

# Donji ustroj ceste: proračun i izjednačenje masa

---

**Bojić, Mijo**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:947104>

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

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

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET

MIJO BOJIĆ

**DONJI USTROJ CESTE: PRORAČUN I  
IZJEDNAČENJE MASA**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2023. godine

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAĐEVINSKI FAKULTET

**DONJI USTROJ CESTE: PRORAČUN I  
IZJEDNAČENJE MASA**

ZAVRŠNI RAD

**Student:** Mijo Bojić

**Mentor:** Tamara Džambas

Zagreb, rujan 2023. godine



## TEMA ZAVRŠNOG ISPITA

Ime i prezime studenta: **Mijo Bojić**

JMBAG: **0082062277**

Završni ispit iz predmeta: **Ceste**

Naslov teme  
završnog ispita:

HR	<b>Donji ustroj ceste: proračun i izjednačenje masa</b>
ENG	<b>Road substructure: mass calculation and mass haul diagram</b>

Opis teme završnog ispita:

Predmet rada su proračun i izjednačenje zemljanih masa u cestogradnji. U radu je potrebno objasniti zašto se proračun i izjednačenje masa provode i kako se na balans masa može utjecati prilikom projektiranja cestovne prometnice. U sklopu izrade rada potrebno je opisati postupke izračuna površina poprečnih profila (usjeka, nasipa, zasjeka), objasniti pojam rastresitosti materijala, opisati postupke proračuna masa i izrade tablice masa te objasniti postupak izjednačenja masa (izrada linije masa, definiranje linija izjednačenja i određivanje prijevoznih udaljenosti).

Datum: **17.04.2023.**

Komentor:

(Ime i prezime komentora)

Mentor: **Tamara Džambas**

(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

# SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Donji ustroj ceste.....	2
2.1. Zemljani radovi .....	2
2.2. Izbor poprečnog presjeka .....	2
3. Proračun i izjednačenje masa .....	5
3.1. Proračun površina usjeka i nasipa .....	5
3.2. Rastresitost materijala .....	6
3.3. Proračun masa i izrada tablice masa.....	8
3.4. Izjednačenje masa.....	9
3.5. Linija masa i njezina obilježja.....	11
3.6. Linija izjednačenja .....	14
3.7. Prijevoz masa .....	15
4. Primjer proračuna i izjednačenja masa.....	18
4.1. Analizirana cestovna prometnica .....	18
4.2. Proračun i izjednačenje masa .....	18
5. Zaključak.....	22
Literatura .....	23
Popis slika .....	24
Popis tablica .....	25

## Prilozi

Prilog 1. Situacija (mj. 1:2000)

Prilog 2. Uzdužni presjek (mj. 1:2000/200)

Prilog 3. Normalni poprečni presjek (mj. 1:50)

Prilog 4.1. Karakteristični poprečni presjeci s površinama iskopa i nasipa: Profil 1 – Profil 4 (mj. 1:100)

Prilog 4.2. Karakteristični poprečni presjeci s površinama iskopa i nasipa: Profil 5 – Profil 8 (mj. 1:100)

Prilog 4.3. Karakteristični poprečni presjeci s površinama iskopa i nasipa: Profil 9 – Profil 12 (mj. 1:100)

Prilog 4.4. Karakteristični poprečni presjeci s površinama iskopa i nasipa: Profil 13 – Profil 16 (mj. 1:100)

Prilog 4.5. Karakteristični poprečni presjeci s površinama iskopa i nasipa: Profil 17 (mj. 1:100)

Prilog 5. Tablica masa

Prilog 6. Linija masa (mj. 1:2000)

## **Sažetak**

Tema ovog završnog rada je proračun i izjednačenje zemljanih masa u cestogradnji. Kratko je objašnjen pojam donjeg ustroja prometnica te njegova važnost prilikom projektiranja prometnica. Također, ukratko su opisani i zemljani radovi, s naglaskom na važnost izbora poprečnog presjeka koji najbolje odgovara zahtjevima terena na kojem se cestovna prometnica gradi. Detaljno je opisan postupak proračuna i izjednačenja zemljanih masa s posebnim naglaskom na izradu linije masa. Sam postupak proračuna i izjednačenja masa prikazan je i na primjeru cestovne prometnice projektirane u računalnom programu AutoCAD u sklopu izrade programskog zadatka iz kolegija Ceste. U tu svrhu izrađeno je 17 karakterističnih poprečnih presjeka temeljem kojih su izrađene tablica i linija masa. U konačnici, provedeno je izjednačenje masa te su za iste određene razvozne udaljenosti. Sve navedeno razrađeno je kroz šest grafičkih priloga.

**Ključne riječi:** donji ustroj ceste, zemljani radovi, proračun masa, izjednačenje masa, linija masa

## **Abstract**

The subject of this thesis is the calculation and balancing of soil masses in road construction. The concept of road substructure and its importance in road design is briefly explained. Earthwork is also briefly described, with emphasis on the importance of selecting a cross-section that best meets the requirements of the terrain on which the road is built. The procedure for calculating and balancing soil masses is described in detail, with emphasis on establishing a mass line. The calculation and mass balancing procedure itself is also demonstrated using the example of a road designed in the AutoCAD computer program as part of the programming assignment from the Roads course. For this purpose, 17 characteristic cross-sections were created, based on which the mass table and the mass line were created. Finally, a mass balance was performed, and the transport distances were determined for it. All this is illustrated by six graphical appendices.

**Keywords:** road substructure, earthworks, volume calculations, earthwork balance, mass haul diagram

## 1. Uvod

U vremenu obilježenom brzom urbanizacijom i tehnološkim napretkom, razvoj učinkovite prometne infrastrukture od iznimne je važnosti za podršku rastućim zahtjevima modernog društva. Među drugim bitnim komponentama održive cestovne mreže, donji ustroj cestovnih prometnica ima ključnu ulogu u osiguranju dugoročne stabilnosti trupa prometnice i trajnosti kolnika. Naime, uloga donjeg ustroja ceste je prije svega svladavanje prepreka na terenu, ali i prenošenje opterećenja gornjeg ustroja ceste kao i samih vozila na temeljno tlo, [1]. Obzirom na navedeno, prilikom projektiranja i izgradnje cesta potrebno je pronaći što jednostavnija rješenja kako bi se smanjili troškovi i optimizirala izgradnja istih.

Ceste su kompleksne građevine koje se grade u raznim terenskim uvjetima te je potrebno težiti da se takve prometnice u većini slučajeva nalaze u usjeku, nasipu ili zasjeku, sa što manje objekata (vijadukta, tunela), a sve s ciljem osiguranja što manjih troškova izvođenja. Naime, već se kod samog projektiranja ceste prilikom horizontalnog i vertikalnog vođenja linije velika pozornost pridaje balansu masa, [2]. Osnovni cilj ovog završnog rada je poboljšati razumijevanje proračuna i izjednačenja masa, postupka kojim se uvelike doprinosi optimizaciji troškova zemljanih radova.

U radu su opisani zemljani radovi, izbor tipa poprečnog presjeka kod trasiranja te su objašnjeni svi pojmovi i postupci vezani uz proračun i izjednačenje zemljanih masa u cestogradnji. Kako bi izgradnja ceste bila što isplativija, materijal iz iskopa se nastoji u što većoj mjeri iskoristiti za izgradnju nasipa, ukoliko terenski uvjeti to dozvoljavaju. Pojmovi i objašnjenja u radu popraćeni su grafičkim prikazima.

Sam postupak proračuna i izjednačenja masa prikazan je i na primjeru cestovne prometnice projektirane u računalnom programu AutoCAD u sklopu izrade programskog zadatka iz kolegija Ceste. U tu svrhu izrađeno je 17 karakterističnih poprečnih presjeka temeljem kojih su izrađene tablica i linija masa. U konačnici, provedeno je izjednačenje masa te su za iste određene razvozne udaljenosti. Sve navedeno razrađeno je kroz šest grafičkih priloga.

## **2. Donji ustroj ceste**

Donji ustroj, uz gornji, predstavlja sastavni dio ceste kao građevinskog objekta. Sastoji se od zemljanog trupa i objekata (mostovi, propusti, vijadukti itd.). Isti predstavlja površinu na koju naliježe kolnička konstrukcija, a za zadaću ima preuzeti prometno opterećenje i cijelu konstrukciju gornjeg ustroja, [3]. Ceste su kompleksne građevine koje se grade u raznim terenskim uvjetima te je potrebno je težiti da se takve prometnice u većini slučajeva nalaze u usjeku, nasipu ili zasjeku, sa što manje objekata (vijadukta, tunela), a sve s ciljem osiguranja što manjih troškova izvođenja.

Kako bi se osigurala trajnost i funkcionalnost donjeg ustroja, zemljani trup se treba izraditi od kvalitetnog materijala te ga je potrebno dobro zbiti odgovarajućim strojevima za zbijanje. Na taj način pokušavaju se izbjeći naknadna slijeganja i deformacije, koja bi mogla uzrokovati oštećenja kolničke konstrukcije, [3].

Donji ustroj prometnica može biti posebno prilagođen prometnom sustavu kojem pripada, poput ceste ili željeznice, a može uključivati različite građevine poput usjeka, nasipa, zasjeka, nadvožnjaka, podvožnjaka, vijadukta i tunela. Također, donji ustroj prometnice može sadržavati i elemente koji osiguravaju trup prometnice, kao što su potporni i uporni zidovi, te elemente odvodnje, kao što su cestovni propusti, [2].

### **2.1. Zemljani radovi**

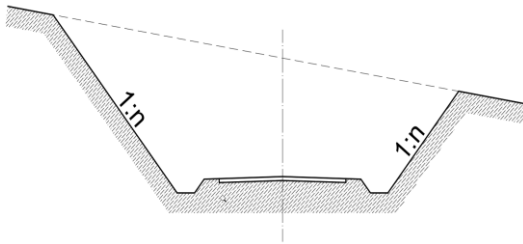
Prije izvođenja zemljanih radova potrebno je provesti istražne i pripremne radove, odnosno pripremiti teren za građevinske radove, ukloniti raslinje i instalacija, iskolčiti trasu i sl., [4]. Pojam zemljanih radova odnosi se na ugradnju ili iskop zemlje i drugog iskopnog materijala tijekom izgradnje, kao i na prilagodbu prirodnog terena potrebama izgradnje. Zemljani radovi uključuju transport, iskop, ugradnju i zbijanje materijala za izgradnju zemljanih struktura i značajan su element gotovo svih projekata niskogradnje. Ovi se radovi obavljaju isključivo upotrebom mehanizacije (iznimno ručno), a se dijele na linijske i površinske. Dobro razumijevanje planiranja i provedbe zemljanih radova omogućuje isporuku uspješnih projekata i izbjegavanje skupih rješenja. Veliku ulogu prilikom izvedbe zemljanih radova ima izbor poprečnog presjeka jer on kako ekonomski tako i estetski i konstrukcijski utječe na izgradnju prometnice, [5].

### **2.2. Izbor poprečnog presjeka**

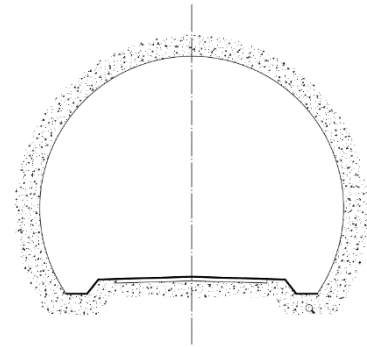
Prilikom odabira poprečnog presjeka prometnice potrebno je donijeti odluku o primjerenom rješenju koje će osigurati stabilnost građevine odnosno padine te optimalno uklapanje prometnice u okoliš. Treba razmotriti nekoliko mogućnosti izvedbe: duboki usjek ili tunel, nasip ili vijadukt, zasjek s potpornim odnosno upornim zidom ili rješenje s padinskim vijaduktom, [2].



Duboki usjek ili tunel opcije su koje se često koriste kada je potrebno prijeći prirodne prepreke poput brda ili planina (Slika 1 i Slika 2). Odabir između usjeka ili tunela vrši se na osnovu nekoliko karakteristika u koje ubrajamo vrstu tla, ekonomsku isplativost izgradnje tunela, estetske uvjete itd. Prilikom izgradnje usjeka potrebno je više prostora za izgradnju i održavanje samog usjeka te s tim rastu i troškovi. S druge strane, prije izgradnje tunela potrebno je odraditi prethodna ispitivanja terena na koja se potroši 1 do 3% ukupne cijene izgradnje tunela, [5].

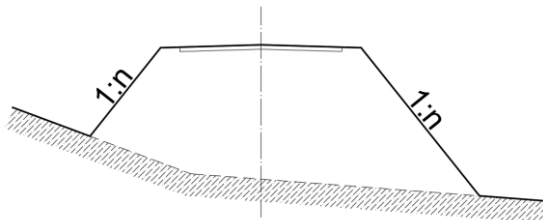


**Slika 1.** Duboki usjek

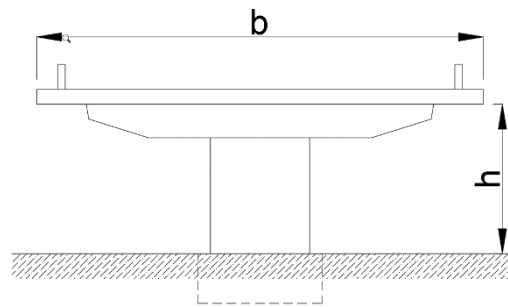


**Slika 2.** Tunel

Nasip ili vijadukt su rješenja koja se koriste kada je potrebno prijeći prepreke poput rijeke ili kanala (Slika 3 i Slika 4). Kota nivelete nasipa se nalazi iznad kote terena te je potrebno izvesti nasipe tako da kasnije ne dođe do slijeganja. Prilikom izrade nasipa nastoji se izgraditi nasip optimalne visine i nagiba kako bi isti bili što stabilniji, a nagib se ublažuje ako je visina veća od 6 m. Ako je to ekonomski isplativije, grade se vijadukti, [2].

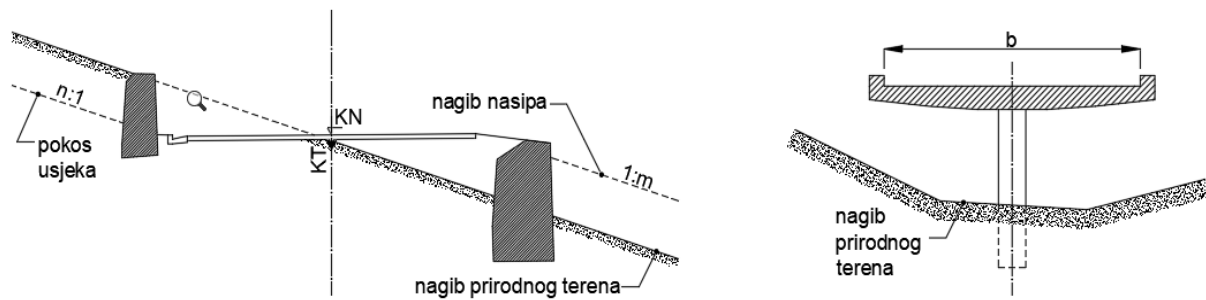


**Slika 3.** Nasip



**Slika 4.** Vijadukt

Zasjek s potpornim zidom i rješenje s padinskim vijaduktom koriste se kada je potrebno stabilizirati padine ili teren uz prometnicu (Slika 5). Potporni zidovi preuzimaju opterećenja od tla, vode ili drugih materijala koji se na njega oslanjaju. Nastoji se građevinu ne opteretiti hidrostatičkim tlakom. Da bi se složene geotehničke građevine, poput potpornih zidova i padinskih vijadukata, mogle dobro projektirati potrebno je prethodno upoznati njihove pojedine sastavne dijelove. Ako je izgradnja zidova skupa i zahtjevna, preporučljivo je razmotriti izgradnju padinskog vijadukta, [6].



**Slika 5.** Zasjeak s potpornim zidom i padinski vijadukt

Pri izboru karakterističnog presjeka, osim uvjeta stabilnosti, važno je voditi računa i o uklapanju prometnice u okolinu. Prometnica ne smije bitno narušiti prirodni izgled terena nakon zaštite i uređenja usjeka ili nasipa. Stoga optimalno rješenje treba projektirati tako da minimalno utječe na prirodni okoliš, uz očuvanje estetike i funkcionalnosti. Konačnu odluku o odabiru poprečnog presjeka treba donijeti nakon opsežne analize svih relevantnih čimbenika, uključujući lokalne uvjete, troškove izgradnje i održavanja, stabilnost tla i tehničku izvedivost. Na taj način će se dobiti najbolje moguće rješenje koje će zadovoljiti potrebe i zahtjeve projekta, [2].

### 3. Proračun i izjednačenje masa

#### 3.1. Proračun površina usjeka i nasipa

Na svakoj trasi ceste pojavljuju se iskopi i nasipi. Njihovi poprečni presjeci su bitni jer se između dva presjeka računa kubatura materijala. Na temelju tih izračuna nastoji se maksimalno iskoristiti iskopani materijal kako bi se ugradio u nasipe, [7]. Prije izračuna mase materijala, potrebno je jasno definirati njegovu namjenu, odnosno hoće li se isti koristiti za oblaganje nasipa, izradu zidova ili u druge svrhe. Uz to treba razmotriti hoće li se koristiti materijal iz iskopa ili s pozajmišta, [2].

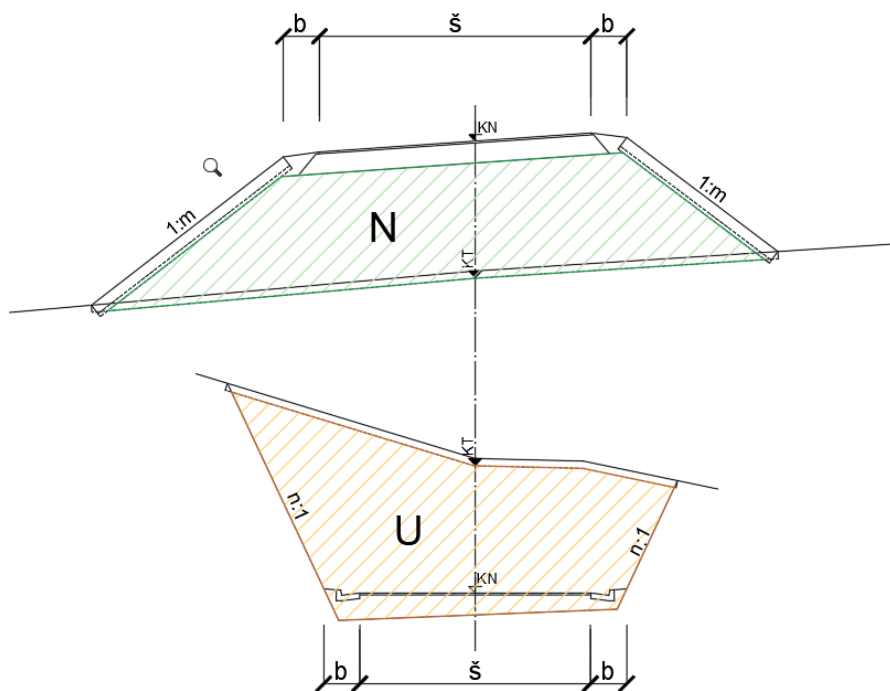
Ako se za izradu zidova i obloga koristi drobljeni kameni materijal te dijelove konstrukcije treba smatrati nasipom. Obračun troškova za oblaganje treba obuhvatiti samo prikupljanje pogodnog kamena za izradu obloge, dok se troškovi iskopa i transporta ne obračunavaju jer su već uključeni u obračun iskopa kamena iz usjeka, [2]. Ukoliko se materijal iz iskopa ne može koristiti za izradu obloga ili zidova, potrebno je odrediti samo površinu "čistog" nasipa te, prema potrebi, nabaviti manjak materijala iz pozajmišta po punoj cijeni, uz obračun iskopa i prijevoz do gradilišta, [2].

Za proračun kubature materijala bitne su površine usjeka i nasipa iz poprečnih profila. Određivanje površina usjeka i nasipa u poprečnom profilu naziva se planimetriranjem (Slika 6). One se mogu odrediti na sljedeće načine [5]:

- grafički, podjelom poprečnog profila na niz trapeza i trokuta i zbrajanjem njihovih površina,
- namjenskom spravom, planimetrom,
- pomoću grafikona ili nomograma,
- pomoću elektroničkog računala prikladnim programom.

Svaki poprečni presjek prije planimetriranja mora biti detaljno nacrtan te mu mora biti riješena odvodnja. Na svakom presjeku mora biti prikazan [2]:

- iskop humusa,
- obloga pokosa nasipa i usjeka,
- debljina kolničke konstrukcije,
- rubovi ceste (bankina, berma, rigol),
- odvodni jarak,
- moguća drenaža,
- potporni, uporni i obložni zidovi,
- građevine.



**Slika 6.** Dijelovi poprečnog profila nasipa i usjeka koji se planimetriraju

Danas se najčešće upotrebljavaju suvremeni računalni programi koji na temelju digitalnog modela terena automatski izračunavaju površine presjeka. Time se povećava učinkovitost i smanjuje mogućnost ljudske pogreške te se osigurava optimalno planiranje i potrošnja resursa, [2].

### 3.2. Rastresitost materijala

Rastresitost materijala je parametar koji se iskazuje preko koeficijenta rastresitosti (K). Rastresitost materijala se odnosi na promjene u tlu koje nastaju kao posljedica iskopa, nasipanja i drugih aktivnosti. Ona najviše ovisi o granulometrijskom sastavu i stupnju usitnjenosti, ali i o mineralnom sastavu, strukturi, tvrdoći i žilavosti tla. Koeficijent rastresitosti (K) kod tvrdih i žilavih stijena je veći, a kod mekših i nevezanih stijena manji i određuje se izrazom [8]:

$$K = \frac{V_r}{V_m} \quad (0)$$

gdje je:  $V_r$  – volumen materijala u rastresitom stanju ( $m^3$ ),  $V_m$  – volumen materijala u stijenskom masivu ( $m^3$ ).

Zbijanje tla je složen postupak koji se sastoji od niza faktora, ključnih za dobivanje kvalitetne i dobro zbijene površine. Kvalitetno zbijena površina ovisi o stupnju zbijanja i ujednačenosti tog procesa, što ima izravan utjecaj na nosivost, uporabivost, stupanj deformacije i vijek trajanja građevine donjeg ustroja, [9].

Atmosferski uvjeti, kao što je kiša, također mogu utjecati na rastresitost materijala. Voda koja natapa tlo povećava njegovu težinu i istovremeno smanjuje koheziju između čestica. Kombinacija povećane težine i slabije kohezije može uzrokovati povećano slijeganje tla, [2].

Ove promjene u tlu i smanjenja volumena mogu uzrokovati neočekivana klizišta, oštećenja temelja i druge infrastrukturne probleme. Stoga je važno uzeti u obzir rastresitost materijala tijekom planiranja i izgradnje kako bi se poduzele potrebne mjere za osiguranje stabilnosti i sigurnosti građevinskih projekata, [2].

Kod izgradnje prometnica važno je znati početnu rastresitost materijala kako bi se pravilno izračunale količine materijala za iskop i nasipanje. Ona se definira preko koeficijenta rastresitosti, koji opisuju promjene u volumenu materijala između neporemećenog stanja (in situ) i stanja nakon iskopa ili ugradnje u nasip, [2].

Postoje dva koeficijenta rastresitosti: privremeni koeficijent rastresitosti ( $K_{op}$ ) i koeficijent trajne rastresitosti ( $K_{os}$ ). Koeficijent privremene rastresitosti odnosi se na volumen rastresitog materijala dobivenog iskopom u odnosu na volumen istog materijala u neporemećenom stanju. Ovaj koeficijent uvijek ima vrijednost veću od 1 i bitna je za proračun količine tla, vrste i broja prijevoznih sredstava. S druge strane, koeficijent trajne rastresitosti odnosi se na volumen materijala ugrađenog u nasip ili zbijenog, u odnosu na volumen istog materijala u neporemećenom stanju. Koeficijent trajne rastresitosti može biti manji od 1, dok je za stijene veći od 1. Ova vrijednost ovisi o vrsti tla i zbijenosti, [2]. U tablici 1 prikazane su iskustveno određene vrijednosti koeficijenta početne i stalne rastresitosti za različite vrste materijala, a koje praktično treba ispitati tijekom samog rada.

**Tablica 1.** Koeficijenti početne i stalne rastresitosti za različite vrste materijala [9]

Vrsta materijala	Koeficijent početne rastresitosti $k_{op}$	Koeficijent stalne rastresitosti $k_{os}$
Sitni pijesak i les	1,06-1,12	0,96-0,85
Krupni pijesak, lako pjeskovita glina	1,12-1,22	0,98-0,90
Srednje krupni šljunak	1,12-1,24	1,00-0,92
Teška, masna glina	1,20-1,27	0,98-0,95
Glina pomiješana s kamenom	1,20-1,30	0,98-1,03
Lapori i čvrste gline	1,20-1,32	1,00-1,05
Rastresite stijene, pješčari	1,32-1,35	1,05-1,10
Čvrste stijene	1,30-1,45	1,07-1,15

Razlike između početnog i trajnog koeficijenta važne su jer igraju ključnu ulogu u planiranju i izgradnji cesta. S povećanjem zahtjeva za kvalitetom donjeg ustroja i razvojem boljih strojeva za

zbijanje, očekuje se daljnje povećanje ovih razlika. Važno je razumjeti da pravilno određivanje ovih koeficijenata utječe na sigurnost, trajnost i kvalitetu ceste, [2].

### 3.3. Proračun masa i izrada tablice masa

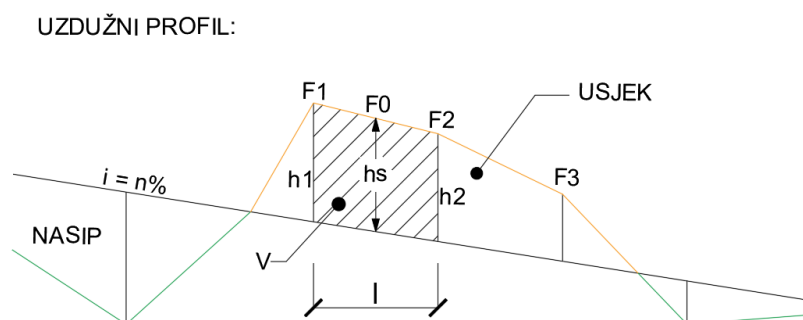
Proračun masa iskopa i nasipa vrši se pomoću površina dva poprečna presjeka i njihove međusobne udaljenosti. Za točno određivanje mase nekog objekta koristimo se različitim metodama i jednadžbama. Dvije uobičajene metode su proračuni primjenom Winklerove jednadžbe i Murzove jednadžba, [2].

Winklerova jednadžba često se primjenjuje za izračun mase prizme između dva susjedna profila. Ova jednadžba uzima u obzir površine ovih profila, označene kao  $F_1$  i  $F_2$ , te razmak između njih, označen kao  $l$  (Slika 7). Winklerova jednadžba omogućuje izračun kubature prizme [2]:

$$V = \frac{F_1 + F_2}{2} \times l \quad (1)$$

Murzova jednadžba također je često korištena metoda za izračunavanje mase. Ova jednadžba koristi površinu poprečnog presjeka ( $F_0$ ) za srednju visinu  $h_s = (h_1 + h_2)/2$ , gdje su  $h_1$  i  $h_2$  visine susjednih presjeka (Slika 7). Koristeći ovu površinu, Murzova jednadžba omogućuje izračunavanje volumena objekta [2]:

$$V = F_0 \times l \quad (2)$$



**Slika 7.** Određivanje kubature između dva poprečna profila

Ovi postupci čine važan dio projektiranja manjih građevina, niskih prometnica, a koriste se i u fazi izrade predprojekata. Međutim, kada je riječ o projektiranju važnih cesta i autocesta, primjenjuju se postupci automatske obrade uz pomoć elektroničkih računala koji obračunavaju količine i vrše raspored i izjednačenje masa, [2].

Tablični izračun količina masa (volumena  $V$ ) između dva susjedna poprečna presjeka vrši se pomoću Winklerove formule koja glasi [2]:

$$V = \left( \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \right) \times l \quad (3)$$

gdje je: F - površina nasipa ili iskopa, l - udaljenost između susjednih profila.

Prilikom izrade tablice masa (Tablica 2) potrebno je na svakom profilu, koji se nalazi na određenoj stacionaži (stupac 1), unijeti površine nasipa (stupac 2) i iskopa (stupac 3). Zatim se na temelju unesenih vrijednosti površina računaju srednje površine nasipa (stupac 4) i iskopa (stupac 5). Nakon izračuna srednjih površina određuju se udaljenosti između susjednih profila (stupac 6), koje su potrebne za izračun kubatura. Na kraju se u stupce 7 i 8 upisuju volumeni nasipa (stupac 7) i iskopa (stupac 8) izračunati prema Winklerovoj formuli. Povećani (smanjeni) iskop (stupac 9) dobiva se tako što se volumen iskopa (stupac 8) množi s koeficijentom stalne rastresitosti  $K_{os}$ . Manjak u nasipu (stupac 10) i višak u iskopu (stupac 11) određuju se na način da se od vrijednosti povećanog (smanjenog) iskopa (stupac 9) oduzimaju vrijednosti volumena nasipa (stupac 7). Pozitivan rezultat upisuje se u stupac 11, a negativan rezultat u stupac 10. Kada se obavi poprečno izjednačenje, određuje se uzdužno izjednačenje, izračunom ordinata linije masa (stupac 12). Prva vrijednost stupca 12 je nula. Druga vrijednost stupca 12 se dobiva na način da se od početne vrijednosti oduzima vrijednost od stupca 10, odnosno dodaje vrijednost stupca 11. Ostale vrijednosti stupca 12 dobivaju se oduzimanjem ili dodavanjem vrijednosti iz stupaca 10 i 11 vrijednosti u stupcu 12 koja je prethodna u odnosu na vrijednost koja se računa, [2].

**Tablica 2.** Primjer tablice masa

Broj profila	Stacionaža [m]	Površina [m <sup>2</sup> ]		Srednja površina [m <sup>2</sup> ]		Razmak profila [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]		Povećani iskop [m <sup>3</sup> ]	Manjak u nasipu [m <sup>3</sup> ]	Višak u iskopu [m <sup>3</sup> ]	Ordinata linije masa [m <sup>3</sup> ]
		Nasip	Iskop	Nasip	Iskop		Nasip	Iskop				
X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.00	0.340	4.580									0.000
2	50.00	6.720	2.960	3.530	3.770	50.000	176.500	188.500	203.580	0.000	27.080	27.080
3	100.00	0.000	5.830	3.360	4.395	50.000	168.000	219.750	237.330	0.000	69.330	96.410
4	150.00	0.000	8.520	0.000	7.175	50.000	0.000	358.750	387.450	0.000	387.450	483.860
5	200.00	5.360	2.360	2.680	5.440	50.000	134.000	272.000	293.760	0.000	159.760	643.620
6	250.00	9.450	0.260	7.405	1.310	50.000	370.250	65.500	70.740	299.510	0.000	344.110
7	300.00	0.000	14.150	4.725	7.205	50.000	236.250	360.250	389.070	0.000	152.820	496.930

Za kvalitetan proračun mase u građevinskim projektima potrebno je uzeti u obzir razlike u zbijenosti materijala kako u prirodnom stanju (u usjecima i pozajmištu), tako i u materijalima ugrađenim u nasipe, uzimajući u obzir potreban stupanj njihove zbijenosti u donjem i gornjem dijelu nasipa, [2].

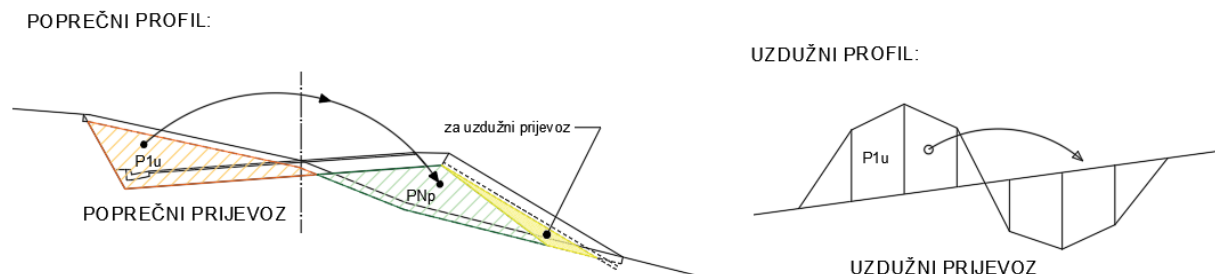
### 3.4. Izjednačenje masa

Pri projektiranju donjeg ustroja prometnice izuzetno je važno pravilno rasporediti zemljane mase i postići izjednačenje volumena usjeka i nasipa. Osnovni cilj izjednačenja masa je minimiziranje troškova iskopa, transporta i ugradnje materijala, kao i smanjenje zauzetosti okolnog zemljišta. Uz to treba voditi

računa i o drugim zahtjevima kao što su položaj trase, njezino uklapanje u okolni teren, izbor lokacija pozajmišta i odlagališta te zaštita okoliša, [2].

Kod izjednačavanja masa važno je procijeniti kakvoću i iskoristivost materijala iskopanih iz usjeka. Neki materijali neće biti prikladni za izgradnju nasipa, kao što su humus, treset ili vrlo vlažni materijali, kao i materijali koji sadrže prekomjerne količine organske tvari. Također je važno odrediti količine materijala koje su uvjetno uporabljive. Riječ je o materijalima koji su osjetljivi na promjene vlage i nepovoljne klimatske uvjete te se mogu ugrađivati samo u povoljnim vremenskim uvjetima uz poseban tretman, [2].

Izjednačenje masa izvodi se po dionicama, prethodno određenim na uzdužnom profilu. Izvodi se poprečno, uzdužno i kombinirano, [7] (Slika 8). Poprečno izjednačenje masa vrši se prvenstveno u profilu, gdje se materijal iz usjeka premješta u nasip. Ovo se radi kako bi se izbjegao višak materijala u usjeku ili nedostatak materijala u nasipu. Tablica za izračun mase koristi se za izračun viška ili manjka materijala na određenim mjestima, [2]. Nakon poprečnog izjednačenja masa slijedi uzdužno izjednačenje. To se postiže premještanjem materijala od usjeka do nasipa po osi prometnice, na različitim udaljenostima, ovisno o broju, rasporedu i veličini usjeka i nasipa. Cilj je postići ravnotežu materijala duž cijele trase i izbjeći višak ili nedostatak materijala na bilo kojem dijelu rute, [2]. Kombinirano izjednačenje masa uključuje dovoz dodatnih količina materijala iz pozajmišta ili proširenih usjeka kako bi se nadoknadili nedostaci materijala na određenim dijelovima trase. Također, višak materijala odvozi se na odlagališta, [2].



**Slika 8.** Poprečno i uzdužno izjednačenje

Izgradnja tunela i vijadukata može biti izuzetno zahtjevna i nepredvidiva. Inženjeri se ponekad suočavaju s problemima koji se ranije nisu mogli predvidjeti, što dovodi do kašnjenja u njihovoj izgradnji. Čekanje na završetak tunela ili vijadukta prije početka izvede zemljanih radova značajno bi povećalo ukupno vrijeme trajanja projekta. Kako bi se izbjegao takav zastoje, često se primjenjuje pristup izjednačenja masa. U takvim situacijama moguće je da se sav materijal iz tunela odlaže na odlagalište, dok se nasip uz tunel gradi materijalom iz pozajmišta. To je potrebno kako bi se omogućio napredak zemljanih radova i održao rok izgradnje predviđen projektom, [2].



Prilikom planiranja izgradnje ceste ili premošćivanja prirodnih prepreka kao što su rijeke, doline ili kanali, ključno je pravilno rasporediti usjeke, nasipe i velike objekte unutar trase. To je važno jer omogućuje svladavanje prepreka na terenu i osigurava sigurno putovanje, [2].

Prvi korak u planiranju je podjela trase na manje dijelove u uzdužnom profilu. Nakon što je trasa podijeljena, slijedi odabir odgovarajućih strojeva za prijevoz. Ovaj izbor temelji se na nekoliko čimbenika. Prvo se uzima u obzir količina materijala koja se transportira na određenoj dionici. Također se uzimaju u obzir prosječna duljina prijevoza, planirani rok završetka radova, organizacija radova, lokalni uvjeti i raspoloživa sredstva. Ovisno o tim čimbenicima moguće je odabrati različite strojeve i vozila za prijevoz materijala te u određenom vremenskom roku transportirati potrebnu količinu materijala. To mogu biti kamioni, skrejperi ili druga specijalizirana vozila, [2].

### **3.5. Linija masa i njezina obilježja**

Linija masa je grafički prikaz kojim se količine i raspored iskopa i nasipa na određenoj dionici trase prikazuju ispod uzdužnog profila. Definirana je međusobnim odnosom stacionaže prikazane na apscisi i kubaturom masa na ordinati, [7].

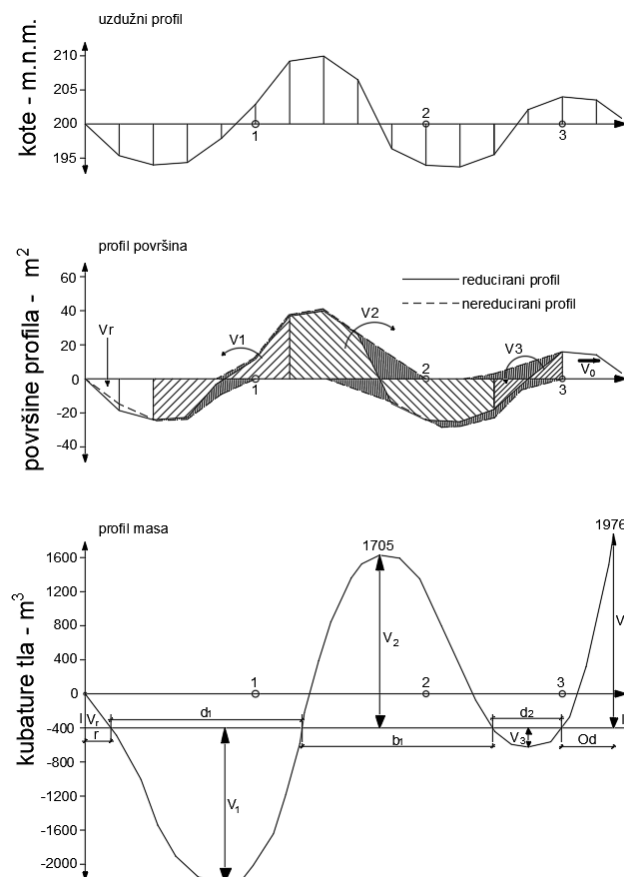
Poznavanje linije masa je bitno za pravilan raspored količine nasipa i iskopa. Tako se, npr., u zasjeku najprije provodi poprečno izjednačenje masa njihovim poprečnim prevoženjem, a preostale se količine materijala prevoze i raspoređuju uzdužno u nasip njihovim uzdužnim prevoženjem ili se s gradilišta odvoze u odlagalište. Također, važno je uzeti u obzir i duljinu transporta tijekom uzdužnog izjednačenja. Ponekad će materijal s pozajmišta biti jeftiniji ukoliko je bliži od mjesta iskopa, [2].

Za proračun kubature materijala dobivenog iz usjeka, prije ugradnje u nasip potrebno je napraviti redukciju pomoću koeficijenta stalne rastresitosti  $K_{os}$ . Redukciju je moguće napraviti već na samom poprečnom profilu, a na temelju reduciranog profila površine, količine koje nisu potrebne za ugradnju u nasip odvoze se na odlagalište, [7] (Slika 9).

Obilježja linije masa su [2]:

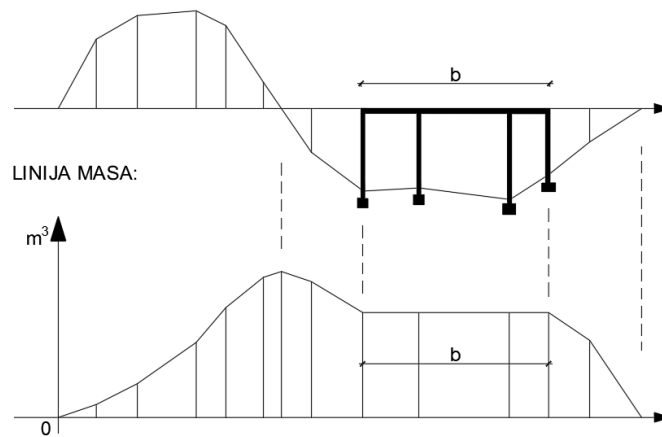
- 1) Svaka ordinata na liniji masa predstavlja ukupnu količinu materijala od početka trase do odgovarajućeg presjeka. Ovi podaci omogućuju točno mjerenje i procjenu količine materijala na određenom području.
- 2) Dio linije masa koji raste s lijeva na desno predstavlja količine iskopa. To znači da se na grafikonu može jasno vidjeti koliko materijala treba iskopati prilikom izrade usjeka.
- 3) Dio linije masa koji pada s lijeva na desno predstavlja količine nasipa. Ove informacije pomažu u određivanju količine materijala potrebnog za nasipavanje određenog područja.
- 4) Najviše točke na jednom valu linije masa su mjesta gdje usjeci prelaze u nasipe (Slika 12).
- 5) Najniže točke na jednom valu linije masa su mjesta gdje nasipi prelaze u usjeke (Slika 12).

- 6) Veličina nagiba linije masa označava količinu masa u tom presjeku.
- 7) Infleksijska točka linije masa usjeka je mjesto gdje je u tom usjeku najveći profil usjeka, tj. iskop usjeka, a na liniji nasipa mjesto gdje je najveći poprečni profil, tj. najveći nasip.
- 8) Ako su razmaci između profila manji, linija masa se od poligonalnog oblika približava zakrivljenoj liniji.
- 9) Konstantan nagib linije mase ukazuje na jednake količine materijala u svim poprečnim profilima. Ova vrsta masovne linije se često koristi kada se kopaju tuneli.
- 10) Na mjestima gdje nema rasta mase linija mase je horizontalna. Ovo se odnosi na građevine kao što su mostovi i vijadukti (Slika 10).
- 11) Vertikalni razmak između dvije točke linije masa predstavlja volumen masa između profila u tim točkama (Slika 11).
- 12) Visinska razlika između najviše i najniže točke na valu linije masa predstavlja ukupnu količinu tog nasipa ili usjeka.
- 13) Svaki usjek u liniji mase predstavljen je polovicom dijela vala koji se diže, a nasip s polovicom koja pada.
- 14) Svaka vodoravna linija koja siječe jedan val odsijeca iste količine iskopa i nasipa (Slika 13).



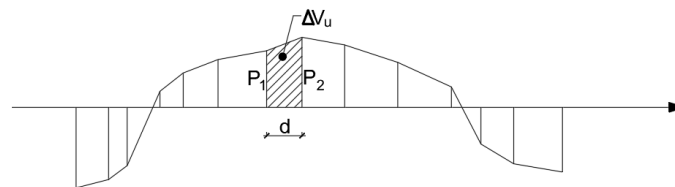
**Slika 9.** Uzdužni profil, profil nereduciranih i reduciranih površina i profil masa

UZDUŽNI PROFIL:

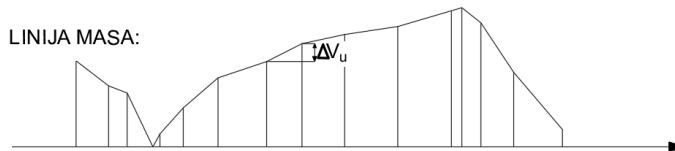


Slika 10. Linija masa - vijadukt

UZDUŽNI PROFIL:

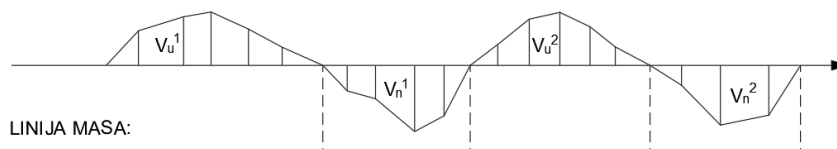


LINIJA MASA:

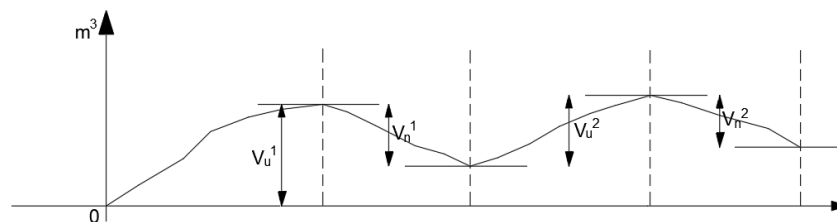


Slika 11. Linija masa - visinska razlika pojedinih profila

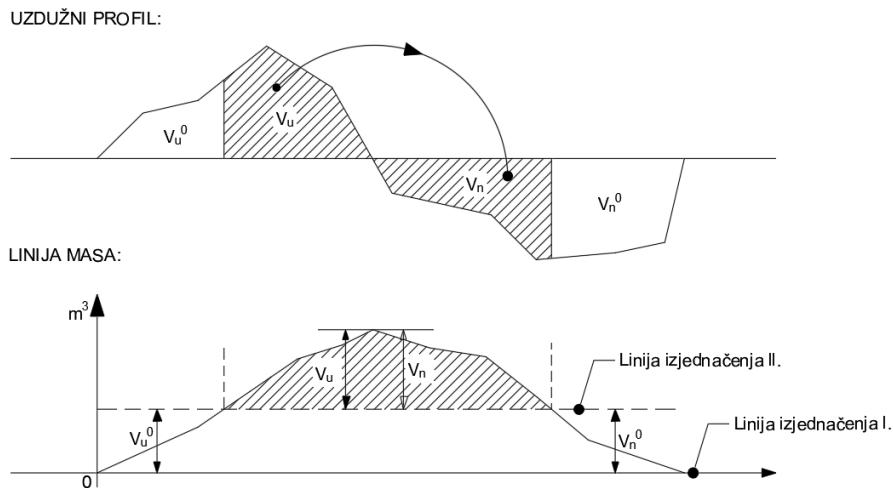
UZDUŽNI PROFIL:



LINIJA MASA:



Slika 12. Linija masa - određivanje kubature usjeka i nasipa

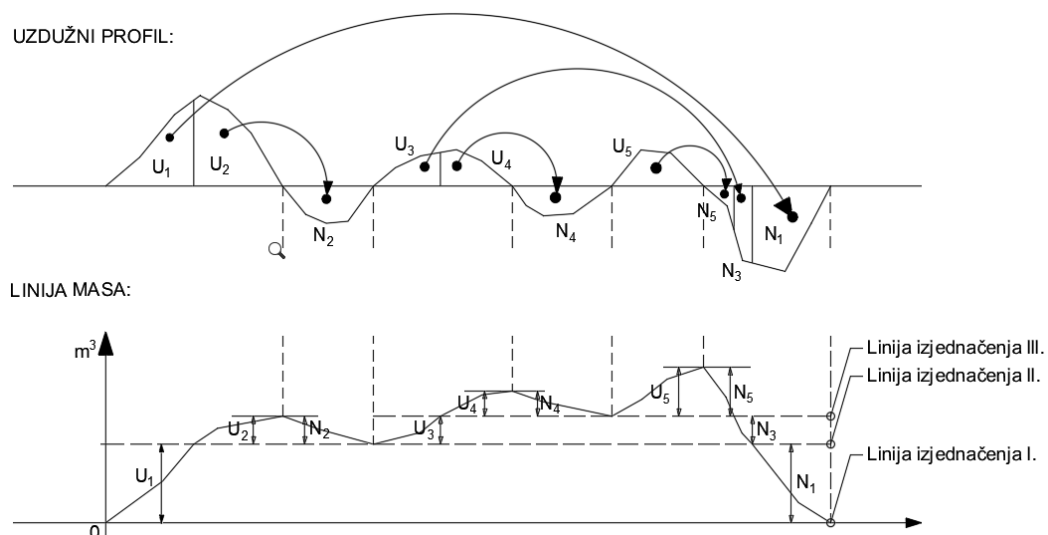


Slika 13. Linija masa - potpuno izjednačenje masa

### 3.6. Linija izjednačenja

Da bi se postiglo izjednačenje masa, mora se odrediti linija izjednačenja koja označava granicu za transport iskopanog materijala iz određenog usjeka u određeni nasip (Slika 14). Ista se određuje grafički na liniji masa, [7].

Prvo se određuje osnovna linija od koje će početi izjednačenje masa. Zatim se postavljaju linije izjednačenja drugog, trećeg i višeg reda. To će omogućiti ravnomjernu raspodjelu materijala na terenu i smanjiti troškove prijevoza materijala. Linija masa koja završava iznad osnovne linije predstavlja višak materijala kojeg je potrebno odvesti na odlagalište, a linija masa koja završava ispod osnovne linije predstavlja manjak materijala te je tu razliku potrebno dovesti iz pozajmišta, [2].



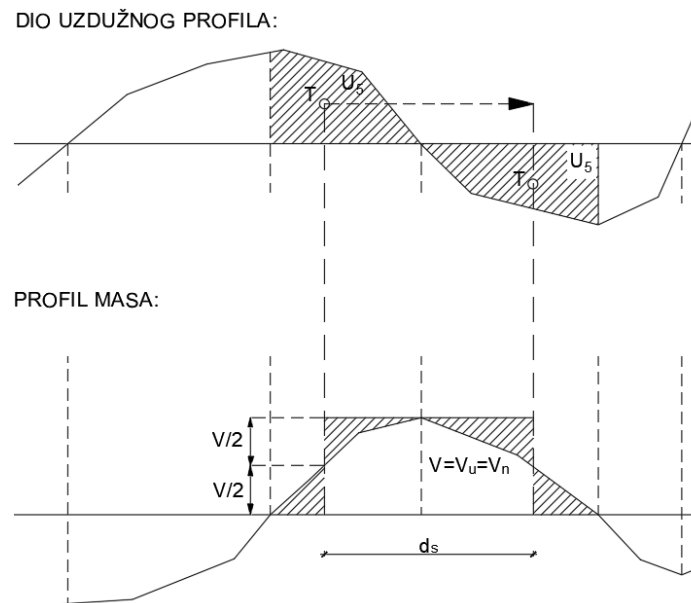
Slika 14. Linije izjednačenja

Liniju izjednačenja potrebno je pažljivo odrediti, uzimajući u obzir različite čimbenike kao što su vrsta opreme koja se koristi za transport materijala i teren na kojem se gradi. Ako se radi sa skrejperima koji su najučinkovitiji na kraćim transportnim udaljenostima, linija izjednačenja bit će postavljena tako da siječe valove linije mase oko sredine. Na taj način se smanjuju udaljenosti prijevoza, što olakšava transport materijala i smanjuje ukupne troškove transporta, [2].

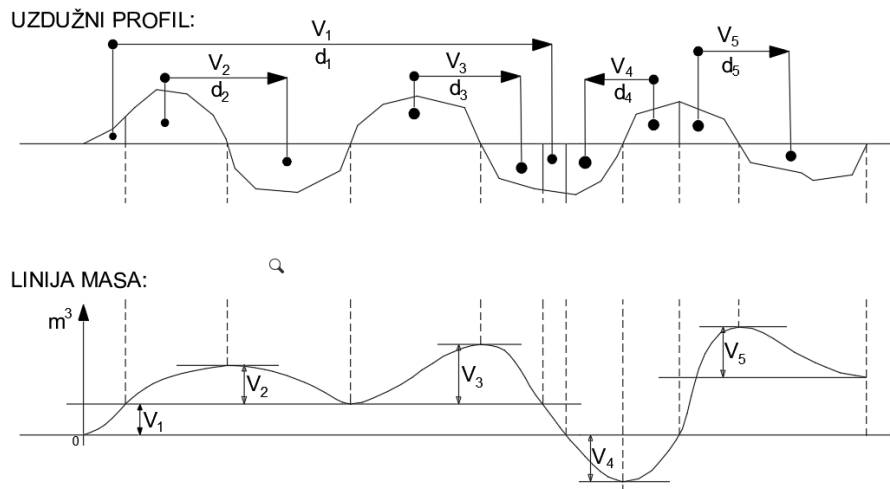
### 3.7. Prijevoz masa

Pomoću linije mase moguće je odrediti dio puta na kojem je potrebno obaviti prijevoz odabranim vozilima. Ta duljina se naziva srednjom duljinom prijevoza, [2].

Srednja duljina prijevoza ( $d_s$ ) predstavlja prosječnu udaljenost od težišta usjeka do njemu odgovarajućeg težišta nasipa (Slika 15). Da bi se izračunala srednja duljina prijevoza ( $d_s$ ) ili udaljenost istovara iskopanog materijala na promatranom području, potrebno je zbrojiti umnoške parcijalnih masa s njihovim odgovarajućim razvoznim udaljenostima, a zatim taj rezultat podijeliti s ukupnim volumenom materijala (Slika 15, formula (4)). Parcijalne mase ( $V_i$ ) predstavljaju količinu materijala koja se prevozi na određenoj dionici, dok parcijalne razvojne duljine ( $d_i$ ) predstavljaju udaljenost koju materijal mora prijeći, [2].



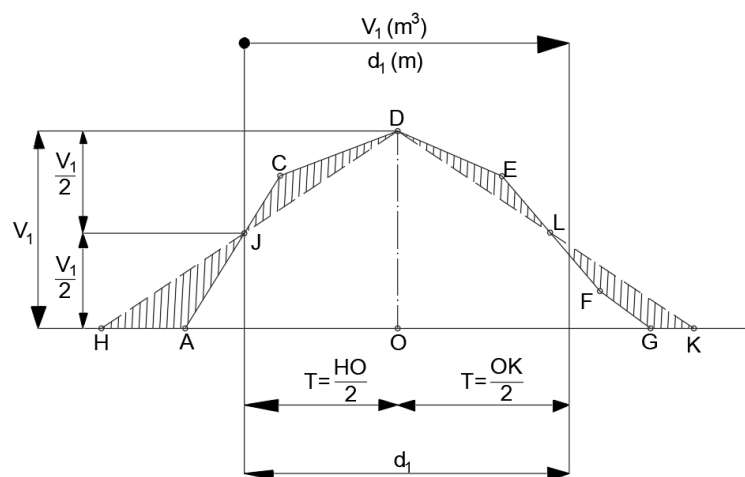
Slika 15. Određivanje srednje duljine prijevoza materijala



Slika 16. Određivanje srednje duljine prijevoza materijala

$$d_s = \frac{V_1 \cdot d_1 + V_2 \cdot d_2 + \dots + V_n \cdot d_n}{\sum_i^n V_i} \quad (4)$$

Linija masa ima ključnu ulogu u planiranju optimalnog prijevoza materijala. Omogućuje prijevoz masa na odgovarajućim razvoznim udaljenostima, što je bitno za efikasno korištenje vozila. U praksi, koristi se grafički pristup za određivanje razvoznih udaljenosti za različite točke na liniji mase. Linija mase se pretvara u oblik trokuta s vrhom koji se postavlja na vrh ili dno vala, odnosno na liniju izjednačenja (Slika 17). Na taj način omogućava se precizno planiranje i optimizacija transporta materijala uz smanjenje troškova i povećanje učinkovitosti, [2].



Slika 17. Grafičko određivanje razvozne udaljenosti

Kada se val linije masa pretvori u trokut, površine formirane na trokutu, kao što je HAJ i JDC, trebaju biti približno jednake površini DEL i LFGK. Težište linije mase u usjeku nalazi se na polovici duljine baze trokuta, označene s HO. Kod nasipa težište se nalazi na nasipu duljine OK. Ukupna

razvozna duljina, koja je potrebna za transport materijala od usjeka do nasipa, može se izračunati zbrajanjem duljine usjeka ( $d_u$ ) i duljine nasipa ( $d_n$ ) koja iznosi  $d_1 = d_u + d_n$ , [2].

Stoga je linija masa iznimno važan alat u planiranju transporta materijala, jer omogućuje precizno određivanje masa koje pripadaju određenoj duljini isporuke. Grafički proračun duljine prijevoza pretvaranjem linije mase u trokut daje korisne informacije o rasporedu zemljanih materijala i težištima usjeka i nasipa, čime se postiže optimalno korištenje voznog parka, [2].

## 4. Primjer proračuna i izjednačenja masa

Postupak proračuna i izjednačenja masa prikazan je na primjeru cestovne prometnice projektirane u računalnom programu AutoCAD u sklopu izrade programskog zadatka iz kolegija Ceste.

### 4.1. Analizirana cestovna prometnica

Predmetna cestovna prometnica projektirana je između početne točke A, koja se nalazila na nadmorskoj visini  $H = 180.00$  m n.m., i krajnje točke B, koja se nalazila na nadmorskoj visini  $H = 197.50$  m n.m. Točke A i B nalazile su se na suprotnim padinama. Prilikom projektiranja korištena su projektna pravila definirana Pravilnikom o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa. [12]

Navedena prometnica je cesta 4. razreda, teren je brdovit (znatna ograničenja u projektiranju), tlo je iskopne kategorije A, a kolnička konstrukcija od miješanog asfaltnog makadama. Projektna brzina je iznosila  $V_p = 50$  km/h, a najveći dopušteni uzdužni nagib nivelete  $s_{max} = 10\%$ . Cesta se u tlocrtnom smislu sastojala od ulaznog pravca, četiri protusmjerne krivine te izlaznog pravca. U uzdužnom smislu, niveleta ceste sadržavala je dvije konveksne vertikalne krivine. Ukupna širina krune ceste iznosila je 840 cm. Nagibi pokosa usjeka iznosili su 2:1, a nagibi pokosa nasipa 1:1,5. Horizontalni tok trase prikazan je u grafičkom Prilogu 1. Situacija, a vertikalni tok trase u grafičkom Prilogu 2. Uzdužni profil. Elementi poprečnog presjeka prikazani su u grafičkom Prilogu 3. Normalni poprečni profil.

### 4.2. Proračun i izjednačenje masa

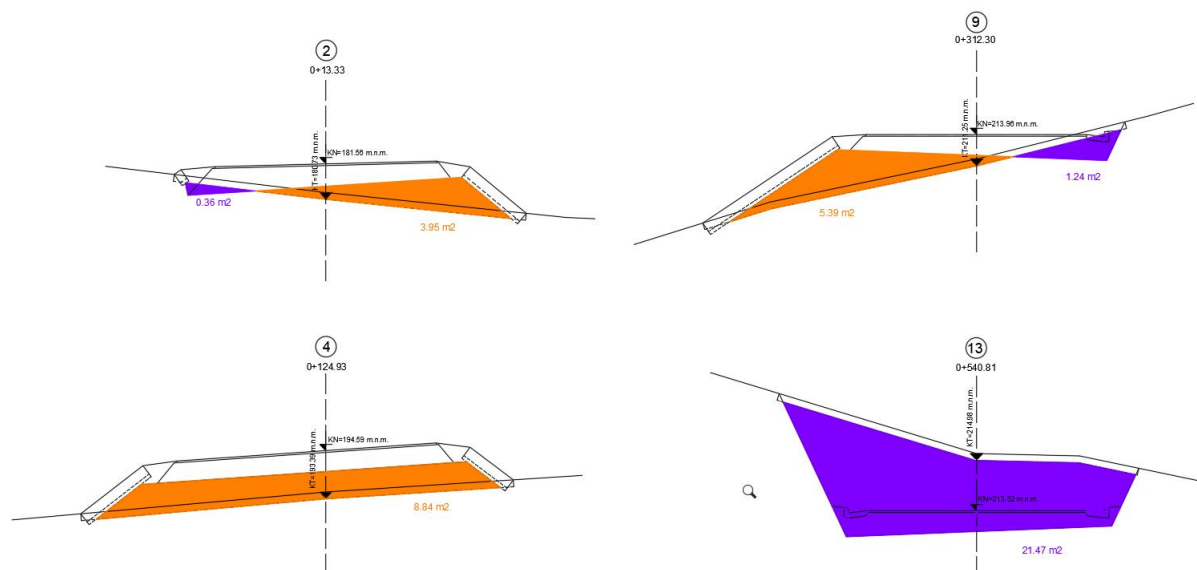
Za potrebe provedbe proračuna zemljanih masa, u sklopu izrade ovog završnog rada u računalnom programu AutoCAD izrađeno je ukupno 17 karakterističnih poprečnih presjeka koji su se nalazili na početku i na kraju trase (točke A i B) te na mjestima glavnih točaka horizontalnih krivina (PPK, PK, KK, KPK) (Tablica 3). Lokacije navedenih poprečnih presjeka prikazane su u grafičkom Prilogu 1. Situacija te grafičkom Prilogu 2. Uzdužni profil.

Nakon što su karakteristični poprečni presjeci nacrtani sa svim potrebnim detaljima (skidanje sloja rastrošenog materijala s površine terena, kolnička konstrukcija, zaštita pokosa, rješenja odvodnje), površine iskopa i nasipa omeđene su zatvorenim polilinjama pomoću AutoCAD naredbe „Polyline“. Vrijednosti navedenih površina unutar polilinja, iskazane u  $\text{cm}^2$ , očitane su u izborniku „Properties“ te potom ručno preračunate u  $\text{m}^2$  (Tablica 3). Na Slici 18 prikazane su površine iskopa (označene ljubičastom bojom) i površine nasipa (označene narančastom bojom) na primjeru četiri karakteristična poprečna presjeka, od kojih su dva u zasjeku, jedan u nasipu te jedan u usjeku. Svi analizirani karakteristični poprečni presjeci s označenim površinama iskopa i nasipa prikazani su u grafičkim Prilozima 4.1., 4.2., 4.3., 4.4. i 4.5.



**Tablica 3.** Podaci o karakterističnim poprečnim presjecima

Broj profila	Lokacija	Stacionaža [m]	Površina nasipa [m <sup>2</sup> ]	Površina iskopa [m <sup>2</sup> ]
1	A	0+000,00	0,25	3,04
2	PPK1	0+013,33	3,95	0,36
3	PK1	0+073,33	6,27	0,00
4	KK1	0+124,93	8,84	0,00
5	KPK1	0+184,93	2,85	0,03
6	PPK2	0+189,11	0,60	0,26
7	PK2	0+224,11	0,00	14,15
8	KK2	0+227,08	6,13	5,79
9	KPK2/PPK3	0+312,30	5,39	1,24
10	PK3	0+372,49	3,41	2,28
11	KK3	0+475,15	0,00	23,45
12	KPK3	0+535,12	0,00	17,38
13	PPK1	0+540,81	0,00	21,47
14	PK1	0+590,79	0,00	44,58
15	KK1	0+611,75	0,00	44,26
16	KPK1	0+661,75	0,00	16,00
17	B	0+744,38	5,08	6,61



**Slika 18.** Primjeri karakterističnih poprečnih presjeka s označenim površinama iskopa i nasipa: a) zasjek (KPP 2, KPP 9), b) nasip (KPP 4), c) usjek (KPP 13)

U sljedećem koraku u računalnom programu Excel izrađena je tablica masa (Tablica 4). Prilikom izrade tablice masa, korišten je koeficijent stalne rastresitosti u iznosu  $K_{os} = 1,08$ . Svi do sada određeni parametri karakterističnih poprečnih presjeka upisani su u prva tri stupca tablice masa: stacionaža (stupac 1), površine nasipa (stupac 2), površine iskopa (stupac 3).

Za izračun srednje površine nasipa (stupac 4) i srednje površine usjeka (stupac 5) te volumena nasipa (stupac 7) i volumena usjeka (stupac 8) između dva susjedna profila korištena je Winklerova formula (pogledati formulu (3) iz poglavlja 3.3. ovog rada). Kubature nasipa (stupac 7) odnosno iskopa (stupac

8) dobivene su na način da su se prethodno izračunate srednje površine nasipa (stupac 4) i srednje površine iskopa (stupac 5) između dvaju profila množile s udaljenošću između tih profila (stupac 6).

Povećani iskop (stupac 9) određen je na način da su se kubature iskopa (stupac 8) pomnožile sa stalnim koeficijentom rastresitosti  $K_{os} = 1,08$ . Vrijednosti manjka u nasipu (stupac 10) i viška u iskopu (stupac 11) dobivene su na način da se od povećanog iskopa (stupac 9) oduzima volumen nasipa (stupac 7). Sukladno navedenom, pozitivni rezultati zabilježeni su kao višak u iskopu (stupac 11), a negativni kao manjak u nasipu (stupac 10).

Ordinata linije masa (stupac 12) na početnoj stacionaži 0+000,00 ima vrijednost nula. Sve ostale vrijednosti ordinate linije masa dobivene su na način da su se od svake prethodno dobivene vrijednosti iz tog stupca oduzimale vrijednosti manjka u nasipu (stupac 10) odnosno dodavale vrijednosti viška u iskopu (stupac 11). Krajnja vrijednost ordinate linije masa u iznosu od 7 313,260 m<sup>3</sup> predstavlja višak zemljanog materijala kojeg je potrebno odvesti na deponij.

Tablica masa je dana i u Prilogu 5. Tablica masa.

**Tablica 4.** Tablica masa

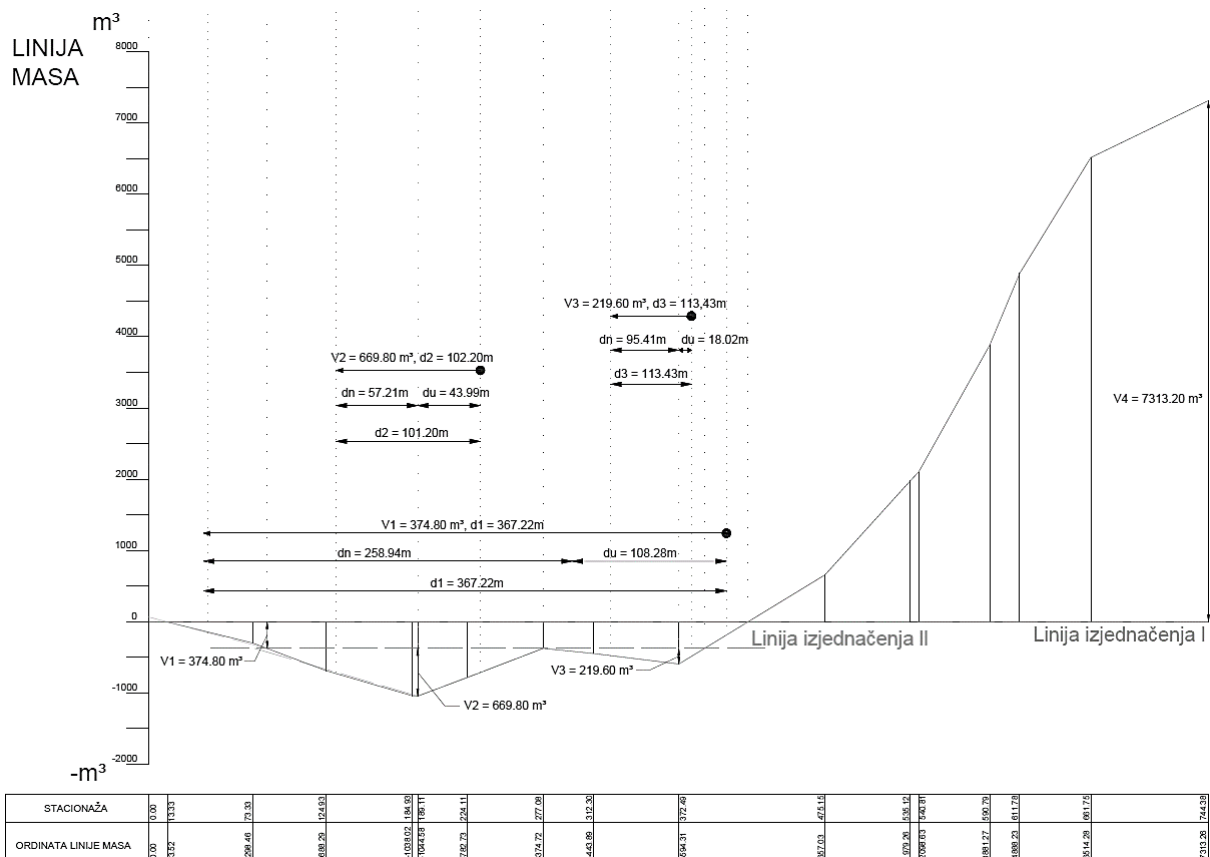
Broj profila	Stacionaža [m]	Površina [m <sup>2</sup> ]		Srednja površina [m <sup>2</sup> ]		Razmak profila [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]		Povećani iskop [m <sup>3</sup> ]	Manjak u nasipu [m <sup>3</sup> ]	Višak u iskopu [m <sup>3</sup> ]	Ordinata linije masa [m <sup>3</sup> ]
		Nasip	Iskop	Nasip	Iskop		Nasip	Iskop				
X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.00	0.250	3.040									0.000
2	13.33	3.950	0.360	2.100	1.700	13.330	27.993	22.661	24.474	3.519	0.000	-3.519
3	73.33	6.270	0.000	5.110	0.180	60.000	306.600	10.800	11.664	294.936	0.000	-298.455
4	124.93	8.840	0.000	7.555	0.000	51.600	389.838	0.000	0.000	389.838	0.000	-688.293
5	184.93	2.850	0.030	5.845	0.015	60.000	350.700	0.900	0.972	349.728	0.000	-1038.021
6	189.11	0.600	0.260	1.725	0.145	4.180	7.211	0.606	0.655	6.556	0.000	-1044.577
7	224.11	0.000	14.150	0.300	7.205	35.000	10.500	252.175	272.349	0.000	261.849	-782.728
8	277.08	6.130	5.790	3.065	9.970	52.970	162.353	528.111	570.360	0.000	408.007	-374.721
9	312.30	5.390	1.240	5.760	3.515	35.220	202.867	123.798	133.702	69.165	0.000	-443.886
10	372.49	3.410	2.280	4.400	1.760	60.190	264.836	105.934	114.409	150.427	0.000	-594.313
11	475.15	0.000	23.450	1.705	12.865	102.660	175.035	1320.721	1426.379	0.000	1251.343	657.030
12	535.12	0.000	17.380	0.000	20.415	59.970	0.000	1224.288	1322.231	0.000	1322.231	1979.261
13	540.81	0.000	21.470	0.000	19.425	5.690	0.000	110.528	119.371	0.000	119.371	2098.631
14	590.79	0.000	44.580	0.000	33.025	49.980	0.000	1650.590	1782.637	0.000	1782.637	3881.268
15	611.78	0.000	44.260	0.000	44.420	20.990	0.000	932.376	1006.966	0.000	1006.966	4888.234
16	661.75	0.000	16.000	0.000	30.130	49.970	0.000	1505.596	1626.044	0.000	1626.044	6514.277
17	744.38	5.080	6.610	2.540	11.305	82.630	209.880	934.132	1008.863	0.000	798.983	7313.260

Na temelju proračuna masa provedenog u tablici masa, u računalnom programu AutoCAD ispod pojednostavljenog uzdužnog profila prometnice izrađena je linija masa. Na osi apscisa linije masa prikazane stacionaže poprečnih profila (stupac 1 tablice masa), a na osi ordinata pripadajuće ordinate linije masa (stupac 12 tablice masa) (Slika 19). Negativne vrijednosti ordinata linija masa crtane su prema dolje, a pozitivne prema gore.

Nakon izrade linije masa, s ciljem izjednačenja istih, postavljene su dvije linije izjednačenja (Slika 19). Linijom izjednačenja „I“, postavljenoj na mjestu osi apscisa, izjednačen je volumen  $V_1 = 374,80 \text{ m}^3$ , a linijom izjednačenja „II“, postavljenoj ispod osi apscisa, volumeni  $V_2 = 669,80 \text{ m}^3$  i  $V_3 = 219,60 \text{ m}^3$ . U konačnici, volumen  $V_4 = 7313,20 \text{ m}^3$  iznad linije izjednačenja „I“ nije se imao s čime izjednačiti i time predstavlja višak materijala iz iskopa kojeg je potrebno odvesti na deponij.

Razvozne udaljenosti izjednačenih masa ( $V_1, V_2, V_3$ ) određene su grafički, aproksimacijom valova linije masa trokutima (pogledati Sliku 17 iz poglavlja 3.7. ovog rada). Razvozna udaljenost za volumen  $V_1$  iznosila je  $d_1 = 367,22 \text{ m}$ , za volumen  $V_2$   $d_2 = 102,20 \text{ m}$ , a za volumen  $V_3$   $d_3 = 113,43 \text{ m}$ . Srednja razvozna udaljenost iznosila je  $d_s = 182,72 \text{ m}$ , a ista je izračunata na sljedeći način (pogledati formulu (4) iz poglavlja 3.7. ovog rada):

$$d_s = \frac{V_1 \cdot d_1 + V_2 \cdot d_2 + V_3 \cdot d_3}{V_1 + V_2 + V_3} = \frac{230\,996,8}{1\,264,2} = 182,72 \text{ m}$$



Slika 19. Linija masa

## 5. Zaključak

Ovaj rad je naglasio važnost proračuna i izjednačenja zemljanih masa prilikom izgradnje donjeg ustroja cestovne prometnice, posebno u regijama koje su izložene velikom prometnom opterećenju, ekstremnim vremenskim uvjetima i zahtjevnom terenu. Može se zaključiti da zemljani radovi predstavljaju značajnu stavku u troškovniku prilikom projektiranja cestovne prometnice te da se na količinu istih može utjecati već u ranim fazama izrade projekta.

Nadalje, detaljno su opisani svi koraci postupka proračuna i izjednačenja zemljanih masa u cestogradnji, iz čega se može zaključiti da je balans masa izrazito odgovoran i kompleksan proces koji, ukoliko se ne provede pravilno, sa sobom može donijeti značajne financijske posljedice. Sam postupak proračuna i izjednačenja masa prikazan je i na primjeru cestovne prometnice projektirane u računalnom programu AutoCAD u sklopu izrade programskog zadatka iz kolegija Ceste. U tu svrhu izrađeno je 17 karakterističnih poprečnih presjeka temeljem kojih su izrađene tablica i linija masa. U konačnici, provedeno je izjednačenje masa te su za iste određene razvozne udaljenosti. Sve navedeno razrađeno je kroz šest grafičkih priloga.

Po završetku izrade rada može se zaključiti da prethodno istraživanje i analiziranje terena uvelike pomaže pri izboru poprečnog presjeka, a samim time utječe i na smanjenje troškova i vremena koje je potrebno za izgradnju cestovne prometnice. Na konkretnom primjeru proračuna i izjednačenja masa može se uočiti da se na predmetnoj cestovnoj prometnici materijal iz iskopa nije u potpunosti izjednačio s materijalom iz nasipa te da postoji višak materijala kojeg je potrebno odvesti na deponij. Obzirom na navedeno, bilo bi uputno izraditi više varijantnih rješenja te odabrati ono koje rezultira najmanjim troškovima zemljanih radova.

## Literatura

- [1] Korlaet, Željko; Dragčević, Vesna. Projektiranje i građenje cesta, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, 2018.
- [2] Dragčević, V., Rukavina, T. : *Donji ustroj prometnica*, Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2006.
- [3] Donji ustroj ceste, <https://www.prometna-zona.com/donji-ustroj-ceste/>
- [4] Slunjski, E., Strojevi u građevinarstvu, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1995.
- [5] Chapman, D., Metje, N., Stark, A. : *Introduction to Tunnel Construction*; Applied Geotechnics, Volume 3, 2010
- [6] Roje - Bonacci, T. 2005 *POTPORNE GRAĐEVINE I GRAĐEVNE JAME*
- [7] Roje – Bonacci, T. : Zemljani radovi, 2012., <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:942081>
- [8] Kujundžić, T., 2015. Nastavni tekst za predavanja iz predmeta: Rudarski i Geotehnički strojevi, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet
- [9] Brandl, H. : Zbijanje tla i drugih zrnatih materijala za građevine, *GRAĐEVINAR*, 54 (2002) 9, 513-527, UDK 624.131.52.001.3
- [10] Pravilnik o osnovnim uvjetima kojima javne ceste izvan naselja i njihovi elementi moraju udovoljavati sa stajališta sigurnosti prometa, NN 110/01

## **Popis slika**

*Slika 1.* Duboki usjek

*Slika 2.* Tunel

*Slika 3.* Nasip

*Slika 4.* Vijadukt

*Slika 5.* Zasje s potpornim zidom i padinski vijadukt

*Slika 6.* Dijelovi poprečnog profila nasipa i usjeka koji se planimetriraju

*Slika 7.* Određivanje kubature između dva poprečna profila

*Slika 8.* Poprečno i uzdužno izjednačenje

*Slika 9.* Uzdužni profil, profil nereduciranih i reduciranih površina i profil masa

*Slika 10.* Linija masa - vijadukt

*Slika 11.* Linija masa - visinska razlika pojedinih profila

*Slika 12.* Linija masa - određivanje kubature usjeka i nasipa

*Slika 13.* Linija masa - potpuno izjednačenje masa

*Slika 14.* Linije izjednačenja

*Slika 15.* Određivanje srednje duljine prijevoza materijala

*Slika 16.* Određivanje srednje duljine prijevoza materijala

*Slika 17.* Grafičko određivanje razvozne udaljenosti

*Slika 18.* Primjeri karakterističnih poprečnih presjeka s označenim površinama iskopa i nasipa: a) zasjek (KPP 2, KPP 9), b) nasip (KPP 4), c) usjek (KPP 13)

*Slika 19.* Linija masa

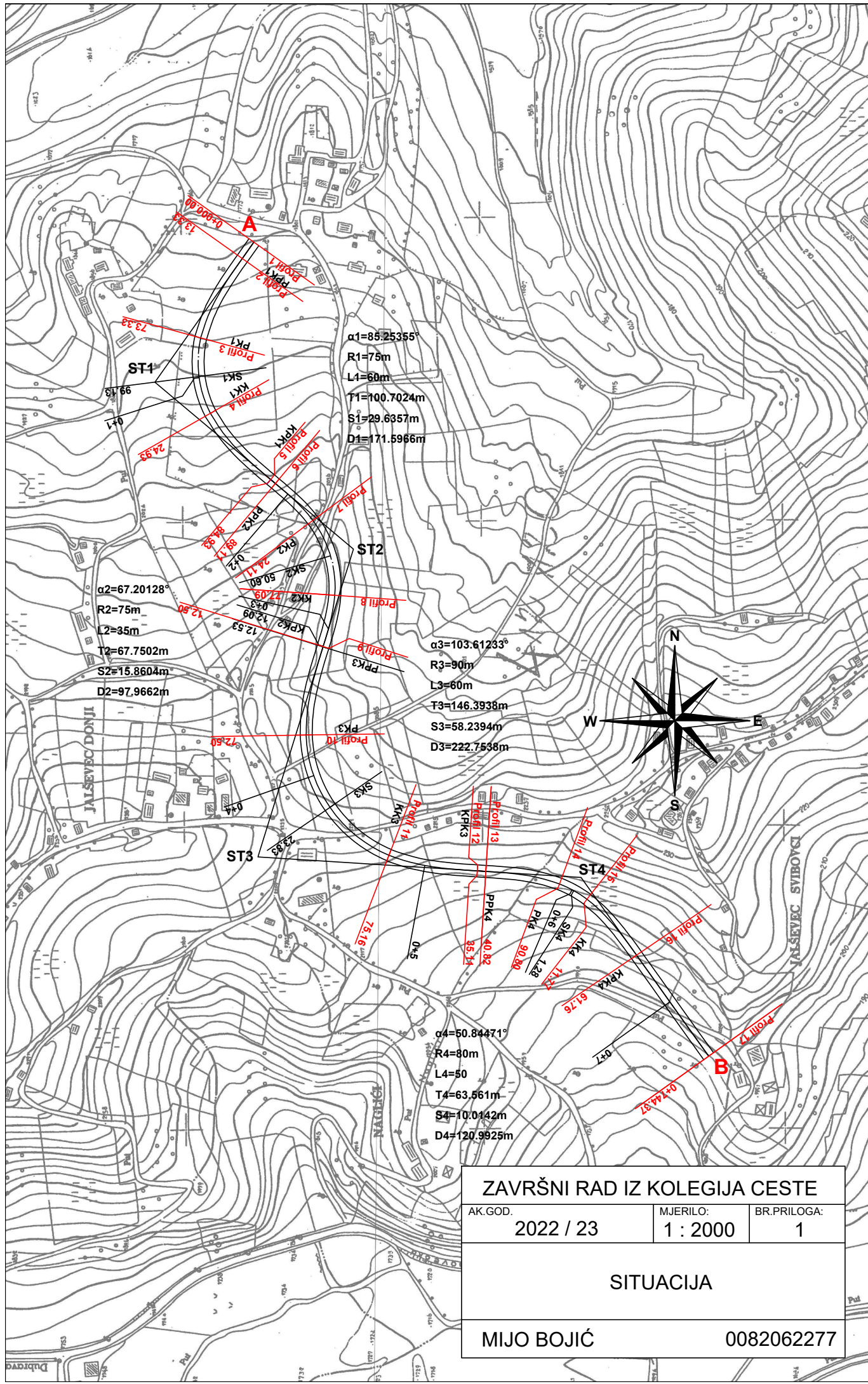
## **Popis tablica**

*Tablica 1.* Koeficijenti početne i stalne rastresitosti za različite vrste materijala [7]

*Tablica 2.* Primjer tablice masa

*Tablica 3.* Podaci o karakterističnim poprečnim presjecima

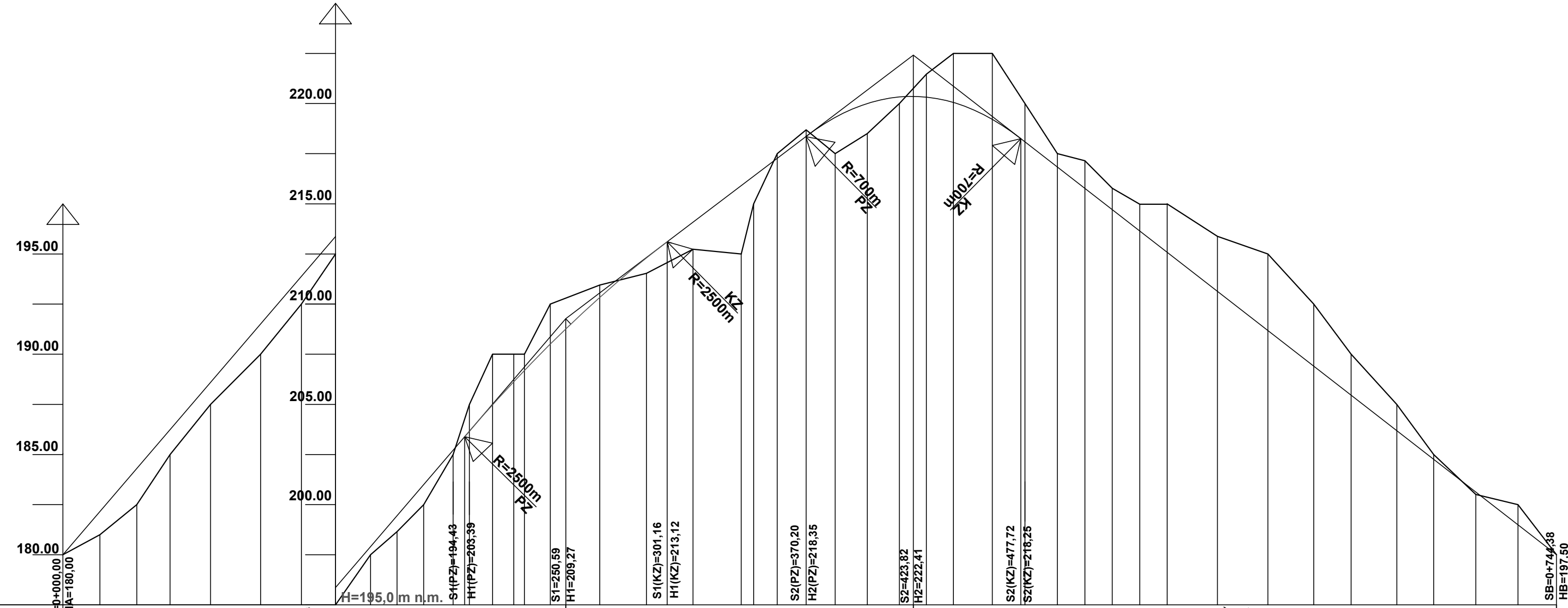
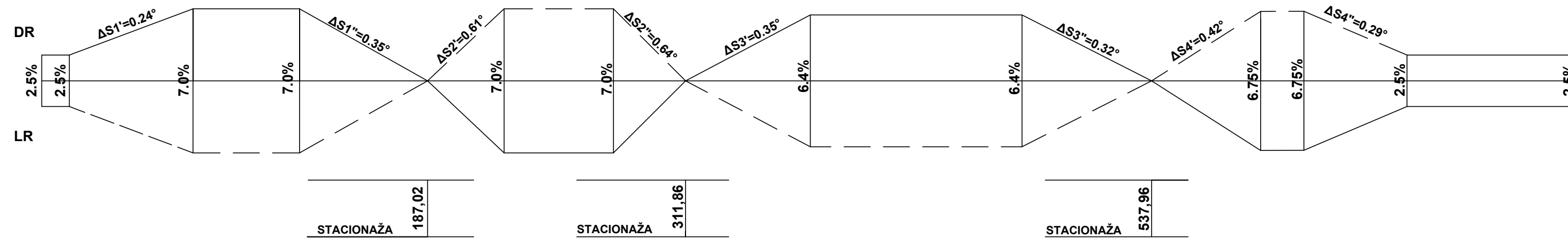
*Tablica 4.* Tablica masa



<b>ZAVRŠNI RAD IZ KOLEGIJA CESTE</b>		
AK.GOD.	MJERILO:	BR.PRILOGA:
2022 / 23	1 : 2000	1
<b>SITUACIJA</b>		
<b>MIJO BOJIĆ</b>		<b>0082062277</b>



SHEMA VITOPERENJA



H=177,5 m n.m.

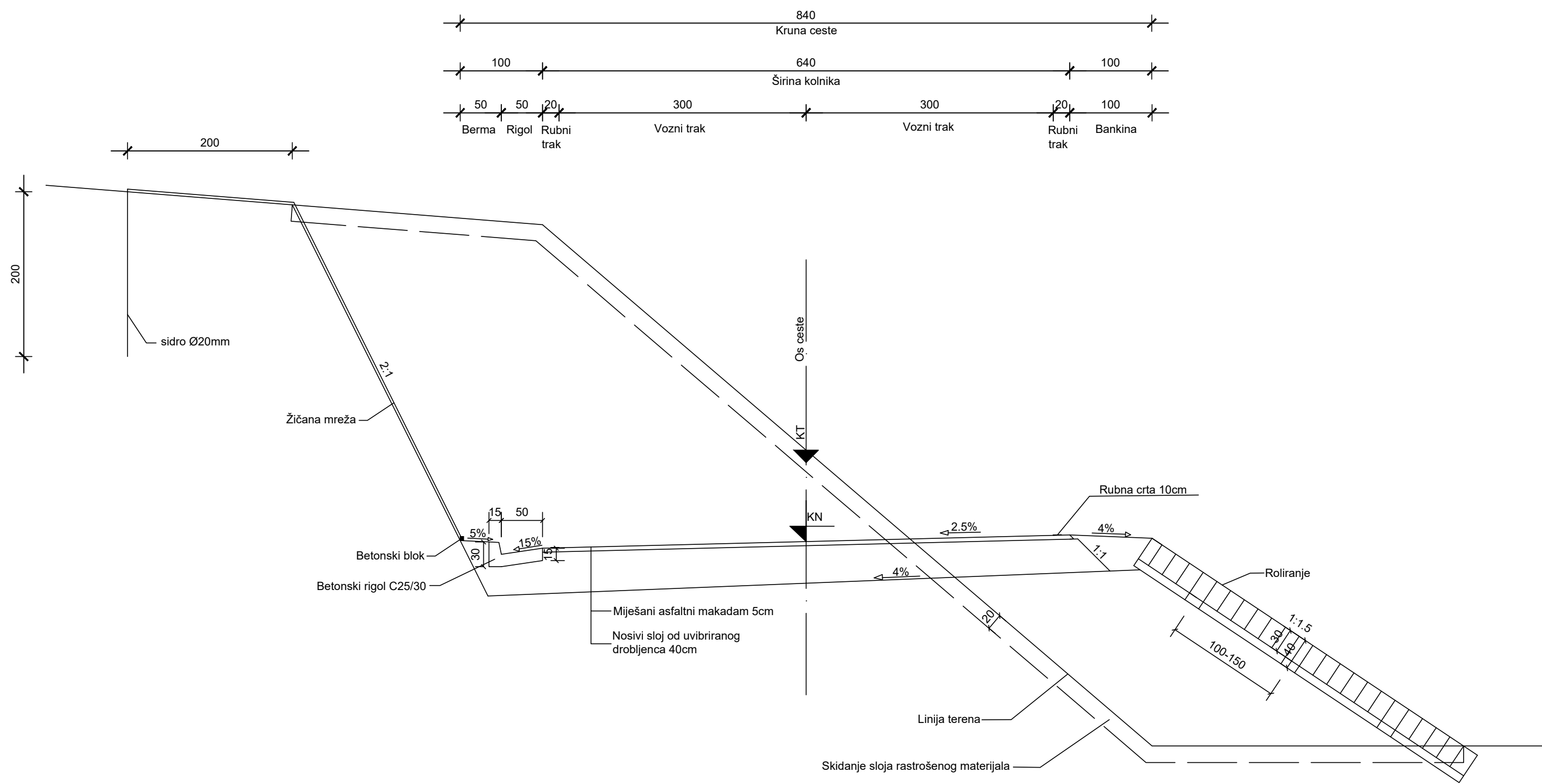
NAGIB NIVELETE	11.6% 250,97m				R=2500; T=58.84; S=0,37					7.5% 173,23m			R=700; T=67.29; S=2,06					7.7% 320,56m																																																																																									
KOTA NIVELETE	180.00	181.56	188.57	194.59	201.60	202.10	206.40	208.90	211.20	213.96	218.52	220.35	218.43	213.77	213.32	209.44	207.81	203.92	197.50																																																																																								
OZNAKE PROFILA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																																																																																										
KOTE TERENA	180.00	180.73	181.04	182.50	185.00	187.50	187.50	190.00	192.50	193.39	193.39	195.00	197.50	199.50	200.00	200.68	201.50	202.50	205.00	207.50	210.00	212.50	215.00	217.50	218.69	218.52	217.50	215.00	220.00	221.47	222.50	222.50	220.67	220.00	217.50	217.15	215.78	215.17	215.17	214.98	215.07	215.00	213.38	212.84	212.50	212.50	211.25	211.25	210.00	207.50	205.34	205.00	202.50	200.51	200.00	197.50																																																			
STACIONAŽA	0.00	13.33	18.40	36.81	53.42	73.33	73.55	98.51	118.87	192.50	124.93	193.39	135.85	153.31	166.55	179.78	184.93	189.11	194.43	202.63	205.00	214.13	207.50	224.11	207.50	224.68	207.50	230.02	207.50	242.88	210.00	267.53	210.95	277.08	211.20	290.84	211.53	309.08	209.52	312.30	211.25	314.03	212.74	338.08	212.50	344.21	215.00	356.03	217.50	369.49	218.69	372.49	218.52	384.87	217.50	400.88	218.50	416.89	220.00	430.37	221.47	443.85	222.50	463.19	222.50	475.15	220.67	479.51	220.00	495.65	217.50	509.36	217.15	523.01	215.78	535.12	215.17	536.88	214.98	540.81	215.07	550.32	215.00	575.41	213.38	590.79	212.84	600.56	212.50	611.78	211.25	623.43	210.00	642.08	207.50	661.75	205.34	664.81	205.00	683.18	202.50	704.20	200.51	725.22	200.00	744.58	197.50
TLOCRTNI ELEMENTI	p1=13.33m		α1=85.25° R1=75m L1=60m T1=100.70m S1=29.64m D1=171.60m		p2=4.18m		α2=67.20° R2=75.00m L2=35.00m T2=67.75m S2=15.86m D2=97.96m		p3=0.44m		α3=103.61° R3=90.00m L3=60.00m T3=146.39m S3=58.23m D3=222.75m		p4=5.69m		α4=50.84° R4=80.00m L4=50.00m T4=63.56m S4=10.01m D4=120.99m		p5=82.61m																																																																																										

ZAVRŠNI RAD IZ KOLEGIJA CESTE

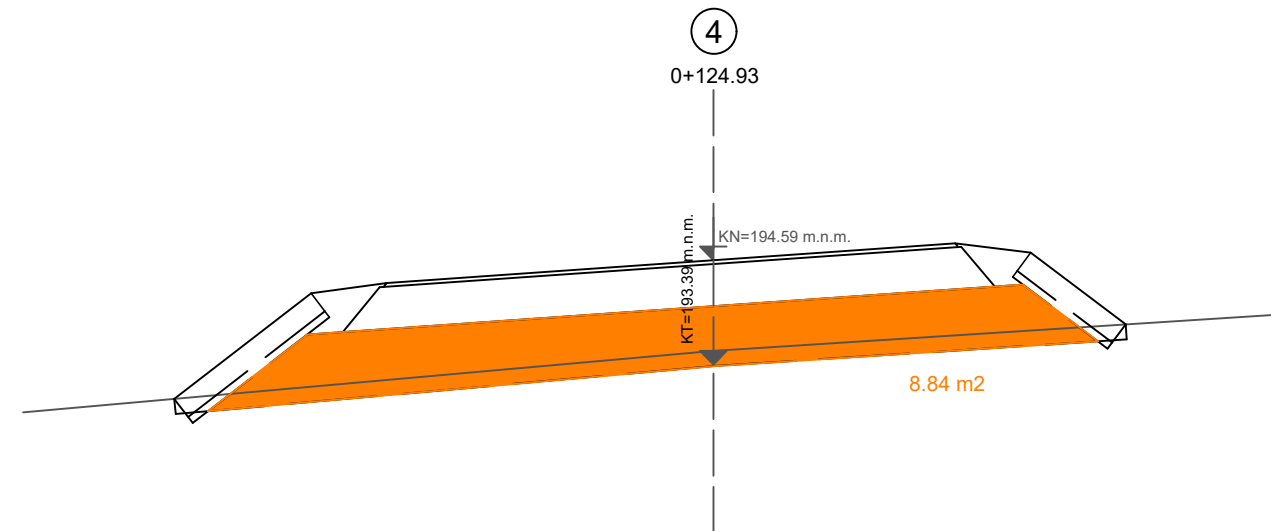
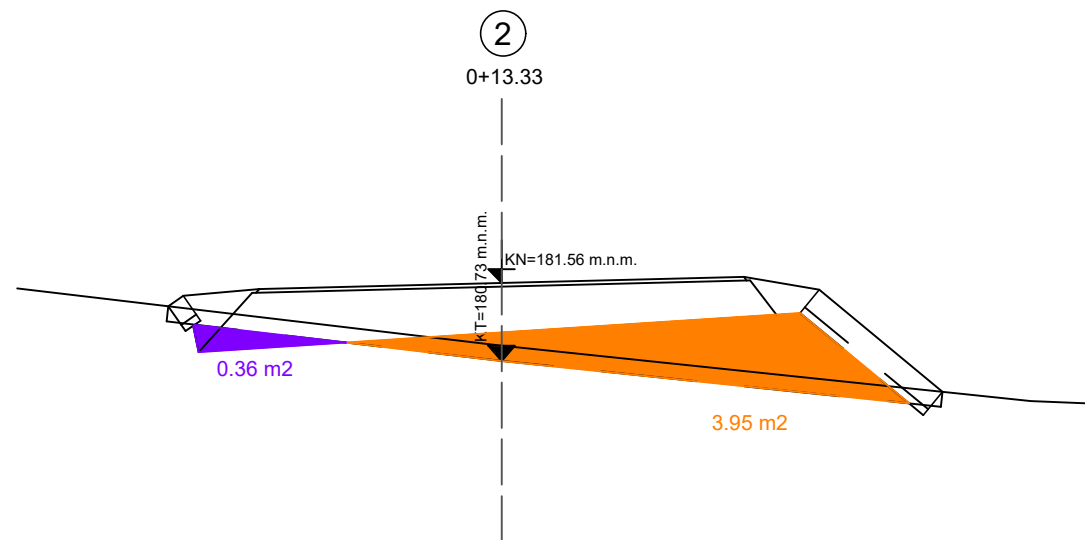
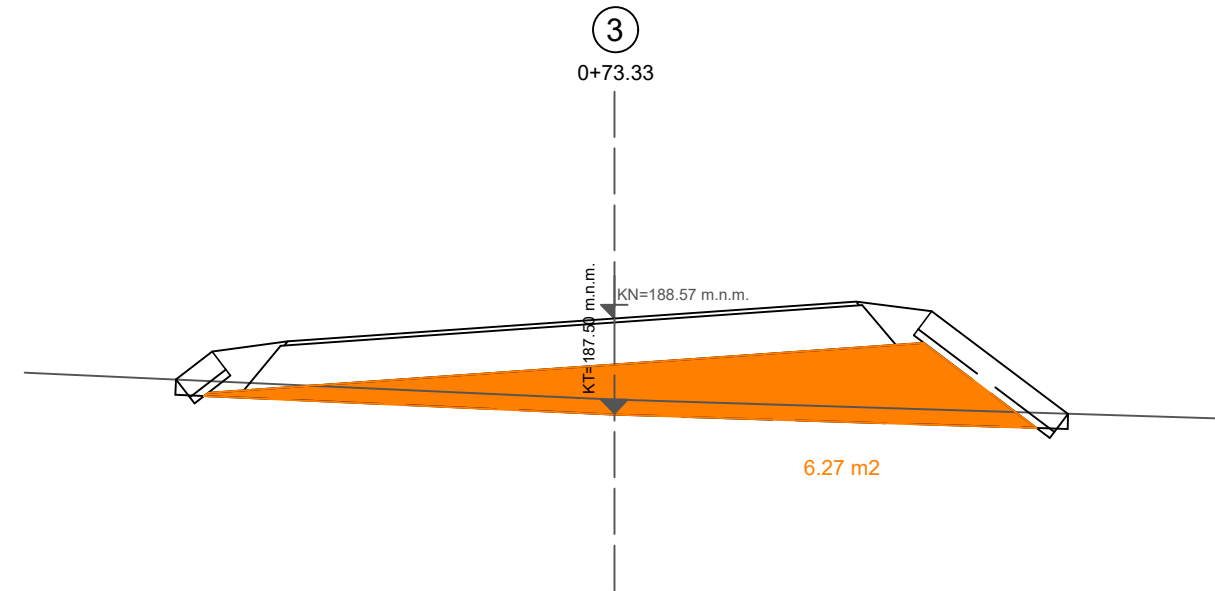
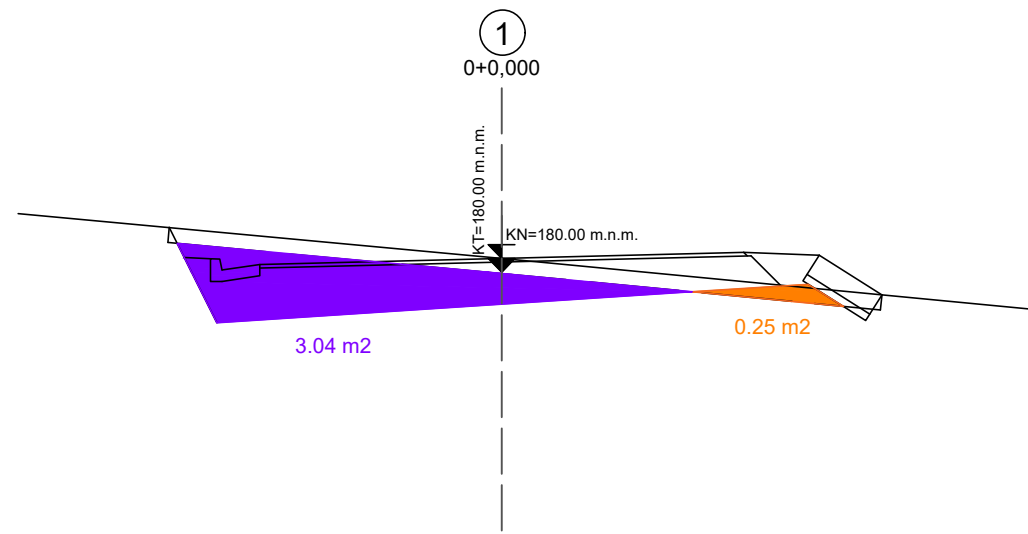
AK.GOD. 2022 / 23      MJERILO: 1 : 2000      BR.PRILOGA: 2

UZDUŽNI PRESJEK

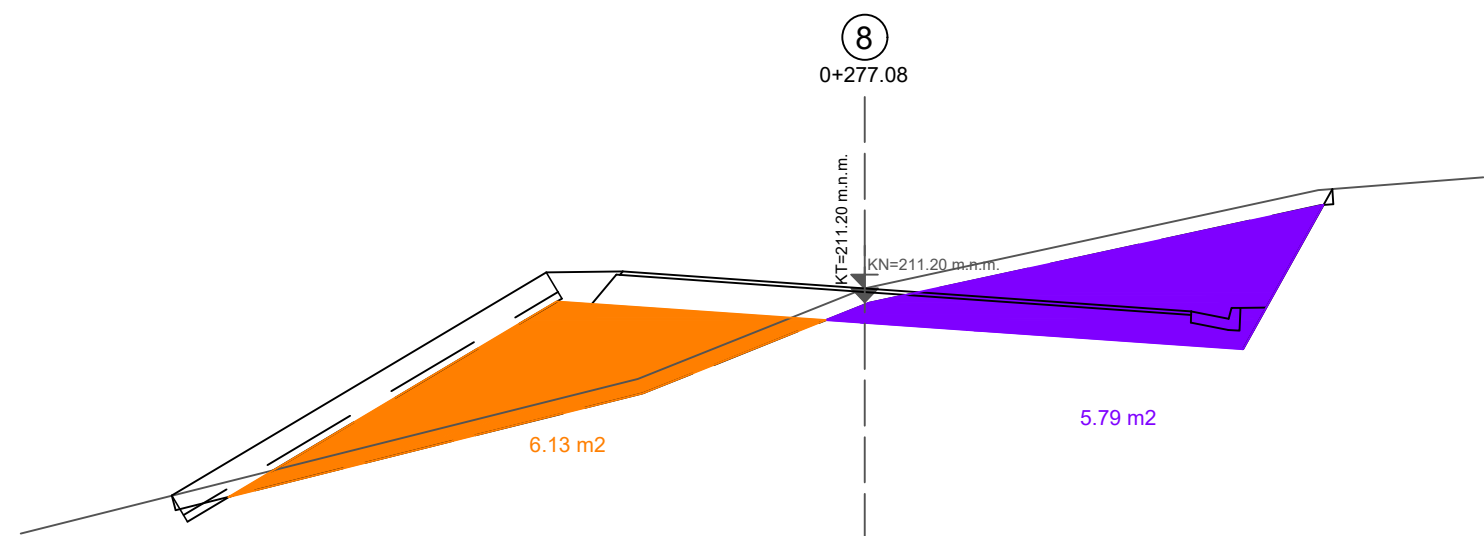
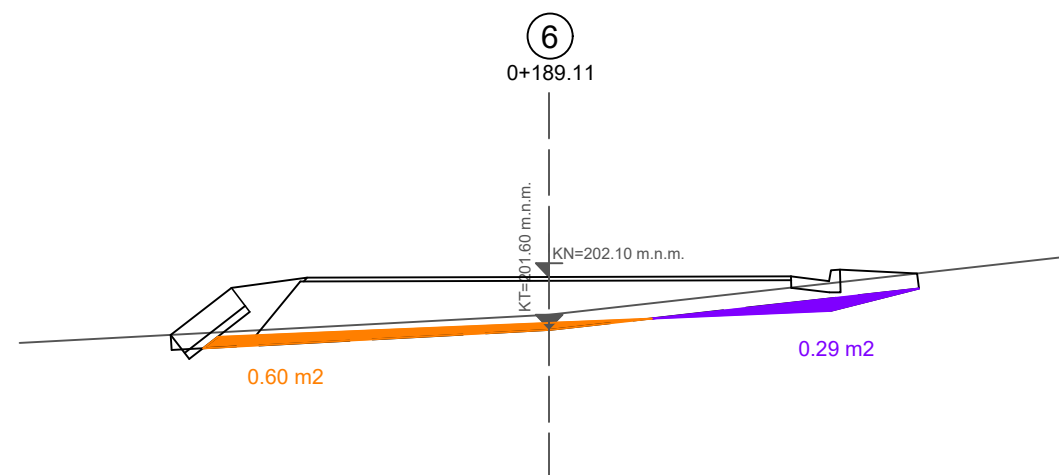
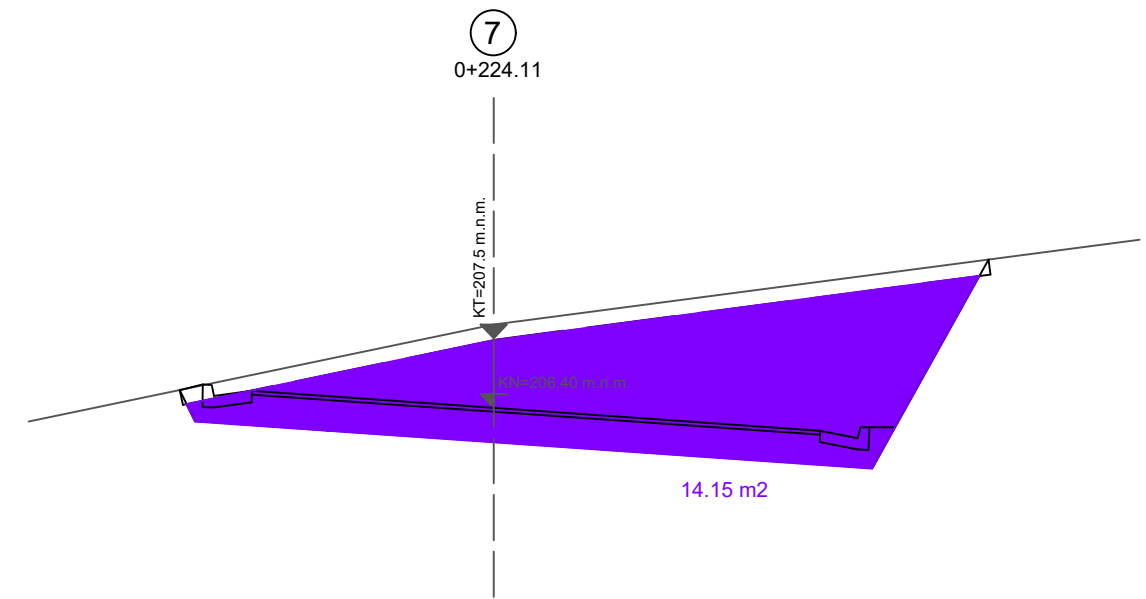
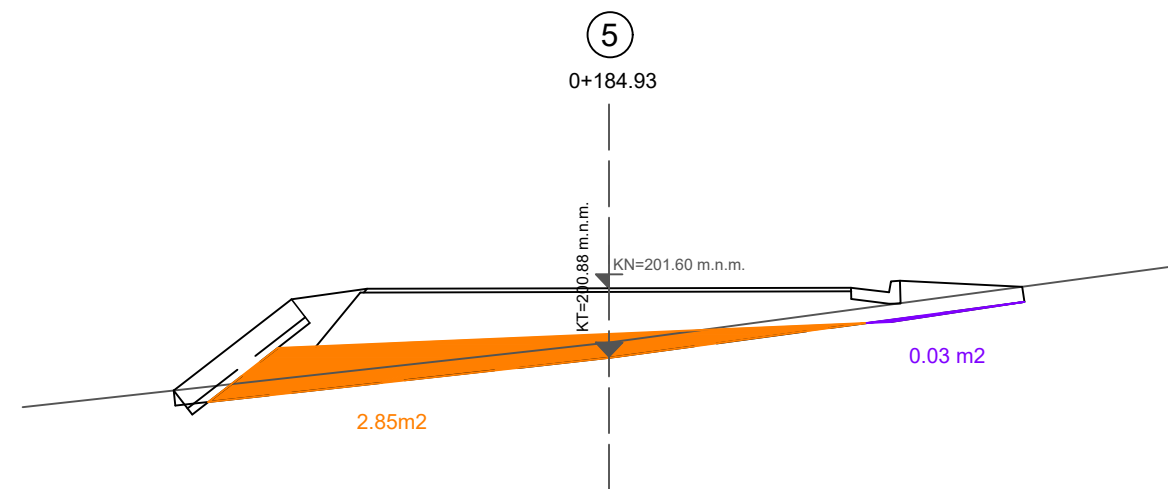
MIJO BOJIĆ      0082062277



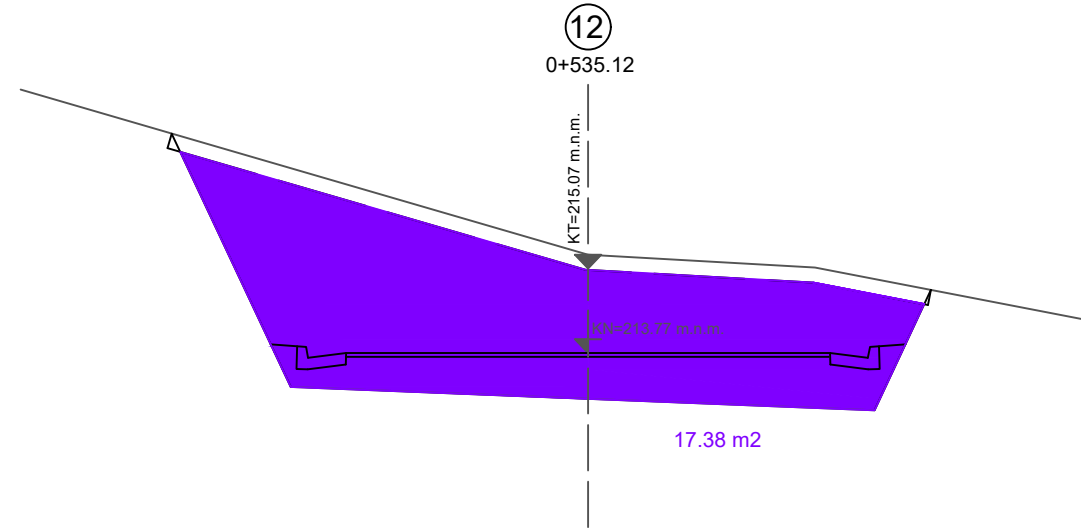
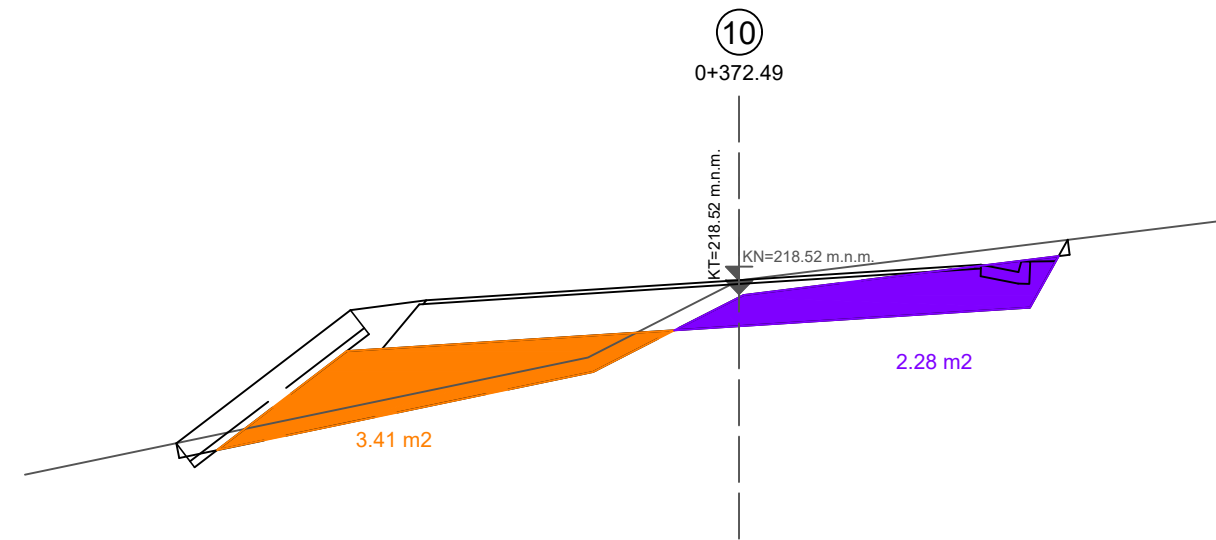
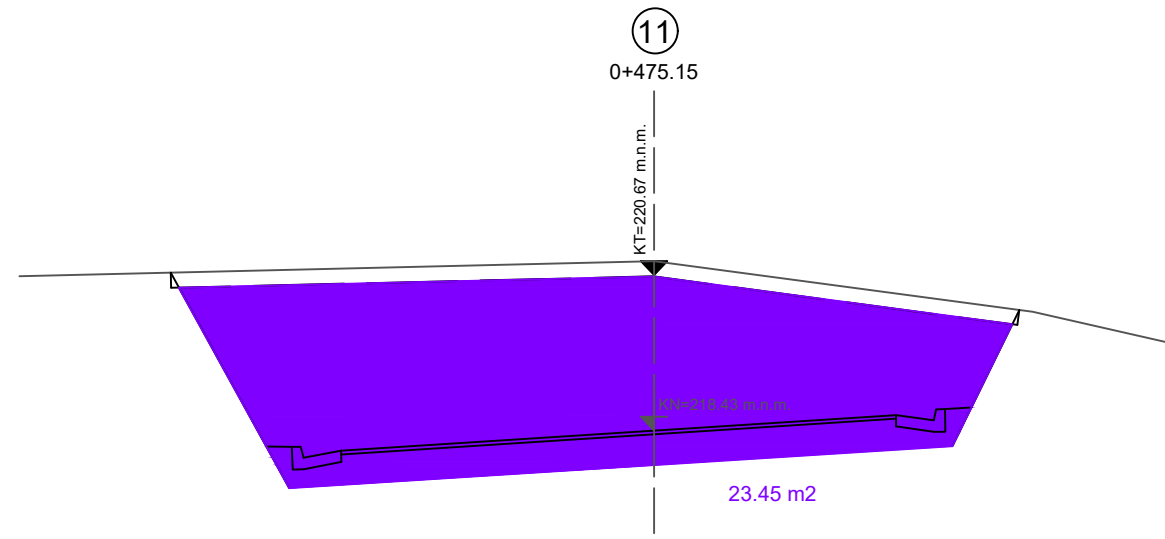
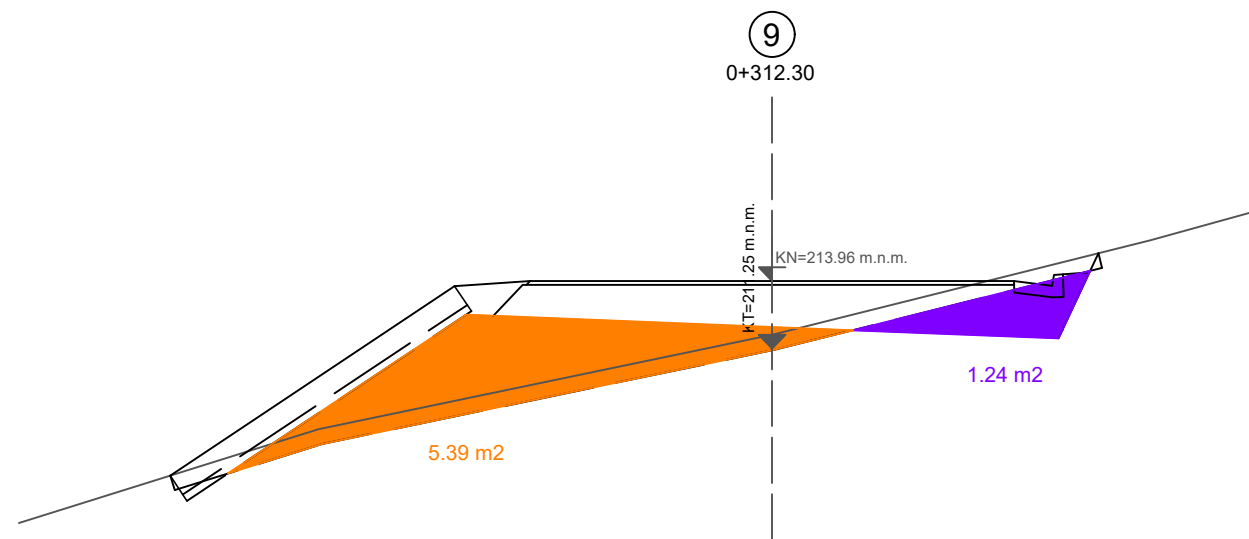
ZAVRŠNI RAD IZ KOLEGIJA CESTE		
AK.GOD. 2022 / 23	MJERILO: 1 : 50	BR.PRILOGA: 3
NORMALANI POPREČNI PRESJEK		
MIJO BOJIĆ		0082062277



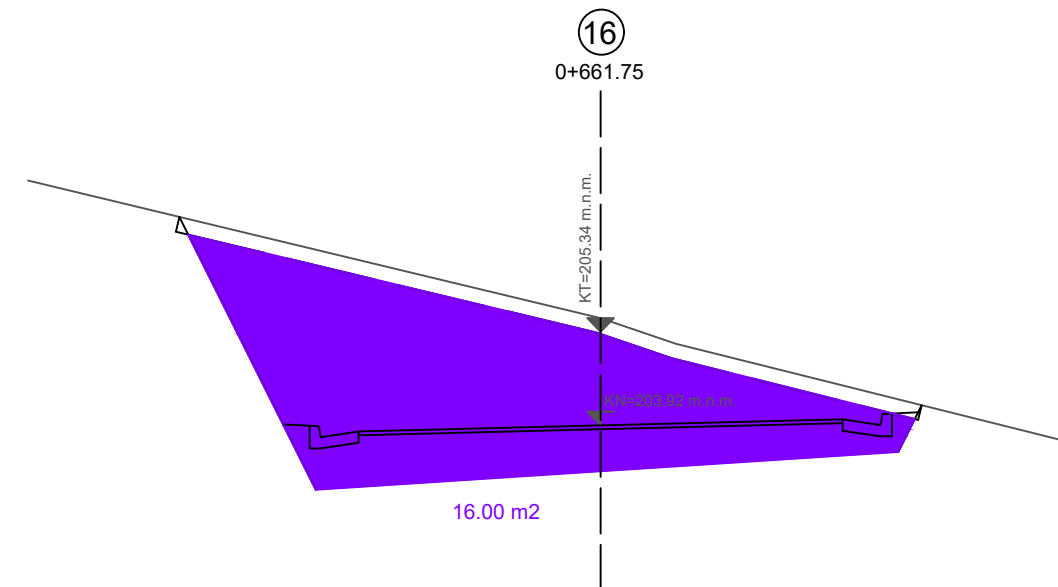
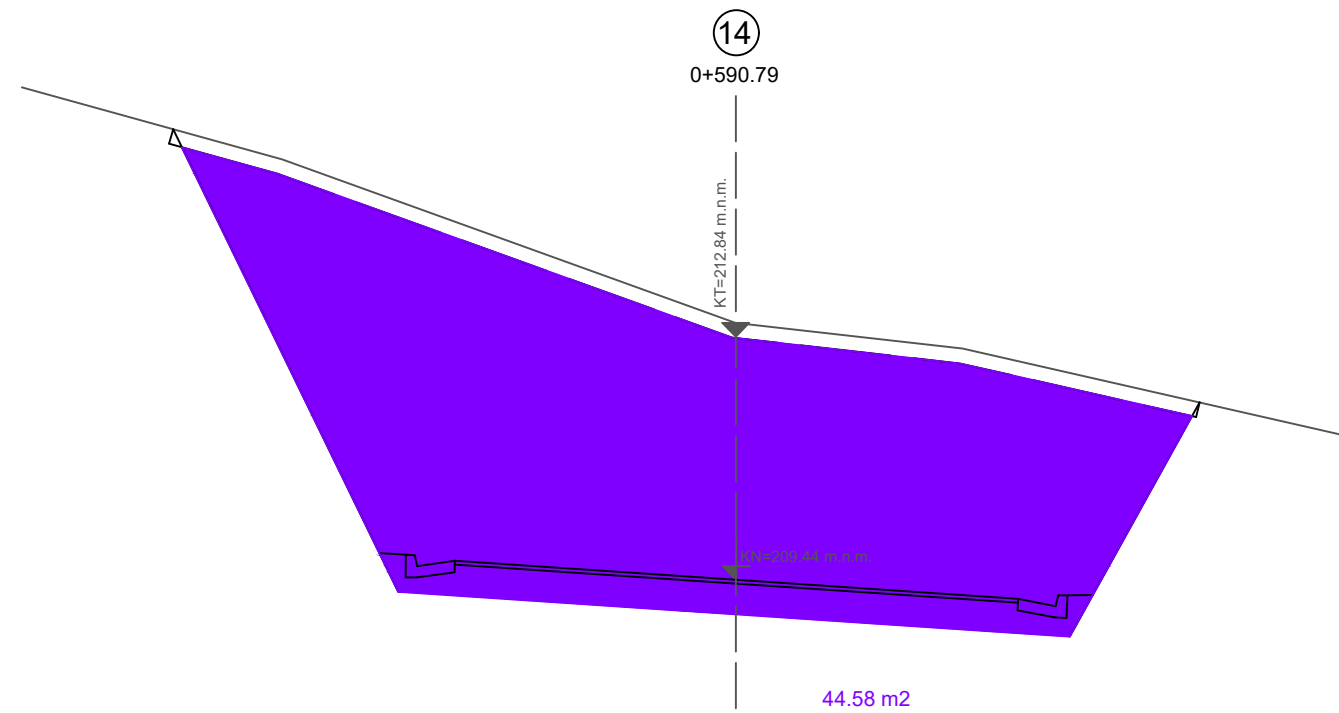
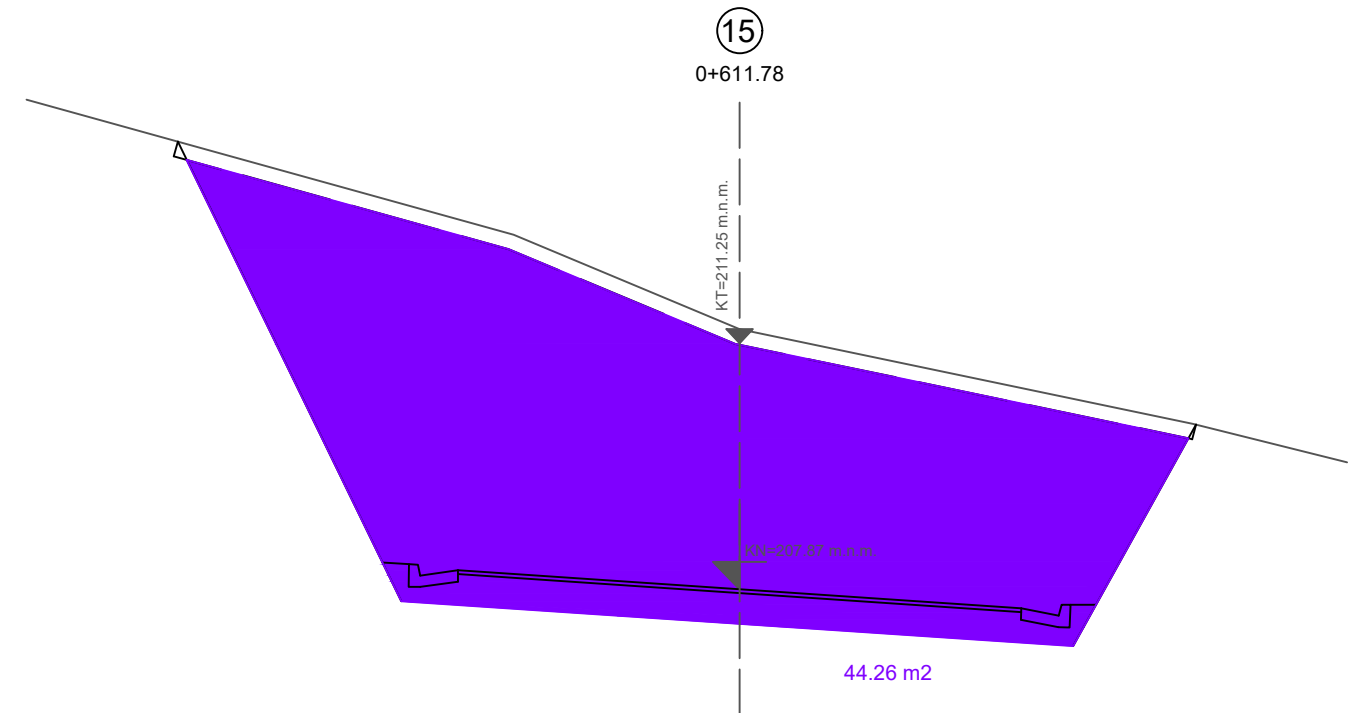
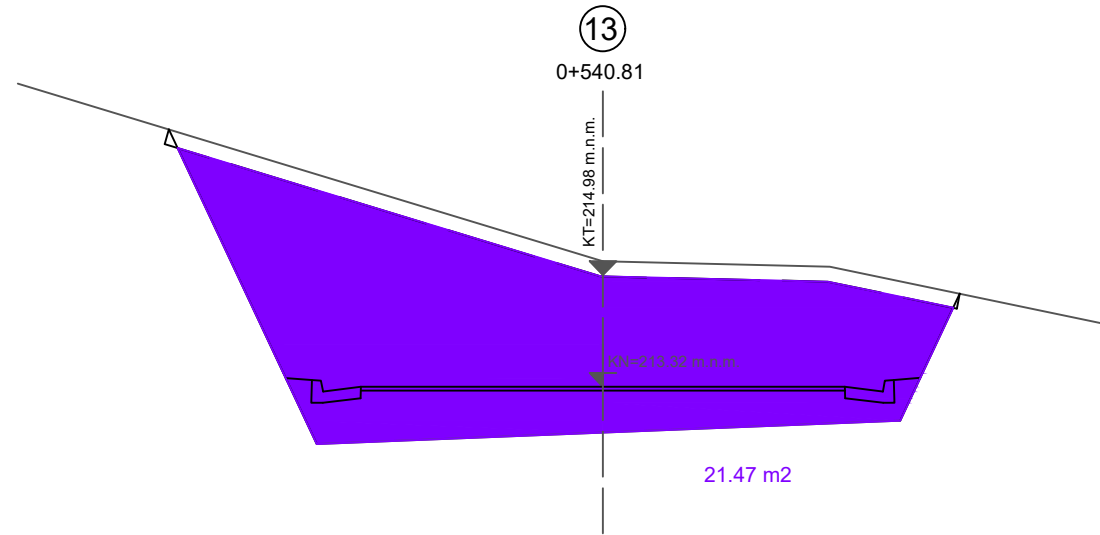
ZAVRŠNI RAD IZ KOLEGIJA CESTE		
AK.GOD. 2022 / 23	MJERILO: 1 : 100	BR.PRILOGA: 4.1
KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJECI SA POVRŠINAMA ISKOPA I NASIPA		
MIJO BOJIĆ		0082062277



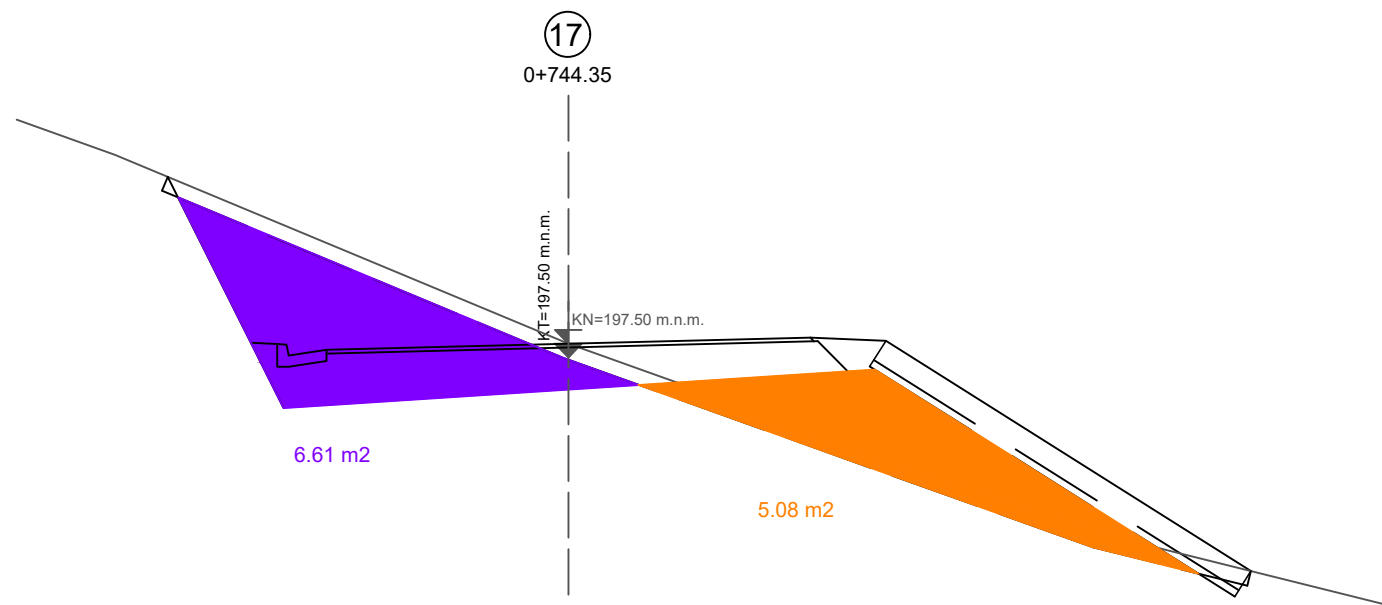
ZAVRŠNI RAD IZ KOLEGIJA CESTE		
AK.GOD. 2022 / 23	MJERILO: 1 : 100	BR.PRILOGA: 4.2
KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJECI SA POVRŠINAMA ISKOPA I NASIPA		
MIJO BOJIĆ		0082062277



ZAVRŠNI RAD IZ KOLEGIJA CESTE		
AK.GOD. 2022 / 23	MJERILO: 1 : 100	BR.PRILOGA: 4.3
KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJECI SA POVRŠINAMA ISKOPA I NASIPA		
MIJO BOJIĆ		0082062277



ZAVRŠNI RAD IZ KOLEGIJA CESTE		
AK.GOD. 2022 / 23	MJERILO: 1 : 100	BR.PRILOGA: 4.4
KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJECI SA POVRŠINAMA ISKOPA I NASIPA		
MIJO BOJIĆ		0082062277



ZAVRŠNI RAD IZ KOLEGIJA CESTE		
AK.GOD. 2022 / 23	MJERILO: 1 : 100	BR.PRILOGA: 4.5
KARAKTERISTIČNI POPREČNI PRESJECI SA POVRŠINAMA ISKOPA I NASIPA		
MIJO BOJIĆ		0082062277

## Prilog 5. Tablica masa

Koeficijent stalne rastresitosti  $Kos = 1,08$

Broj profila	Stacionaža [m]	Površina [m <sup>2</sup> ]		Srednja površina [m <sup>2</sup> ]		Razmak profila [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]		Povećani iskop [m <sup>3</sup> ]	Manjak u nasipu [m <sup>3</sup> ]	Višak u iskopu [m <sup>3</sup> ]	Ordinata linije masa [m <sup>3</sup> ]
		Nasip	Iskop	Nasip	Iskop		Nasip	Iskop				
X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.00	0.250	3.040									0.000
2	13.33	3.950	0.360	2.100	1.700	13.330	27.993	22.661	24.474	3.519	0.000	-3.519
3	73.33	6.270	0.000	5.110	0.180	60.000	306.600	10.800	11.664	294.936	0.000	-298.455
4	124.93	8.840	0.000	7.555	0.000	51.600	389.838	0.000	0.000	389.838	0.000	-688.293
5	184.93	2.850	0.030	5.845	0.015	60.000	350.700	0.900	0.972	349.728	0.000	-1038.021
6	189.11	0.600	0.260	1.725	0.145	4.180	7.211	0.606	0.655	6.556	0.000	-1044.577
7	224.11	0.000	14.150	0.300	7.205	35.000	10.500	252.175	272.349	0.000	261.849	-782.728
8	277.08	6.130	5.790	3.065	9.970	52.970	162.353	528.111	570.360	0.000	408.007	-374.721
9	312.30	5.390	1.240	5.760	3.515	35.220	202.867	123.798	133.702	69.165	0.000	-443.886
10	372.49	3.410	2.280	4.400	1.760	60.190	264.836	105.934	114.409	150.427	0.000	-594.313
11	475.15	0.000	23.450	1.705	12.865	102.660	175.035	1320.721	1426.379	0.000	1251.343	657.030
12	535.12	0.000	17.380	0.000	20.415	59.970	0.000	1224.288	1322.231	0.000	1322.231	1979.261
13	540.81	0.000	21.470	0.000	19.425	5.690	0.000	110.528	119.371	0.000	119.371	2098.631
14	590.79	0.000	44.580	0.000	33.025	49.980	0.000	1650.590	1782.637	0.000	1782.637	3881.268
15	611.78	0.000	44.260	0.000	44.420	20.990	0.000	932.376	1006.966	0.000	1006.966	4888.234
16	661.75	0.000	16.000	0.000	30.130	49.970	0.000	1505.596	1626.044	0.000	1626.044	6514.277
17	744.38	5.080	6.610	2.540	11.305	82.630	209.880	934.132	1008.863	0.000	798.983	7313.260



# UZDUŽNI PROFIL

Izjednačene mase:

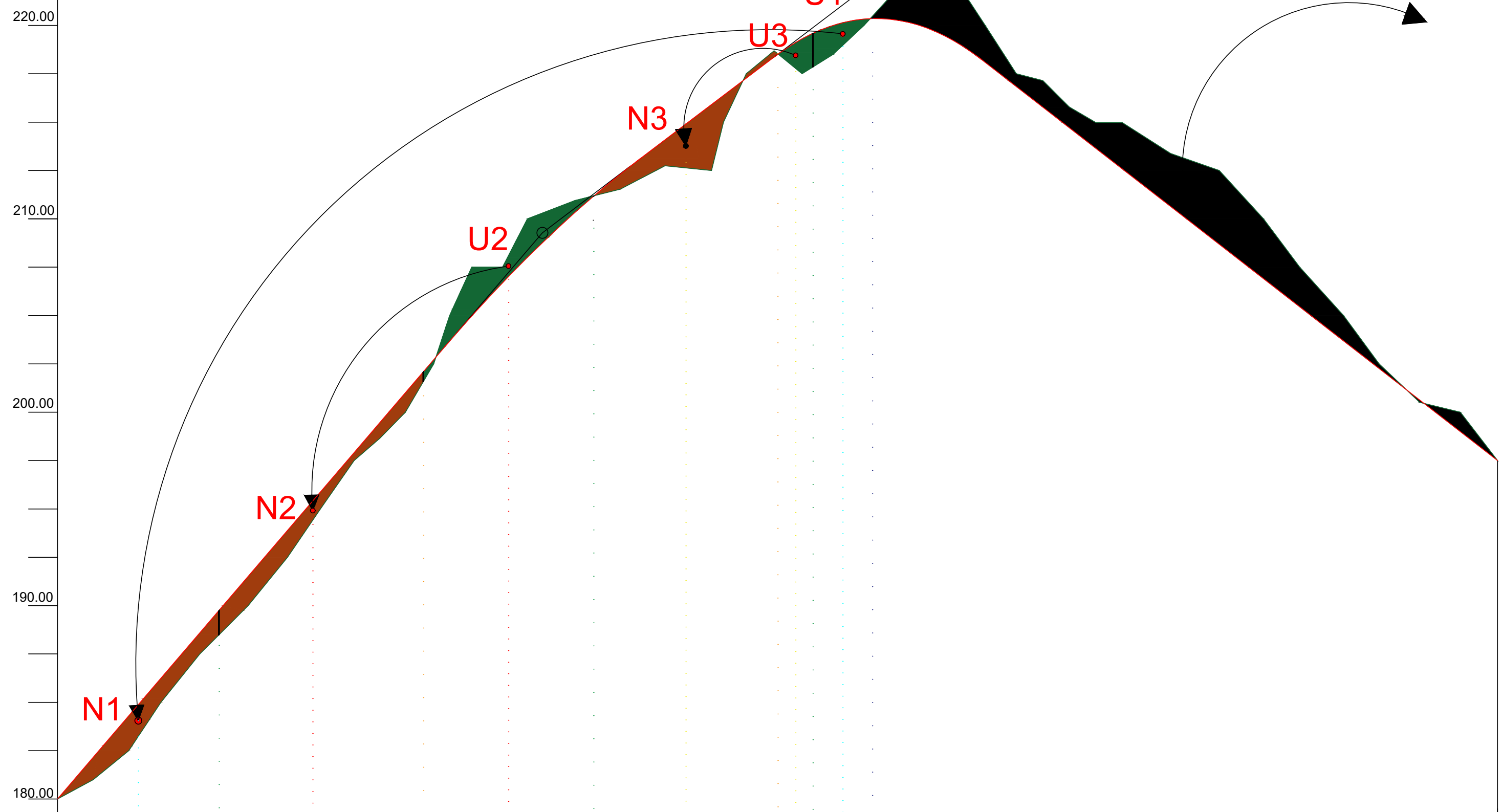
$$V = V1 + V2 + V3 = 1264.20 \text{ m}^3$$

Srednja razvozna udaljenost:

$$ds = (V1 * d1 + V2 * d2 + V3 * d3) / (V1 + V2 + V3) = 182.72 \text{ m}$$

Odvoz na deponij:

$$V = V4 = 7313.20 \text{ m}^3$$

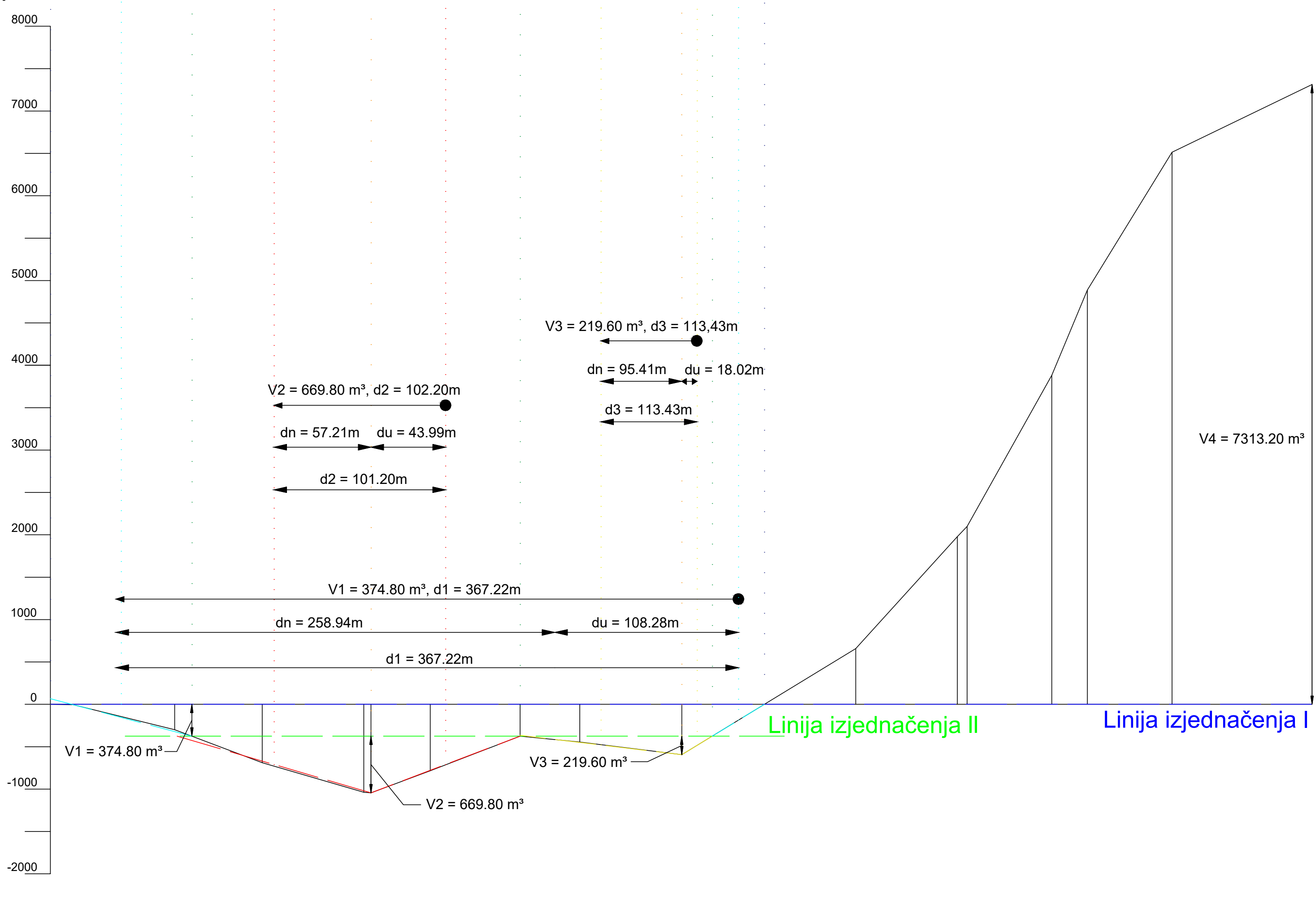


H=177,5 m n.m.

STACIONAŽA	0.00	13.33	73.33	124.93	184.93	202.10	224.11	277.08	312.30	372.49	475.15	535.12	540.81	590.79	611.78	661.75	744.38
KOTA NIVELETE	180.00	181.56	188.57	194.59	201.60	202.10	206.40	211.20	213.96	218.52	218.43	213.77	213.32	209.44	207.81	203.92	197.50
KOTE TERENA	180.00	181.56	188.57	194.59	200.88	201.60	207.50	211.20	211.25	218.52	220.67	215.17	215.07	212.84	211.25	205.34	197.50

# LINIJA MASA

m<sup>3</sup>



-m<sup>3</sup>

STACIONAŽA	0.00	13.33	73.33	124.93	184.93	202.10	224.11	277.08	312.30	372.49	475.15	535.12	540.81	590.79	611.78	661.75	744.38
ORDINATA LINIJE MASA	0.00	-3.52	-298.46	-688.29	-1038.02	-1044.88	-782.73	-374.72	-443.89	-594.31	657.03	1979.26	2098.63	3881.27	4888.23	6514.28	7313.26

ZAVRŠNI RAD IZ KOLEGIJA CESTE		
AK.GOD. 2022 / 23	MJERILO: 1 : 2000	BR.PRILOGA: 6
LINIJA MASA		
MIJO BOJIĆ	0082062277	