanjona. Mogu nastati kolapsom nakupljenog sedimenta na podmorskim padinama, olujnim strujanjima pijeska i mulja u čelo kanjona, pridnenim tokovima rijeka ili otopljenih ledenjaka, tokovima obogaćenima vulkanskim pepelom tijekom vulkanskih erupcija. Mogu se kretati uzburkano ili uniformno. Uzburkani tokovi inicirani su katastrofalnim događajima (slampiranje sedimenta uslijed potresa ili olujnim valovima) koji pokreću intenzivnu turbulenciju vode iznad morskog dna, rezultirajući erozijom i brzim povlačenjem sedimenta u suspenziju vodenog stupca. Ovakvim procesom nastaju gusti turbiditni oblaci koji progradacijom i ubrzavanjem erodiraju i prikupljaju sve više sedimenta. Zasićena turbiditna struja potom neko vrijeme putuje pod utjecajem inercije i gravitacije. Brzo taloženje krupnijih čestica događa se u blizini izvorišta, dok se čeonni dio struje konstantno opskrbljuje novim česticama kao nadoknada onima izgubljenima u vrtlozima, koje potom zaostaju u tijelu turbiditne struje. Čeonim dijelom struje dominiraju erozijski procesi, a tijelom struje oni taložni (BOGGS, 2006).

Što je viša koncentracija sedimenta u turbiditnim tokovima, manja je mogućnost slobodnog kretanja klasta. Prisutnost ili odsutnost lateralne ili vertikalne gradacije ovisi u većoj mjeri o koncentraciji i trajanju toka (GHIBAUDO, 1992).

Teoretski, sediment koji je ostao u suspenziji nakon početnog taloženja krupnije zrnastog materijala, tijekom daljnjeg transporta, može ostati u suspenziji vrlo dugo u stanju dinamičke ravnoteže, što se naziva autosuspenzija. Takvo stanje postoji zato što je turbulencija izazvana pri dnu toka zbog gravitacije i nagiba padine. Brzina turbiditne struje smanjuje se zahvaljujući daljnjim zaravnjenjem terena, odnosno smanjenjem nagiba neovisno o tipu podloge. Smanjenjem brzine smanjuje se i turbulencija, a struja razrjeđuje. Konačno, ostatak sedimenta se u vršnom dijelu taloži čime on tone i raspršuje se. Ovisno o udjelu čestica u suspenziji postoje dva osnovna tipa ovih turbiditnih struja: one niske gustoće (20-30% čestica) te one visoke gustoće (veća koncentracija), koje sadrže i krupnije čestice.



Naime, cijeli takav sustav može u svom vršnom (čeonom) dijelu, primjerice, biti visoke gustoće, dok je njegov krajnji dio istovremeno niske gustoće (BOGGS, 2006).



**Slika 2:** Različiti tipovi turbiditnih struja (MULDER& ALEXANDER, 2001)

Kod turbiditnih struja visoke gustoće javljaju se smetnje u taloženju prilikom volumne koncentracije sedimenta oko 10% i više, kako interakcija zrna postaje sve veća. Proces taloženja odvija se u inkrementima, sloj po sloj, no agradacija sustava je puno brža nego u turbiditnih struja niske gustoće (TALLING et al., 2012).

## 2.2. Likvefakcijski tokovi

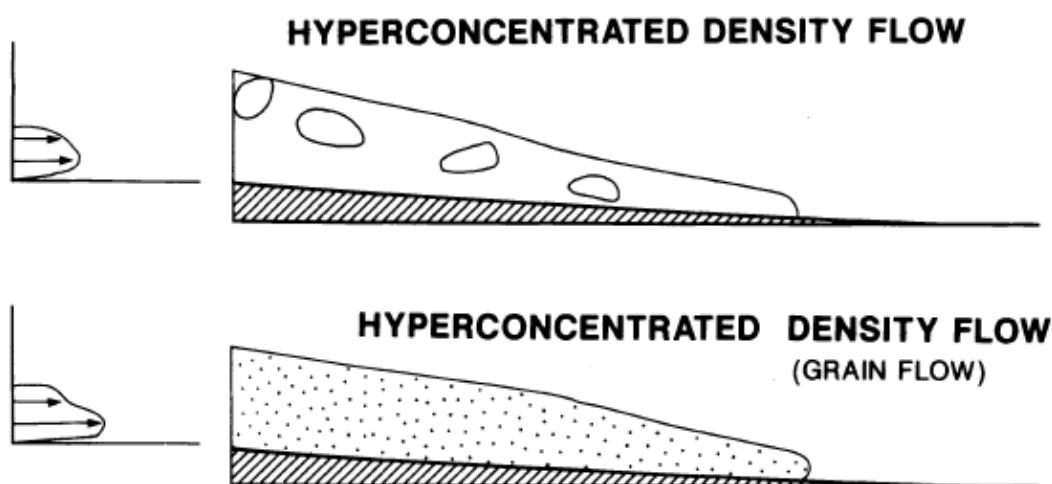
Predstavljaju tip tokova kod kojih zrna sedimenta pridržava porna voda koja je pobjegla iz međuzrnskog prostora uslijed slijeganja zrna zbog gravitacije ili porna voda koja je potisnuta prema gore. Rastresiti sedimenti poput pijeska mogu privremeno postati tekući zbog iznenadnog podrhtavanja, ili više njih, koji uzrokuju gubitak međuzrnskog kontakta te postaju suspendirani u vlastitom pornom fluidu. Dakle, višestrukim ubacivanjem fluida u stupac nekohezivnog sedimenta, on postaje fluidiziran te gubi na čvrstoći i počinje se ponašati kao tekućina velike viskoznosti. Takav tok traje sve dok su zrna raspršena i nisu u kontaktu. Konačno, kada proces stane, zrna ponovno uspostavljaju kontakte i sediment se prestaje kretati.

Izdizanje vode kroz taložene čestice dovodi do formiranja brojnih tekstura bježanja vode. (BOGGS, 2006).

### 2.3.Zrnski tokovi

Zrnski tokovi predstavljaju gibanja rastresitog sedimenta uz potporu vode ili zraka i djelovanja disperzivnog tlaka nastalog zbog izravne kolizije čestica (zrna). Mogu biti velikih brzina, posebno na strmim padinama, te rezultiraju istom zbog iznenadnog gubitka posmične čvrstoće sedimenta. Zrnski tok počinje kada trakcija (vučenje) prouzrokuje da rastresiti sediment, najčešće pijesak, prijeđe razinu kritičnog kuta mirovanja. Ovaj kut ovisi o obliku i načinu slaganja zrna, a obično je viši u naslagama koje sadržavaju uglata zrna, odnosno zrna male sferičnosti. Kada je taj kut za određeni tip sedimenta premašen, nastaje brza lavina zrnskoga toka zbog toga što unutarnje posmično naprezanje uslijed gravitacije premašuje unutarnju posmičnu čvrstoću sedimenta (BOGGS, 2006).

Disperzivni tlak potreban za održavanje zrna razdvojenima i u suspenziji tijekom toka nije rezultat utjecaja fluida, već zrnskih kolizija u zraku, ili u slučaju vodenog medija, zrnskih kolizija i bliskih susreta čestica. Tijekom interakcije zrna, disperzivni tlak je normala na ravninu smicanja koja ima tendenciju širenja ili raspršivanja zrna u tom smjeru (BOGGS, 2006).



**Slika 3:** Grafički prikaz zrnskih tokova (MULDER & ALEXANDER, 2001)

Zrnski tok sličan je likvefakcijskom u mnogim aspektima te čak može gradirati u isti, no razlika je što se javlja i u subaerskim uvjetima, primjerice na zavjetrinskim stranama

pješčanih dina. Također, zabilježene su i pojave zrnskih tokova na strmim padinama podmorskih kanjona (BOGGS, 2006).

## 2.4. Debritni tokovi

Debritni tokovi se pojavljuju u svim klimatskim uvjetima, a najučestaliji su u aridnim i semiaridnim područjima, gdje obično nastaju zbog obilnih kiša. Također su česti u vulkanskim regijama kada vulkanoklastični sediment postane saturiran vodom olujnih kiša koje prate erupcije, ili topljenjem leda koji se akumulira na vulkanskim planinama. Debritni tokovi su kašaste konzistencije, točnije, tvore loše sortiranu smjesu sedimenta i vode, a ponašaju se nešto drugačije od fluidiziranih tokova (BOGGS, 2006).

Kohezija između čestica rezultira visokim kinematskim viskozitetom te osigurava čvrstoću matriksa. Uz porni pritisak i uzgon, svrstava se u glavne mehanizme zrske potpore, koji su, naravno, odgovorni i za potporu velikih klasta (slika 4) (MULDER & ALEXANDER, 2001).

No, kohezija nije dovoljna da onemogući kretanje toka niz adekvatnu padinu. Generalno, debritni tokovi pokreću se na strmim padinama i nagiba većeg od  $10^\circ$ , no isto tako mogu prijeći značajne udaljenosti i na padinama blažeg nagiba ( $5^\circ$  ili manje). Pojavljuju se i u subaerskim i subakvatičnim okolišima. Loša sortiranost očituje se u sedimentima čak i do veličine blokova zajedno sa šljunkom, pijeskom i muljem (BOGGS, 2006).

Poznato je da debritni tokovi mogu dosezati nekoliko stotina kilometara i putovati brzinama od nekoliko metara u sekundi. Podvodni tokovi čine se manje erozivnima. Razlog tome je proces hidroklizanja, odnosno smanjenja trenja zbog sloja vode između podloge i toka (MULDER & ALEXANDER, 2001).



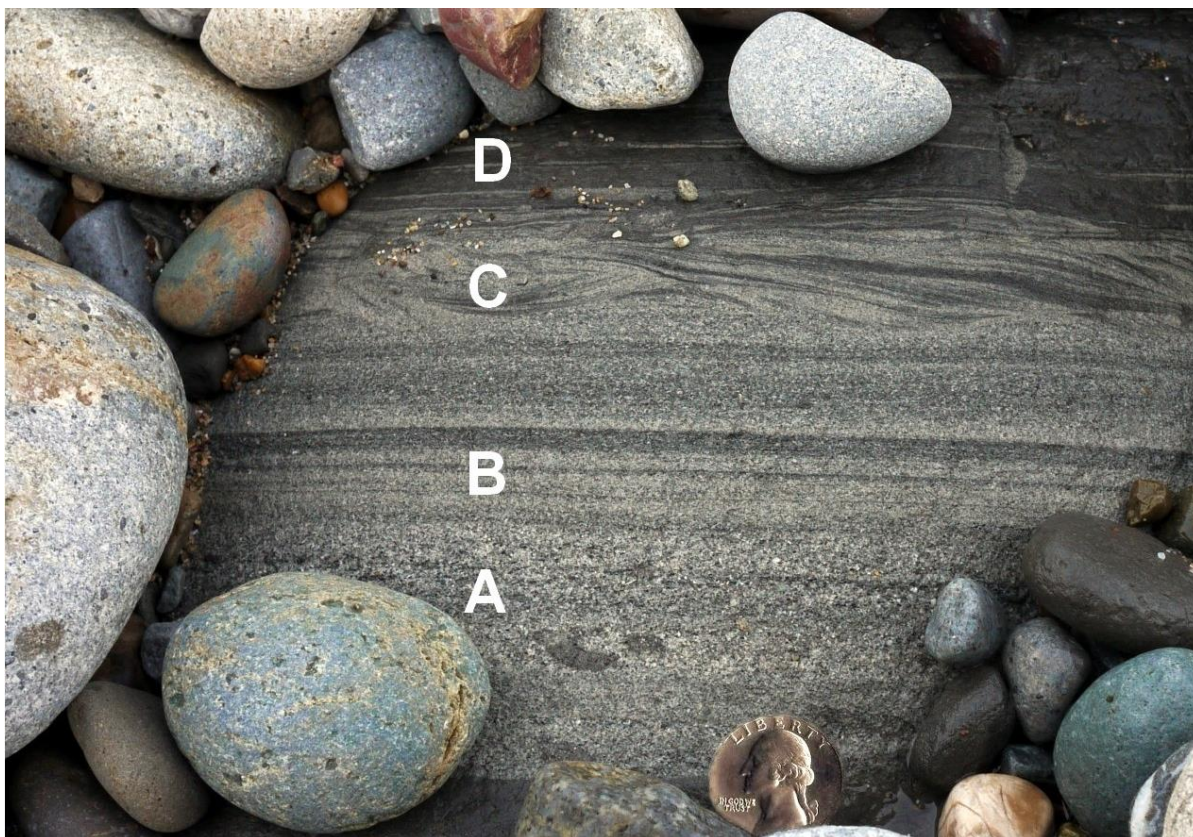
**Slika 4:** Grafički prikaz debritnog toka (MULDER & ALEXANDER, 2001)

### 3. NASLAGE GRAVITACIJSKIH TOKOVA

#### 3.1. Turbiditi

Turbiditi predstavljaju naslage široko rasprostranjene u dubokomorskom okolišu te tvore sljedove do nekoliko kilometara debljine. Zasebni slojevi variraju u debljini od nekoliko milimetara do nekoliko metara, a veličina čestica obuhvaća one od praha do šljunka (READING, 1996). Postoje dva podtipa: oni visoke gustoće praćeni velikom koncentracijom sedimenta, tvore debeli slijed naslaga koje sadrže krupnozrnaste slojeve, te oni niske gustoće koji uglavnom tvore tanje uslojene sedimente s izraženom vertikalnom gradacijom čestica (BOGGS, 2006).

Prema LOWE (1982), turbiditi visoke gustoće nastaju taloženjem iz turbiditnih tokova visoke gustoće (*high density turbidity currents, HDTC*), a karakterizira ih prisustvo Ta intervala Bouma sekvence. S druge strane, turbiditi niske gustoće nastaju taloženjem iz tokova niske gustoće (*low density turbidity current, LDTC*), a kod njih Ta interval izostaje.



**Slika 5:** Bouma sekvence iz kredne Pigeon Point Formacije, plaža Pescadero, Kalifornija [1]

Asocijacija s dubokomorskim okolišem može dovesti do zaključka da su svi turbiditi istaloženi u dubokom moru, ali oni nisu indikator dubine jer se turbiditna strujanja mogu pojaviti i u plitkoj vodi (NICHOLS, 2009).

Klasična Bouma sekvenca (1962) prikazuje idealan slijed turbidita (slika 5), a sastoji se od pet jedinica koje uključuju karakteristike oba tipa turbidita. Nije uvijek nužna prisutnost svih pet jedinica ili može biti slabo razvijena. Započnje erozijskom granicom, a završava hemipelagičkim muljem koji nije taložen turbiditnim tokom. (BOGGS, 2006).

Ovdje je prikazana proširena sekvenca po TALLING et al. (2012), (slika 6):

Tb<sub>3</sub> – krupnozrnasti pješčenjak s planarnom laminacijom

Ta – masivni pješčenjak istaložen u inkrementima turbiditnim strujama visoke gustoće

Tb<sub>2</sub> – planarno laminirani srednjezrnasti pješčenjak, lamine debljine manje od 1 mm, slabo vidljiva vertikalna graduiranost

Tb<sub>1</sub> – planarno laminirani pješčenjak istaložen iz struja niže gustoće

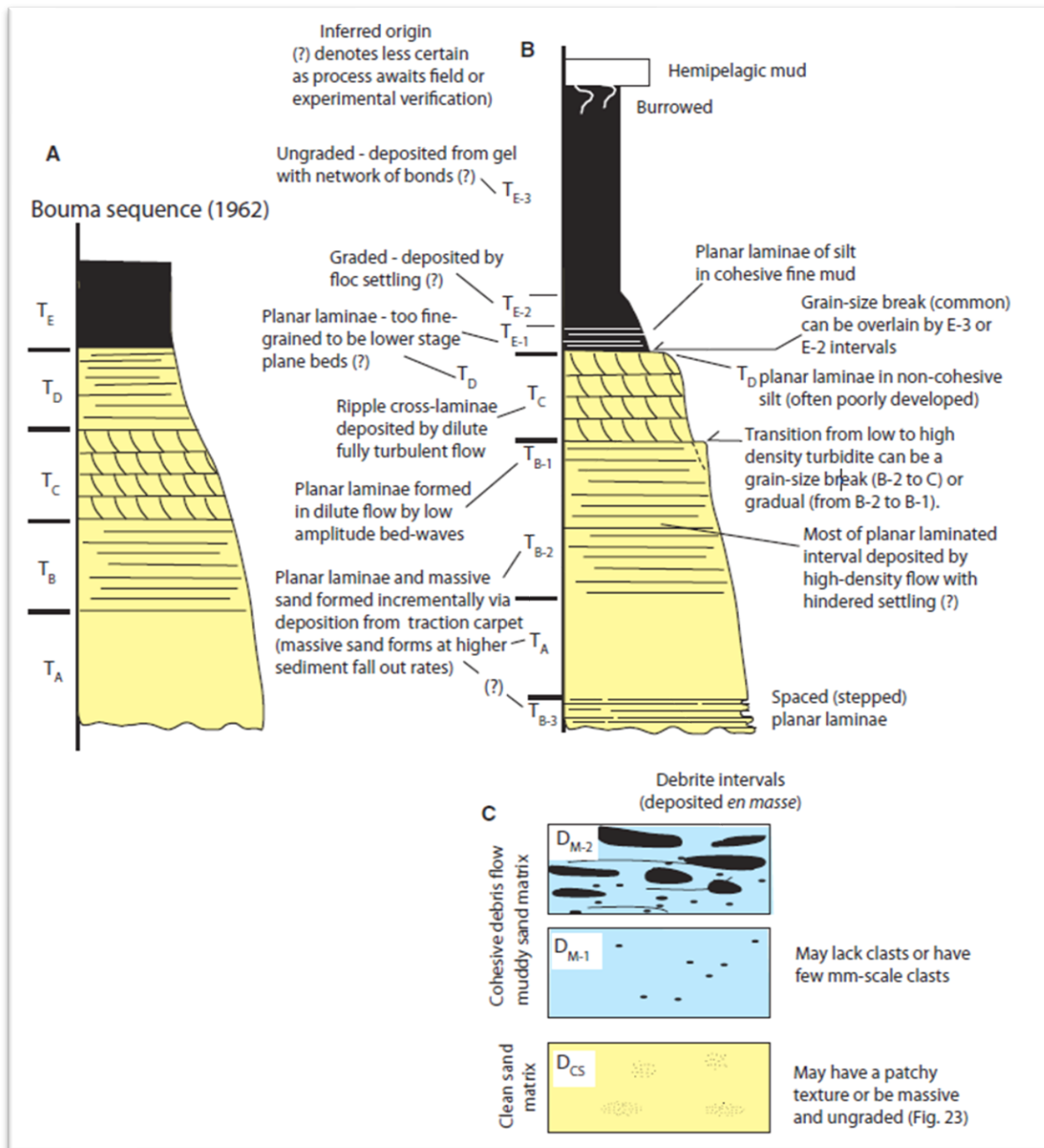
Tc - sitnozrnati pješčenjak sa strujnom laminacijom

(Td) – vrlo sitnozrnati planarno laminirani pješčenjak

Te<sub>1</sub> – laminirani muljnjak

Te<sub>2</sub> – graduirani muljnjak

Te<sub>3</sub> – masivni muljnjak

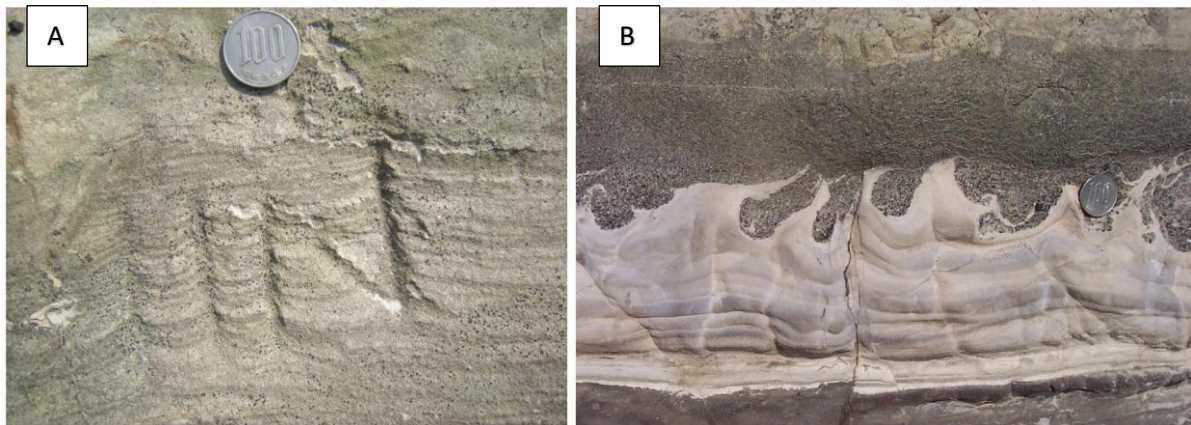


**Slika 6:** Generalizirana sekvenca često nađenih intervala u turbiditima. A) Bouma sekvenca (1962). B) Sekvenca po TALLING et al. (2012), prikazuje razlike i procese nastanka pojedinog sloja. Upitnici predstavljaju procese koji još čekaju na terensku ili eksperimentalnu provjeru. C) Mogući dodatni intervali (TALLING et al., 2012)

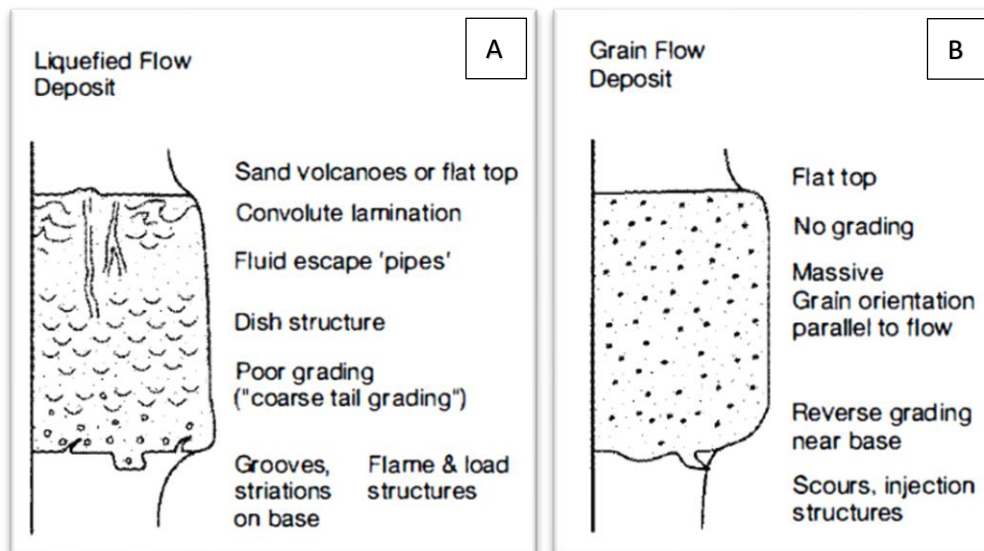


### 3.2. Naslage likvefakcijskih i zrnskih tokova

Naslage likvefakcijskih tokova tipično su debeli, loše sortirani pijesci, karakterizirani teksturama bježanja vode (8A), kao što su zdjelaste teksture, plamenčići (slika 8B), konvolutna slojevitost i pješčani vulkani (slika 7A). Naslage zrnskih tokova su debeli masivni pješčenjaci s tipičnom inverznom gradacijom koja nastaje procesom kinetičkog sisanja. Moguća je rijetka pojava lamina, a debljina naslage samo jednog zrnskog toka je obično manja od otprilike 5 cm (slika 7B) (BOGGS, 2006).



Slika 7: Log naslage likvefakcijskih i zrnskih tokova (BOGGS, 2006)



Slika 8: Teksture bježanja vode i tekstura plamenčića (MAZUMDER et al., 2016)

### 3.3. Debriti

Naslage su velikih dimenzija, debele, loše sortiranosti i bez unutrašnje slojevitosti (slika 9 i 10). Tipično se sastoje od vrlo kaotične mješavine čestica koje uključuju čestice veličine glina do onih dimenzija blokova. Uglavnom su loše graduirane, no ako je graduiranost prisutna, može biti normalna ili inverzna (BOGGS, 2006).



**Slika 9:** Naslage matrikspotpornog debrita kod Novigrada (foto. K.Mikić)





**Slika 10:** Naslage debrita zrske potpore kod Novigrada (foto. K.Mikić)

#### 4. KLASIFIKACIJA I TERMINOLOGIJA

Podmorski tokovi mogu biti kompleksni, a pojedinačan tok može biti sastavljen od nekoliko različitih tipova, a postoji i mogućnost prijelaznih oblika među njima. Gustoća toka može varirati i tako primjerice prijeći u gušći, ako mu se brzina smanjuje. Ponekad je problematično odrediti točne granice između tipova tokova koji tvore kontinuum, no klasifikacija bi trebala pomoći u znanstvenoj komunikaciji (TALLING et al. 2012).

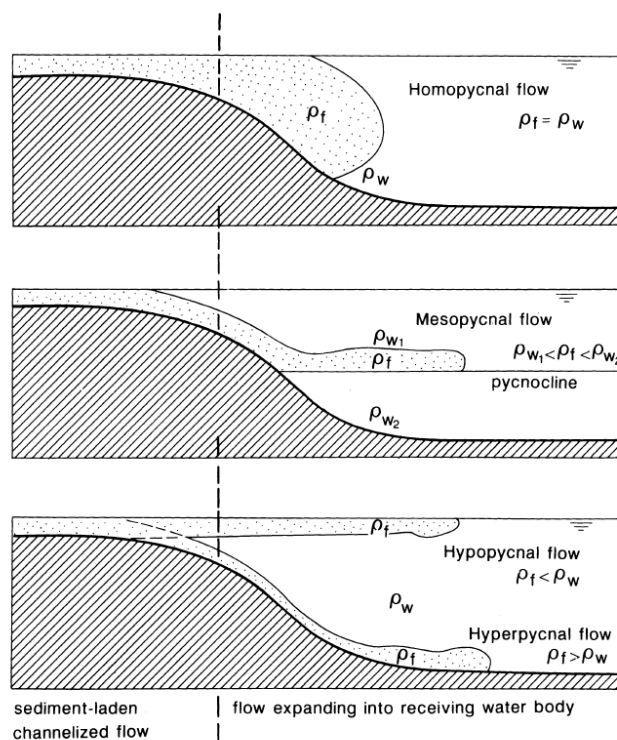
Gravitacijski tokovi su odgovorni za velik postotak prijenosa i taloženja sedimenta. Literatura je često zbunjujuća te postoje nesuglasice oko standardizacije terminologije (MULDER & ALEXANDER, 2001).

BOUMA (1962) je izradio model koji objašnjava odnos između sedimentnih tekstura i varijacije u veličini čestica u turbiditima i procese odlaganja u turbiditnim tokovima. Istovremeno, BAGNOLD (1962) je prikazao da turbulentne, gravitacijom inducirane struje mogu postojati samo za niske volumne koncentracije ( $C < 9\%$ ). MIDDLETON &

HAMPTON (1973) su u dogovoru s Bagnoldovim opažanjima definirali turbiditne struje kao sedimentne gravitacijske tokove u kojima je sediment pridržan većinom gornjom komponentom turbulencije fluida. Tokovi s tako niskom koncentracijom sedimenta imaju malu sposobnost transporta krupnozrnatog pijeska ili šljunka na značajnije udaljenosti, osim na područjima strmih nagiba. Posljedično, većina krupnozrnastih slojeva koji su se u literaturi nazivali turbiditima nisu mogli nastati turbiditnim tokovima (MULDER & ALEXANDER, 2001).

Postoje dva načina opisa podvodnih sedimentnih tokova i njihovih naslaga. Prvi je detaljno praćenje i promatranje toka koji se opisuje; bilježe se mjerenja koncentracije sedimenta, veličina čestica i brzina toka. Tako je omogućeno razumno objašnjenje reologije i glavnog mehanizma zrske potpore. Ovakvi podaci su većinom dostupni samo izvođenjem laboratorijskih eksperimenata. Ponekad, detaljno terensko praćenje sedimenta u jezerima ili dijelovima podmorskih kanjona može dati uvjerljive podatke za terminologiju baziranu na stanju toka, reologiji i mehanizmima zrske potpore. Također je potrebna i za opis teoretskih modela. Drugi način je direktna analiza istaloženog sedimenta. Terminologija bazirana na procesu taloženja je puno primjerenija u slučaju opisa izdanaka morskoga dna, no nekad su te metode teže jer ne daju pristup direktno mjerljivim parametrima poput brzine toka (TALLING et al., 2012).

Nova klasifikacija temelji se na opisu kohezije čestica, trajanju toka, koncentraciji sedimenta i mehanizmu zrske potpore, a svrha je pokušaj formaliziranja terminologije, postavljanje baze za definiranje debritnih i muljnih tokova te kriterija za razlikovanje hiperkoncentriranih, koncentriranih i turbiditnih tokova. Podvodni gusti tokovi koji prenose sediment mogu biti podijeljeni na temelju razlike u gustoći toka ( $\rho_f$ ) i okružujuće vode ( $\rho_w$ ). Na temelju toga definirana su četiri tipa toka (slika 11): hipopiknalni (za  $\rho_f < \rho_w$ ), homopiknalni (za  $\rho_f = \rho_w$ ), hiperpiknalni (za  $\rho_f > \rho_w$ ) i mezopiknalni (ako je gustoća toka između dva sloja u vodenom stupcu, iznad piknokline). Gusti tokovi putuju uglavnom pridreno, u vidu hiperpiknalnih tokova (MULDER & ALEXANDER, 2001).



**Slika 11:** Tipovi gustih tokova (MULDER & ALEXANDER, 2001)

## 5. ZAKLJUČAK

Do sada je ovdje prikazana osnovna podjela gravitacijskih tokova s obzirom na mehanizam toka i naslage koje tvore. Kakvi će tokovi biti uvelike ovisi o taložnom okolišu u kojemu se pojavljuju, o mediju koji prenosi sediment i o klimatskim obilježjima. Nekada ti tokovi nisu samo turbiditni, niti samo likvefakcijski ili debritni, već postoje i njihovi prijelazni oblici iz jednoga u drugi te tvore kontinuum. Iz tog razloga su i nastale nesuglasice oko terminologije i klasifikacije, gdje zapravo niti jedna strana nije u potpunosti neispravna, no jasno je da je standardizacija nužna radi lakše komunikacije u geološkoj zajednici.

## 6. LITERATURA

1. BAGNOLD, R.A. (1962): Auto-suspension of transported sediment: turbidity currents. *Proc. Roy. Soc. London*, A265, 315–319.
2. BOUMA, A.H. (1962): *Sedimentology of Somr Flysch Deposits: a Graphic Approach to Facies Interpretation*, Elsevier, Amsterdam, 168 str.
3. BOGGS, S. (2006): *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Fourth edition, New Jersey, Pearson Education, Inc., 622 str.
4. GHIBAUDO, G. (1992): Subaqueous sediment gravity flow deposits: Practical criteria for their field description and classification. *Sedimentology*, 39, 423–454.
5. LOWE, D.R. (1982): Sediment gravity flows II: depositional models with special reference to the deposits of high density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52, 279–297.
6. MAZUMDER, R., VAN LOON, A.J., MALVIYA, V.P., ARIMA, M., OGAWA, Y. (2016): Soft-sediment deformation structures in the Mio-Pliocene Misaki Formation within alternating deep-sea clays and volcanic ashes (Miura Peninsula, Japan), *Sedimentary Geology*, 344, 323–335.
7. MIDDLETON, G.V. & HAMPTON, M.A. (1973): Sediment gravity flows; mechanics of flow and deposition. U: Turbidity and Deep Water Sedimentations (Eds G.V. Middleton and A.H Bouma), SEPM, Pacific Section, Short Course Lecture Notes, 1–38.
8. MULDER, T. & ALEXANDER, J. (2001): The physical characters of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *Sedimentology*, 48, 269–299.
9. NEMEC, W. (1990): Aspects of sediment movement on steep delta slopes. *Coarse-grained Deltas*, 10, 29–73.
10. NICHOLS, G. (2009): *Sedimentology and Stratigraphy*. Second edition, West Sussex, Wiley-Blackwell, 419 str.
11. READING, H. G. (1996): *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. Third edition, Oxford, Blackwell Publishing, 688 str.
12. TALLING, P.J., MASSON, D.G., SUMNER, E.J., MALGESINI, G. (2012): Subaqueous sediment density flows: Depositional processes and deposit types. *Sedimentology*, 59, 1937–2003.

Internetski izvori:

[1]

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turbidite from Pigeon Pt Fm at Pescadero Beach, CA.jpg#file](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turbidite_from_Pigeon_Pt_Fm_at_Pescadero_Beach,_CA.jpg#file) (pristupljeno 20.09.2022.)