

# Procesne radnji pri zemljanim radovima i proračunima kolničke konstrukcije

---

**Topić, Stipe**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University North / Sveučilište Sjever**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:566761>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-24**



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



**Sveučilište**  
**Sjever**

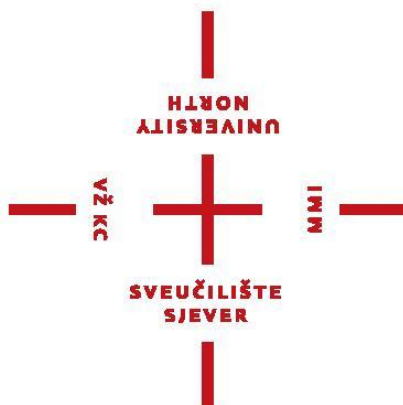
DIPLOMSKI RAD br.  
91/GRD/2023

Procesne radnje pri zemljanim radovima i proračunima  
kolničke konstrukcije

Stipe Topić 1199/336D

Varaždin, rujan 2023. godine

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Graditeljstvo**



**Sveučilište  
Sjever**

DIPLOMSKI RAD br.  
91/GRD/2023

Procesne radnje pri zemljanim radovima i proračunima kolničke  
konstrukcije

Student:

Stipe Topić, 1199/336D

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Milan Rezo, dipl. ing. geodezije

Varaždin, rujan 2023. godine

## **ZAHVALA**

Za pomoć pri pisanju Diplomskog rada srdačno se zahvaljujem mentoru Izv. prof. dr. sc. Milanu Rezo, dipl. ing. geodezije na savjetima, trudu i vremenu te ustupljenim materijalima.

Zahvaljujem profesorima koji su mi tokom studiranja prenosili svoja znanja.

Zahvalan sam kolegicama i kolegama koje sam stekao tijekom moga studiranja.

Najviše sam zahvalan roditeljima, prijateljima, cimeru i ženi na podršci tijekom cijelog mog života te pruženoj mogućnosti da svoje snove pretvorim u stvarnost

## SAŽETAK

U današnjem vremenu jako izražene globalizacije čovjek je glavni čimbenik kreiranja sustava prometne mreže zbog potreba prometovanja s jednom mjesta na drugo. U poglavlju dva opisani su zemljani radovi i stabilnost kosina. U trećem poglavlju obrađujem temu kolničke cestovne konstrukcije u kojoj nailazimo na problem prometnog opterećenja i načine na koje računamo određena opterećenja kolničke konstrukcije. Susrećemo se s prometnom analizom u kojoj vidimo potpunu sliku o prosječnom godišnjem dnevnom prometu, o načinu određivanja težine vozila, određivanje razine iskorištenosti osovina, i samih procjena prometnih opterećenja i faktora utjecaja. Četvrto poglavlje opisuje klimatske i hidrološke uvjete. Susrećemo se s faktorima koji utječu na konstrukciju kao i karakteristike materijala za kolničke konstrukcije. Upoznajemo se s postavljanjem opreme za mjerenje i osnovnim vrstama asfaltnih kolničkih konstrukcija kao i određivanje same kvalitete i faze građenja. U praktičnom dijelu vidimo način primjene svega naučenog na dionici Županijske ceste ŽC 3005, stacionaže: km 6+700, Vukovo selo. Dionica se sastoji od dva prometna traka širine 300cm, dva rubna traka širine 25cm i dvije bankine širine 100cm.

## **SUMMARY**

In today's highly pronounced globalisation, man is the main factor in creating the transport network system due to the need to operate from one place to another. Chapter two describes earthworks and slope stability. In the third chapter, I analyze the topic of pavement road structure in which we encounter the problem of traffic load and the ways in which we calculate certain loads of pavement structure. We are facing a traffic analysis in which we see a complete picture of the average annual daily traffic, the method of determining the weight of the vehicle, determining the level of use of the axles, and the actual estimates of traffic loads and influence factors. Chapter Four describes climatic and hydrological conditions. We meet with factors influencing the structure as well as the characteristics of material for pavement structures. We are acquainted with the installation of measuring equipment and basic types of asphalt pavement structures, as well as the determination of the quality and phase of construction itself. In the practical part we see the method of applying everything learned on the section of County road ZC 3005, stationary: km 6 +700, Vukovo Selo. The section consists of two lanes 300 cm wide, two edges 25 cm wide and two bankers 100 cm wide.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Stipe Topić

MATIČNI BROJ 0336011127

DATUM 20.IX.2023

KOLEGIJ Gradske prometnice i kolničke konstrukcije

NASLOV RADA Procesne radnji pri zemljanim radovima i proračunima kolničke konstrukcije

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Process actions during earthworks and calculations of pavement construction

MENTOR dr. sc. Milan Rezo

ZVANJE izv. prof.

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof. dr. sc. Božo Soldo
2. izv. prof. dr. sc. Milan Rezo
3. izv. prof. dr. sc. Bojan Đurin
4. izv. prof. dr. sc. Danko Markovinović
- 5.

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 91/GRD/2023

OPIS

Zadatak diplomskog rada teorijski razraditi i opisati zemljane radove s naglaskom na stabilnost kosina, nasipa na slabo nosivim materijalima (tlo) kao i opis geosintetičkih materijala primjenljivih pri gradnji prometne infrastrukture. Nadalje, zadatak rada je u poglavlju kolničkih konstrukcija opisati prometno opterećenje kao ključni parametar dimenzioniranja istih uz opise klimatskih i hidroloških uvjeta. Za potpuno razumjevanja, radom trebaju biti obuhvaćene karakteristike materijala ugrađenih u donji i gornji ustroj kolničke konstrukcije i njihova nosivost. Praktični dio rada obuhvaća razradu automatizacije procesa pri dimenzioniranju kolničkih konstrukcija po kriteriju nosivosti i opterećenja.

1. Uvod
2. Zemljani radovi
3. Prometne konstrukcije
4. Klimatski i hidrološki uvjeti
5. Praktični dio
6. Zaključak
7. Literatura

ZADATAK URUČEN

28. 09. 2023.

POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

# SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| SADRŽAJ  | 7  |
| 1. UVOD  | 10 |
| 2. ZEMLJANI RADOVI   | 11 |
| 2.1 Stabilnost kosina  | 11 |
| 2.1.2 Utjecaj na stabilnost kosina                                     | 11 |
| 3. PROMETNE KONSTRUKCIJE   | 12 |
| 3.1 Prometno opterećenje   | 12 |
| 3.1.1 Prometne analize   | 12 |
| 3.1.2 Prosječan godišnji dnevni promet (PGDP)                          | 12 |
| 3.1.3 Određivanje težine vozila  | 13 |
| 3.1.4 Određivanje stope iskorištenosti vozila                          | 13 |
| 3.1.5. Ekvivalentno opterećenje osovina                                | 13 |
| 3.1.6 Ekvivalentno opterećenje vozila                                  | 14 |
| 3.1.7 Ekvivalentno dnevno prometno opterećenje                         | 15 |
| 3.1.8 Procjena na osnovu stvarnih prometnih opterećenja                | 16 |
| 3.1.9 Procjena na osnovu prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti | 17 |
| 3.1.10 Dodatni faktori koji utiču na prometno opterećenje              | 17 |
| 3.1.11 Broj prometnih traka  | 18 |
| 3.1.12 Širina prometne trake   | 18 |
| 3.1.13 Uzdužni nagib nivelete kolnika                                  | 19 |
| 3.1.14 Dinamički utjecaji  | 19 |
| 3.1.15 Projektirano prometno opterećenje                               | 20 |
| 3.1.16 Trajanje i povećanje prometnog opterećenja                      | 20 |
| 3.1.17 Određivanje projektiranog prometnog opterećenja                 | 20 |
| 4. KLIMATSKI I HIDROLOŠKI UVJETI                                       | 22 |
| 4.1 Predmet diplomskog rada  | 22 |
| 4.1.1 Definiranje klimatskih i hidroloških uvjeta                      | 22 |
| 4.1.2 Klimatski uvjeti   | 22 |
| 4.1.3 Dubina smrzavanja  | 23 |
| 4.1.4 Indeks smrzavanja  | 24 |
| 4.1.5 Hidrološki uvjeti  | 25 |
| 4.1.6 Faktori koji utječu na projekt                                   | 26 |
| 4.1.7 Smrzavanje tla i otapanje leda                                   | 27 |
| 4.1.8 Oštećenje uslijed smrzavanja tla i otapanja leda                 | 29 |
| 4.2 Karakteristike materijala za kolničke konstrukcije                 | 36 |
| 4.2.1 Fizičke osnove mjerenja modula deformacije                       | 36 |



|  |    |
|--|----|
| 4.2.2 Osnovne metode mjerenja  | 37 |
| 4.2.3 Mjerna oprema  | 38 |
| 4.2.4 Kružna ploča   | 38 |
| 4.2.5 Oprema za mjerenje slijeganja  | 39 |
| 4.2.6 Oprema za mjerenje dinamički modul deformacije <b>EVD</b>              | 41 |
| 4.2.7 Oprema za mjerenje modula stišljivosti <b>ME</b> obuhvaća kružnu ploču | 42 |
| 4.2.8 Izvođenje mjerenja   | 43 |
| 4.2.9 Priprema površine za izvođenje mjerenja                                | 44 |
| 4.2.10 Postavljanje mjernog uređaja  | 45 |
| 4.2.11 Mjerenje dinamičkog modula deformacije <b>EVD</b>                     | 45 |
| 4.2.12 Mjerenje modula stišljivosti <b>ME</b>                                | 46 |
| 4.2.13 Mjerenje modula reakcije posteljice <b>ks</b>                         | 46 |
| 4.2.14 Mjerenje vrijednosti CBR  | 46 |
| 4.2.15 Mjerenje statičkog modula deformacije <b>EVS</b>                      | 47 |
| 4.2.16 Mjerenje modula stišljivosti <b>ME</b>                                | 48 |
| 4.2.17 Mjerenje modula reakcije tla <b>ks</b>                                | 48 |
| 4.2.18 Mjerenje vrijednosti CBR  | 49 |
| 4.3 Ocjena i zapisnik mjerenja   | 49 |
| 4.3.1 Proračun statičkog modula deformacije                                  | 49 |
| 4.3.2 Dinamički modul deformacije <b>EVD</b>                                 | 51 |
| 4.3.3 Modul stišljivosti <b>ME</b>   | 51 |
| 4.3.4 Modul reakcije posteljice <b>ks</b>                                    | 51 |
| 4.3.5 Vrijednost CBR   | 52 |
| 4.4 Nosivost kolničke konstrukcije   | 52 |
| 4.4.1 Osnovne metode mjerenja pomaka   | 53 |
| 4.4.2 Oprema za mjerenje pomaka  | 54 |
| 4.4.3 Lacroix deflektograf   | 54 |
| 4.4.4 Dynatest 8000 FWD deflektometar  | 55 |
| 4.4.5 Mjerenje pomaka  | 57 |
| 4.4.6 Benkelmanova greda   | 57 |
| 4.4.7 Procjena rezultata   | 59 |
| 4.4.8 Utjecaj godišnjeg doba   | 64 |
| 4.4.9 Određivanje mjerodavnog elastičnog pomaka                              | 65 |
| 4.5 Nove asfaltne kolničke konstrukcije                                      | 66 |
| 4.5.1 Nosivost posteljice  | 67 |
| 4.5.2 Mjerodavno prometno opterećenje i vijek trajanja kolničke konstrukcije | 69 |
| 4.5.3 Klimatski i hidrološki uvjeti  | 69 |
| 4.5.4 Osnovni materijali kolničke konstrukcije                               | 70 |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.5.5  | Određivanje kvaliteta                          | 70 |
| 4.5.6  | Osnovne vrste asfaltnih kolničkih konstrukcija | 72 |
| 4.5.7  | Način određivanja dimenzija                    | 73 |
| 4.5.8  | Određivanje debljine sloja                     | 73 |
| 4.5.9  | Nevezani nosivi sloj                           | 74 |
| 4.5.10 | Donji vezani nosivi sloj                       | 75 |
| 4.5.11 | Izgradnja u fazama                             | 77 |
| 4.5.12 | Provjera utjecaja smrzavanja                   | 78 |
| 5.     | PRAKTIČNI DIO                                  | 79 |
| 6.     | ZAKLJUČAK                                      | 81 |
| 7.     | LITERATURA                                     | 82 |
| 8.     | POPIS SLIKA                                    | 84 |
| 9.     | POPIS TABLICA                                  | 85 |
| 10.    | PRILOZI  | 86 |

## 1. UVOD

U vrijeme kada je automobilski promet bio smanjen nije bilo nužno proračunavati kolničke konstrukcije. Početkom ovog stoljeća gradile su se kolničke konstrukcije uglavnom bez vezanog zastora, koje su zadovoljavale tadašnje uvjete. Porastom prometnih opterećenja situacija se počela mijenjati. Potreba za "oruđem" pomoću kojega bi se mogle predviđati kolničke konstrukcije primjerene uvjetima i odgovarajućim, jačim, prometnim opterećenjima poklapa se s nastankom tzv. "nove automobilske ere" dvadesetih godina ovog stoljeća. Tada je u SAD-u počela nagla uporaba vozila za prijevoz tereta na veće udaljenosti. Postojeće ceste nisu to mogle podnijeti i trebalo ih je opremiti jačim kolničkim konstrukcijama. Opažanjem na postojećim kolnicima stečena su iskustva na uzroke koji utječu na njihove deformacije. Uvidjelo se da na vijek trajanja kolničke konstrukcije velik utjecaj ima i vrsta tla i količina prometa. Iz takvih opažanja i iskustava tridesetih su se godina razvile prve metode za dimenzioniranje kolničkih konstrukcija. Kasnije su one usavršavane, ali pravi temelj i za izradu pouzdanih metoda postavljeni su tek izradom pokusnih dionica. Nakon razmjerno manjih pokusa na posebno izvedenim i opterećivanim dionicama cestovnih konstrukcija, šezdesetih su godina izvedeni veliki i dobra organizirani terenski pokusi, kao što je AASHO Road Test, iz kojih su dobiveni odgovarajući podaci i razvijene praktične metode za dimenzioniranje asfaltnih i betonskih kolničkih konstrukcija. Iako je od tada prošlo tridesetak godina, te su metode još i danas aktualne i primjerene, a zovu se "empirijskim metodama". One omogućuju da se odredi pouzdana kolnička konstrukcija, jer je zapravo riječ o reproduciranju prije provjerenih rezultata. Metode su razmjeno jednostavne i vrlo su primjenjive, ali međutim ne daju nikakav uvid o tome što se događa u kolničkim konstrukcijama izloženima vanjskim utjecajima, tj. posve su nepoznata naprezanja, deformacije i pomaci u konstrukcijama što nastaju uslijed prometnog opterećenja i drugih utjecaja. Sustavi kolničkih konstrukcija i materijali doživjeli su u međuvremenu značajan razvoj. Stoga se njihova svojstva moraju procjenjivati, što ipak znači određeni ograničenost. U novije se vrijeme uvode u praksu teorijske metode projektiranja. Pomoću njih se mogu provjeravati materijali bilo kakvih svojstava i bilo kakve sheme kolničkih konstrukcija. Teorijske se metode zasnivaju na klasičnom inženjerskom načelu naprezanja ili deformacija u pojedinim kritičnim presjecima konstrukcije i usporedbi s nekim dopustivim vrijednostima tih pojava. Suvremene kolničke konstrukcije višeslojni su sustavi, koji se sastoje od različitih materijala. Novo doba nam donosi računala koja nam olakšavaju rad a postignuti rezultati su točniji, precizniji i brži.

## 2. ZEMLJANI RADOVI

### 2.1 Stabilnost kosina

Osiguravanje stabilnosti nagiba usjeka i nasipa znači sigurnost protiv klizanja zemlje ili odron nagiba. Posljedice nestabilnosti nagiba mogu biti:

- gubitak ukupne stabilnosti površina i okolnih konstrukcija,
- pomak površine zbog deformacije, slijeganja, vibracija
- oštećenja ili smanjenja uporabljivosti okolnih konstrukcija, kolnika i infrastruktura zbog pomaka površina.

Nasipi su najčešće građeni od kvalitetnih i kontrolirano ugrađenih materijala, u pravilu nisu zasićeni s vodom i zato sigurnost stabilnosti kosina samog nasipa prije svega ovisi o odabiru odgovarajućeg nagiba nasipa. Nagib usjeka može biti izgrađen u zemljanom (koherentno ili nekoherentno) ili u kamenitom tlu. Zbog različite prirode oba materijala razmatramo stabilnost kosina u tim materijalima sa različitim metodama.

Na padinama usjeka često se pojavljuje i podzemna voda, koja smanjuje ukupnu stabilnost, a uzrokuje i površinsku i unutarnju eroziju tla. Stabilnost kosina usjeka je zbog prirodne raznolikosti uvjeta, u kojima su građeni usjeci, puno zahtjevniji.

#### *2.1.2 Utjecaj na stabilnost kosina*

Poremećaj stabilnosti kosine u pravilu može se dogoditi bilo povećavanjem posmičnih naprezanja u kosini, bilo smanjivanjem čvrstoće, što može biti uzrokovano nizom različitih promjena koje su uglavnom prikazane u slijedećih devet točaka,[Nonveiller,1990].

- povećanje opterećenja, posebno ako je nanošenje opterećenja brzo,
- posebno povećanje opterećenja na vrhu kosine, rasterećenje dna kosine,
- udarci ili potresi,
- jake kiše, podizanje pornog tlaka i smanjivanje čvrstoće tla,
- promjene u režimu podzemne vode, strujanje, posebno u smjeru kosine,
- smrzavanje tla i topljenje,
- trošenje, promjene čvrstoće tla,
- uništenje biljnog pokrova, korijenje kosinu učvršćuje mehanički, suši je, a duboko korijenje mijenja nepovoljni smjer strujanja.

### 3. PROMETNE KONSTRUKCIJE

#### 3.1 Prometno opterećenje

Način određivanja projektiranog prometnog opterećenja, na osnovu čega se određuje dimenzije slojeva prometne konstrukcije. Naime, riječ je o prometnim konstrukcijama sa asfaltnim i cement-betonskim zastorom za novo izgrađene prometnice, kao i za sanaciju i poboljšanje postojećih prometnica.

##### 3.1.1 Prometne analize

Prilikom određivanja prometnog opterećenja na kolniku potrebno je provesti sljedeće, (AASHTO,1974):

- odrediti prosječan godišnji dnevni promet,
- odrediti težinu pojedinih osovina vozila,
- izvršiti procjenu stope iskorištenosti vozila.

##### 3.1.2 Prosječan godišnji dnevni promet (PGDP)

Podaci o prosječnom godišnjem dnevnom prometu (PGDP) na postojećim autocestama, brzim cestama i drugim državnim cestama, koji su određeni na temelju rezultata dobivenih prebrojavanjem prometa na određenim karakterističnim poprečnim presjecima ceste, (AASHTO,1974).

Prosječan godišnji promet za izgradnju novih cesta određuje se na temelju predviđanja prometa. Za manje opterećene ceste moguće je napraviti procjenu prosječnog godišnjeg dnevnog prometa. Podaci o prosječnom dnevnom prometu trebali bi u pravilu uključivati sljedeću kategorizaciju reprezentativnih motornih vozila:

- osobni automobili
- autobusi
- kamioni:
  - laki – nosivosti do 3 t
  - srednji – nosivosti 3 - 7 t
  - teški – nosivosti preko 7 t
  - teški sa prikolicom

### 3.1.3 Određivanje težine vozila

Određivanje stvarne težine motornog vozila i pojedinačnog osovinskog opterećenja može se provesti odgovarajućom metodom vaganja. Vaganje može biti:

- statičko vaganje pomoću fiksnih ili pokretnih naprava za vaganje
- dinamičko vaganje za vozila u pokretu (pri normalnoj brzini, ili pri brzini do 10 km/h na posebnim platformama).

Za vaganje motornih vozila ili barem reprezentativnih uzoraka tih vozila prikladni su samo oni postupci u kojima se važu sva vozila ili barem reprezentativni uzorci tih vozila.

Na temelju vaganja osovinsko opterećenje motornih vozila može se kategorizirati u odgovarajuće klase, u rasponu 5, 10 ili 20 kN.

Rezultati dobiveni vaganjem motornih vozila ili mjerenjem prometnog opterećenja procjenjuju se pomoću histograma za pojedinačne, dvostruke i trostruke osovine, tako da se mogu izravno koristiti za procjenu prometnih opterećenja na postojećim cestama, kao i za predviđanje prometnih opterećenja na novim cestama. Ako rezultati vaganja motornog vozila nisu reprezentativni, trebalo bi ih ispraviti određenim parametrima, uzimajući u obzir, na primjer, sezonski i/ili dnevni utjecaj, (AASHTO,1974).

### 3.1.4 Određivanje stope iskorištenosti vozila

Ako se težina motornog vozila ne određuje vaganjem, određivanje osovinskog opterećenja reprezentativnih vozila treba obaviti na temelju određivanja brzine njihove uporabe.

Ekvivalentno prometno opterećenje.

Vijek trajanja materijala konstrukcije kolnika ovisi o sljedećem:

- karakteristika motornog vozila,
- prometnog opterećenja,
- rasporeda osovina na vozilu,
- rasporeda kotača na osovini vozila
- broja opterećenja motornih vozila, tj. prolazak vozila kroz poprečni presjek kolnika.

### 3.1.5. Ekvivalentno opterećenje osovina

Osovinsko opterećenje motornog vozila treba pretvoriti u jednako prometno opterećenje.

Za kvantitativnu procjenu utjecaja različitih osovinskih opterećenja motornih vozila na vijek trajanja kolničkih materijala primjenjuje se izmijenjena jednadžba ispitivanja [AASHO-a] za ceste:

$$FE_{nom} = 10^{-8} x f_0 x (f_k x L_{stat})^4 . \quad (3.1)$$

gdje je:

$FE_{nom}$  – faktor ekvivalentnog utjecaja stvarnog osovinskog opterećenja motornog vozila na vijek trajanja u odnosu na utjecaj nazivnog osovinskog opterećenja (NOO) od 82 kN.

$f_0$  – Faktor rasporeda osovine na motornom vozilu:

- za jednostruku osovinu  $f_{011} = 2.212$ ,
- za dvojnu osovinu  $f_{02} = 0.1975$ ,
- za trojnu osovinu  $f_{03} = 0.048$ ,
- za pojedinačnu osovinu tandema  $f_{012} = 1.583$ ,

$f_k$  – faktor rasporeda kotača na osovini vozila:

- za jedan standardni kotač i izvagane osovine (privremeno)  $f_{k1} = 1.0$ ,
- za dupli standardni kotač (par)  $f_{0k2} = 0.9$ ,
- za jedan široki kotač  $f_{0k3} = 0.97$ .

Na temelju prethodno navedenog provodi se procjena faktora istovjetnosti osovinskog opterećenja za stvarna osovinska opterećenja izvaganih vozila, kao i procjena odabranih reprezentativnih vrijednosti,[SNV,1971].

### 3.1.6 Ekvivalentno opterećenje vozila

Procjena faktora ekvivalentnosti  $FE_V$  reprezentativnog motornog vozila provodi se pomoću sljedeće jednadžbe,[SNV,1971]:

$$FE_V = \sum FE_{nom}. \quad (3.2)$$

Prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti za prometna opterećenja reprezentativnih vozila navedenih u tablici 3.1,[SNV,1971].

U slučajevima kada je poznata vrsta motornih vozila koja prevladavaju na određenoj cesti, a vaganje vozila se ne provodi, moguće je odrediti odgovarajući faktor  $FE_V$  ekvivalentnosti na temelju gore navedenih jednadžbi. Informacijske vrijednosti mogu se uzeti za prosječne vrijednosti  $FE_V$  istovjetnog faktora za navedena vozila, ako udio teških kamiona nije poznat,

### 3.1.7 Ekvivalentno dnevno prometno opterećenje

Procjena ekvivalentnog dnevnog prometnog opterećenja je definirana načinom procjenjivanja prometnog opterećenja na kolniku.

Tablica 3.1: Faktori ekvivalentnosti prometnog opterećenja izvaganih vozila u odnosu na standardno osovinsko opterećenje od 82 kN[SNV,1971].

| Osovinsko opterećenje (kN) | Faktor ekvivalentnosti |                   |                   |
|----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------|
|                            | jedna osovina          | dvostruka osovina | trostruka osovina |
| 4                          | 0.000006               |                   |                   |
| 10                         | 0.00022                |                   |                   |
| 20                         | 0.00354                | 0.00063           |                   |
| 50                         | 0.13825                | 0.02469           | 0.00900           |
| 100                        | 2.21200                | 0.96500           | 0.14400           |
| 200                        | 35.3920                | 6.32000           | 2.30400           |
| 300                        |                        | 31.9950           | 2.80053           |
| 400                        |                        |                   | 36.8640           |

Tablica 3.2: Faktori ekvivalentnosti prometnog opterećenja odabranih reprezentativnih motornih vozila u odnosu na nominalno prometno opterećenje od 82 kN [SNV,1971].

| Osovinsko opterećenje kN | Faktor ekvivalentnosti |            |                               |            |                    |
|--------------------------|------------------------|------------|-------------------------------|------------|--------------------|
|                          | jedna osovina          |            | pojedinačna osovina u tandemu |            |                    |
|                          | jedan kotač            | dva kotača | jedan kotač                   | dva kotača | jedan široki kotač |
| 4                        | 0.000006               | 0.000004   | 0.000004                      | 0.000003   | 0.000004           |
| 10                       | 0.000221               | 0.000145   | 0.000158                      | 0.000104   | 0.000140           |
| 20                       | 0.00354                | 0.00232    | 0.00252                       | 0.00166    | 0.00224            |
| 50                       | 0.13825                | 0.09071    | 0.09894                       | 0.06491    | 0.08759            |
| 100                      | 2.2120                 | 1.4513     | 1.5830                        | 1.0386     | 1.4014             |
| 150                      | 11.198                 | 7.3472     | 8.0139                        | 5.2579     | 7.0947             |



Tablica 3.3: Prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti za reprezentativna vozila [SNV,1971].

| Reprezentativno vozilo | Prosječan faktor ekvivalentnosti |
|------------------------|----------------------------------|
| -automobil             | 0.00006                          |
| -autobus               | 1.20                             |
| -kamion:               |                                  |
| -laki                  | 0.01                             |
| -srednji               | 0.20                             |
| -teški                 | 1.10                             |
| -teški sa prikolicom   | 2.00                             |

Tablica 3.4: Prosječne informativne vrijednosti faktora ekvivalentnosti za kamione [SNV,1971].

| Prosječan broj teških kamiona po danu | Prosječan faktor ekvivalentnosti |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| < 200                                 | 0.9                              |
| > 200 - 1,000                         | 1.3                              |
| > 1000                                | 1.8                              |

### 3.1.8 Procjena na osnovu stvarnih prometnih opterećenja

Ako su stvarna, tj. izmjerena osovinska opterećenja poznata, moguće je procijeniti ukupno dnevno ekvivalentno prometno opterećenje na presjeku kolnika ( $T_d$ ), kao zbroj svih izmjerenih osovinskih opterećenja:

$$T_d = \sum FE_{nom}. \quad (3.3)$$

Ako zbroj  $\sum FE_{nom}$  nije poznat (tj. nije izravno određen mjernim sustavom), treba ga izračunati na temelju zbroja osovinskih opterećenja za pojedinačni raspored  $FE_{o,i}$  osovina i prema histogramima osovinskog opterećenja:

$$FE_{o,i} = \sum_{j=1}^R N_{i,j} x FE_{nomj}. \quad (3.4)$$

gdje je:

$i$  – jedna, dvojna ili trojna osovina

$R$  – broj razreda u histogramima osovinskog opterećenja

$N_j$  – broj osovina  $j$  razreda

$FE_{nom,j}$  – faktor utjecaja ekvivalentnosti srednje vrijednosti osovinskog opterećenja  $j$  razreda

Udio rasporeda pojedinih osovina na motornom vozilu treba odrediti sljedećim jednadžbama:

- za jednostruku osovinu:  $FE_{o1} = 10^{-8} x 2,212 x \sum_{j=1}^R N_{j1} x L_j^4$  (3.5)

- za dvostruku osovinu:  $FE_{o2} = 10^{-8} x 0,1975 x \sum_{j=1}^R N_{j2} x L_j^4$  (3.6)

- za trostruku osovinu:  $FE_{o3} = 10^{-8} x 0,048 x \sum_{j=1}^R N_{j3} x L_j^4$  (3.7)

### 3.1.9 Procjena na osnovu prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti

Ukupno dnevno ekvivalentno prometno opterećenje na poprečnom presjeku kolnika  $T_d$  može se odrediti na temelju predviđenog prosječnog dnevnog broja motornih vozila u prvoj godini eksploatacije cesta, na temelju sljedeće jednadžbe,[SNV,1971]:

$$T_d = \sum FE_V x n_V. \quad (3.8)$$

gdje je:

$FE_V$  -faktor ekvivalentnosti reprezentativnog motornog vozila,

$n_V$  -broj motornih vozila određene vrste (reprezentativne) po danu na početku, eksploatacije puta,[SNV,1971].

### 3.1.10 Dodatni faktori koji utiču na prometno opterećenje

Dodatni faktori koji utječu na prometno opterećenje predstavljeni su karakteristikama ceste:

- broj prometnih traka,
- širina prometne trake,
- uzdužni nagib razine kolnika.

### 3.1.11 Broj prometnih traka

Utjecaj raspodjele prometnog opterećenja na prometne trake na kolniku trebalo bi smatrati poprečnim faktorima  $f_{pp}$  profila, koji su navedeni u tablici 3.5.

Ako se prometno opterećenje određuje vaganjem na prometnoj traci, vrijednost faktora poprečnog presjeka treba uzeti kao  $f_{pp} = 1,0$  za određenu prometnu traku.

Tablica 3.5: Faktori raspodjele prometnog opterećenja  $f_{pp}$  na prometnim trakama (Žmavc, 2005)

| Broj prometnih traka | Faktor raspodjele prometnog opterećenja na prometne trake |      |      |      |      |      |
|----------------------|---|------|------|------|------|------|
|                      | 1   | 1.00 |      |      |      |      |
| 2                    |   | 0.50 |      |      | 0.50 |      |
| 3                    |   | 0.50 |      | 0.05 |      | 0.45 |
| 4                    | 0.45  |      | 0.05 | 0.05 |      | 0.45 |
| 5                    | 0.45  |      | 0.05 | 0.02 | 0.08 | 0.40 |
| 6                    | 0.40  | 0.08 | 0.02 | 0.02 | 0.08 | 0.40 |

### 3.1.12 Širina prometne trake

Utjecaj prometne trake na prometno opterećenje trebalo bi smatrati faktorima  $f_{st}$  kako je utvrđeno u tablici 3.6.

Tablica 3.6: Faktori utjecaja širine trake  $f_{st}$  prometno opterećenje (Žmavc, 2005)

| Širina prometne trake (m) | Faktor širine prometne trake |
|---------------------------|------------------------------|
| < 2.50                    | 2.00                         |
| 2.50 – 2.75               | 1.80                         |
| 2.75 – 3.25               | 1.40                         |
| 3.25 – 3.75               | 1.10                         |

### 3.1.13 Uzdužni nagib nivelete kolnika

Utjecaj (najvećeg) uzdužnog nagiba razine kolnika na promet trebalo bi smatrati čimbenicima  $f_{nn}$ , koji su navedeni u tablici 3.7.

Tablica 3.7: Faktori utjecaja uzdužnog nagiba nivelete kolnika  $f_{nn}$  na prometno opterećenje (Žmavc, 2005)

| Uzdužni nagib nivelete (%) | Faktor uzdužnog nagiba nivelete kolnika |
|----------------------------|---|
| < 2                        | 1.00                                    |
| iznad 2 do 4               | 1.02                                    |
| iznad 4 do 5               | 1.05                                    |
| iznad 5 do 6               | 1.09                                    |
| iznad 6 do 7               | 1.14                                    |
| iznad 7 do 8               | 1.20                                    |
| iznad 8 do 9               | 1.27                                    |
| iznad 9 do 10              | 1.35                                    |
| > 10                       | 1.45                                    |

### 3.1.14 Dinamički utjecaji

Zanošenje motornog vozila koje nastaje kao posljedica neravnomyjnosti kolnika stvara dodatno dinamičko opterećenje koje se može smatrati faktorom  $f_{du}$ , koji iznosi:

- dobri uvjeti vožnje  $f_{du} = 1.03$  i

- srednji uvjeti vožnje  $f_{du} = 1.08$ .

Vrijednosti faktora  $f_{du}$  uglavnom ovisi od kvaliteti izvedenih radova.

### 3.1.15 Projektirano prometno opterećenje

Projektirano prometno opterećenje se definira na osnovu:

- projektirano ekvivalentnog dnevnog prometnog opterećenja  $T_d$ ,
- dodatni utjecaji koji nastaju kao posljedica karakteristika ceste i
- trajanje prometa i godišnje povećanje prometa.

### 3.1.16 Trajanje i povećanje prometnog opterećenja

Predviđeno trajanje i povećanje prometnog opterećenja zbog povećanja prometa u tom razdoblju treba smatrati faktorom  $f_{po}$ , koji je naveden u tablici 3.8.

Tablica 3.8: Faktori povećanja prometnog opterećenja  $f_{po}$  u zavisnosti od projektiranog godišnjeg porasta prometa i predviđenog trajanja (Žmavc, 2005)

| Predviđeno trajanje (godina) | Stopa godišnjeg porasta prometa (%)    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|------------------------------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|                              | 1                                      | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
|                              | Faktor povećanja prometnog opterećenja |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 5                            | 5                                      | 5  | 5  | 6  | 6  | 6  | 6  | 6  | 7  | 7  |
| 10                           | 11                                     | 11 | 12 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 17 |
| 15                           | 16                                     | 18 | 19 | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 | 32 | 35 |
| 20                           | 22                                     | 25 | 28 | 31 | 35 | 39 | 44 | 49 | 56 | 63 |

### 3.1.17 Određivanje projektiranog prometnog opterećenja

Određivanje projektiranog prometnog opterećenja  $T_n$  se izvodi na osnovu sljedeće jednadžbe:

$$T_n = 365 * T_d * f_{pp} * f_{st} * f_{nn} * f_{du} * f_{po} \quad (3.9)$$

gdje je:

$T_n$  - projektirano prometno opterećenje za period od n godina,

$T_d$  - ekvivalentno dnevno prometno opterećenje,

- $f_{pp}$  - faktor prosječnog poprečnog presjeka kolnika,  
 $f_{st}$  - faktor širine prometne trake,  
 $f_{nn}$  - faktor uzdužnog nagiba nivelete,  
 $f_{du}$  - faktor dodatnih dinamičkih utjecaja,  
 $f_{po}$  - faktor povećanja prometnog opterećenja uslijed povećanja prometa u određenom periodu, (Žmavc, 2005).

## 4. KLIMATSKI I HIDROLOŠKI UVJETI

### 4.1 Predmet diplomskog rada

Ovaj diplomski rad pruža osnovu za definiranje klimatskih i hidroloških uvjeta za cestogradnju. Ovaj rad doprinosi objašnjenju najčešće korištenih pojmova koji se odnose na smrzavanje i zagrijavanja koja uzrokuju topljenje površinskih slojeva asfalta, karakteristike smrzavanja, kao i pojavu oštećenja zbog smrzavanja i zagrijavanja.

U ovom radu su navedene potrebne mjere za zaštitu materijala od oštećenja od smrzavanja, u fazi projektiranja, izgradnje i održavanja, kao i za osiguranje isplativosti tih mjera. Sadržaj ne može se tumačiti i primjenjivati kako bi se spriječila ili uvjetovala odgovarajuća primjena građevnih proizvoda, koji su zabranjeni za uporabu u skladu s odredbama Zakona o građevinskim proizvodima.

#### *4.1.1 Definiranje klimatskih i hidroloških uvjeta*

Opseg promjena u materijalu staza trupa nastalih tijekom smrzavanja i topljenja uglavnom ovisi o karakterističnim događajima u navedenim procesima. Procesi zamrzavanja i odmrzavanja uglavnom ovise o:

- karakteristika materijala
- lokalnih klimatskih i hidroloških uvjeta.

Utjecaj lokalnih klimatskih i hidroloških uvjeta smrzavanja i taljenja osnovni je koncept za definiranje dimenzija konstrukcije kolnika.

#### *4.1.2 Klimatski uvjeti*

Pri procjeni rizika od promjene karakteristika izgrađene kolničke konstrukcije ili materijala trupa ceste uslijed smrzavanja i taljenja potrebno je uzeti u obzir najnepovoljnije predvidive lokalne uvjete, tj.[SN 640 317a,1988]:

- dugotrajno smrzavanje i sporo prodiranje izoterma od 0 °C u materijal
- brzo otapanje.

Moguće je procijeniti da neće biti rizika od štetnih promjena zbog smrzavanja i odmrzavanja u sljedećim slučajevima:

- tijekom kratkog razdoblja smrzavanja (također u jakim smrzavanjima), kada izoterm od 0 °C prodire samo u slojeve materijala otporne na smrzavanja i
- tijekom kratkog razdoblja otapanja (južni vjetar).

Dubina prodora smrzavanja u trup ceste ovisi o toplinskim svojstvima materijala, osobito o njihovoj kompaktnosti i sadržaju vlage.

Ako je sadržaj vlage u materijalima donjeg potpornog stroja uglavnom nizak, smrzavanja relativno brzo prodire u takve materijale. U sitnozrnatim materijalima koji sadrže veću količinu vode, led prodire sporije. To znači da kada se debljina konstrukcije pločnika poveća kako bi se zaštitila od promjena u svojstvima materijala, koji nisu otporni na smrzavanja, djelomično je izazvan dublji prodor smrzavanja, što uzrokuje smrzavanje. Klimatski uvjeti u određenom okruženju mogu se odrediti na temelju, [SN 640 317a,1988].

- dubine prodiranje smrzavanja  $h_m$  ili
- indeksa smrzavanja  $I_m$ .

Obje vrijednosti mogu se odrediti odgovarajućim metodama mjerenja.

#### *4.1.3 Dubina smrzavanja*

Dubinu prodora smrzavanja mjerimo kroz sljedeće usvojene metode, [SN 640 317a,1988]:

- sa sondom s mjernim cijevima,
- sondom sa indikatorom dubine smrzavanja i
- električnom sondom.

Sredstva za mjerenje temperature u području točke smrzavanja ili iza navedenog područja stavljaju se u odgovarajuću cijev, a kasnije se postavljaju u vertikalni bunar smješten u trupu ceste.

U osnovi, mjerenja dubine prodora smrzavanja osmišljena su za praćenje temperature u kolničkim strukturama ceste. Na temelju utvrđenih maksimalnih dubina prodora smrzavanja u tipičnim područjima nalazi se karta o informacijskim dubinama prodora smrzavanja, na temelju koje je moguća jednostavna i brza



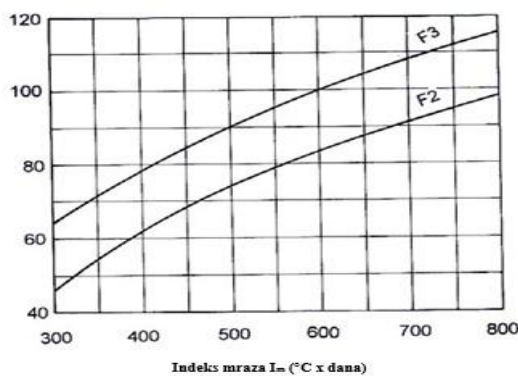
informativna procjena dubine prodora smrzavanja u određenom okruženju. (Žmavc, 2005)

#### 4.1.4 Indeks smrzavanja

Indeks smrzavanja određuje se na temelju apsolutne razlike između najviših i najnižih točaka integrirane krivulje srednjih (negativnih) temperatura zraka ( $C \cdot \text{dana}$ ). Predstavlja intenzitet i utjecaj niskih temperatura u određenom okruženju.

Određivanje prosječne dnevne temperature zraka temelji se na metodi koju koriste hidrometeorološke službe (prosječne temperature izmjerene u 7, 14 i 21 sat, na visini od 1,2 m iznad tla). Integrirana krivulja srednjih dnevnih temperatura povećava se ako su temperaturne vrijednosti pozitivne i počinje se smanjivati ako se vrijednosti temperature spuste ispod  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . U slučaju da se tijekom razdoblja smrzavanja pojavi prolazno upozorenje, što ne uzrokuje otapanje materijala u cjelini, ukupna razlika između najviših i najnižih točaka na integriranoj krivulji smatra se vrijednošću predviđenog indeksa smrzavanja.

Za projektiranje kolničke konstrukcije ceste, kao i za određivanje mjera za zaštitu kolničke konstrukcije od štetnih učinaka smrzavanja i topljenja potrebno je napraviti procjenu predviđenog indeksa smrzavanja za cijeli predviđeni vijek trajanja. Prema pravilu, navedena vrijednost predstavlja srednju vrijednost indeksa smrzavanja u tri najhladnije zime u odabranom nizu godina. Utjecaj indeksa smrzavanja  $I_m$  procjenu potrebne zaštite materijala F2 i F3 koji su podložni smrzavanju određuje se neizravno na temelju dubine prodora smrzavanja  $h_m$ , [SN 670 005: 1970]. Vidljivo na slici 4.1.



Slika 4.1: Ovisnost o prodiranju smrzavanja u materijale F2 i F3 iz indeksa smrzavanja [SN 670 005: 1970].

#### 4.1.5 Hidrološki uvjeti

Hidrološki uvjeti u određenom okruženju potrebni su za procjenu osjetljivosti strukture kolnika i materijala u njenom sastavu na smrzavanje, kao i za određivanje mjera za sprečavanje oštećenja.

Hidrološka stanja određuju se na temelju sljedećeg:

- razina podzemnih voda,
- dubina prodora smrzavanja
- osjetljivost materijala na smrzavanje.

Na temelju tih čimbenika dijelimo hidrološke uvjete na:

- povoljne
- nepovoljne.

Hidrološki uvjeti su povoljni, ako:

- visina cestovnog nasipa je najmanje 1.5 m,
- razina podzemnih voda stalno je ispod dubine prodora smrzavanja  $hm$ ,
- osigurana je dobra drenaža plitkog usjeka,
- bočni ulazak vode u trup ceste (iz vodenih tokova) ili s površine spriječen je iznad razine podzemnih voda.

Hidrološka stanja su nepovoljna, ako je :

- visina nasipa manja od 1.5 m,
- nivo podzemne vode u području dubine prodiranja smrzavanja  $hm$ ,
- nedovoljno osigurano odvodnjavanje plitkog usjeka,
- usjek dubok,
- omogućeno podizanje nivoa podzemne vode ili bočno ulijevanje vode kao i ulazak vode sa površine.

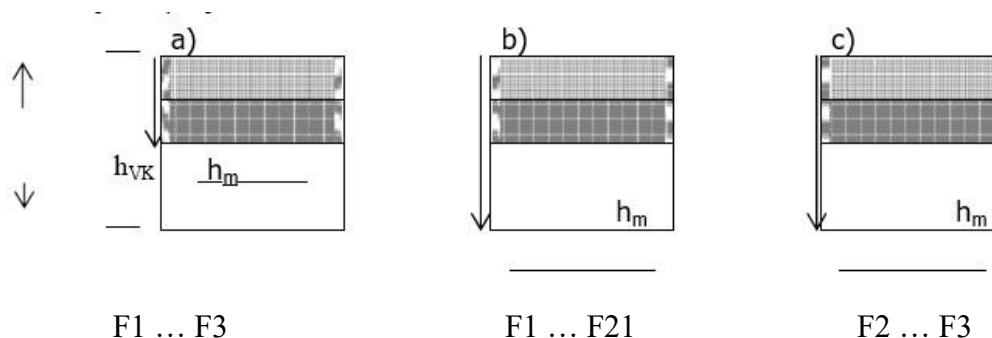
U slučaju da se koriste sitnozrnati materijali, koji su općenito osjetljiviji na smrzavanje, podizanje razine podzemnih voda može biti vrlo značajno. Stoga je u većini slučajeva potrebno uzeti u obzir nepovoljne hidrološke uvjete, bez obzira na činjenicu da se razina podzemnih voda nalazi nekoliko metara ispod posteljice. [ SN 670 005: 1970].

#### 4.1.6 Faktori koji utječu na projekt

Rizik od oštećenja na cestama zbog smrzavanja i otapanja ovisi o sljedećim čimbenicima, [SN 640 005,1970]:

- dubina prodiranja smrzavanja  $h_m$ ,
- hidrološka stanja,
- osjetljivost materijala na zamrzavanje, koja je određena razredima
- debljina konstrukcije kolnika, koja je otporna na smrzavanje.

Mjere za sprečavanje štetnih učinaka smrzavanja i odmrzavanja potrebne su i relevantne za materijale razvrstane u razrede F2 i F3, kada dubina smrzavanja dosegne navedene materijale, te je potrebno uzeti u obzir nepovoljne hidrološke uvjeti (slika 4.2c). U svim drugim uvjetima (Slika 4.2.a i Slika 4.21+.b), otpornost konstrukcije kolnika relevantna je za projekt.



Slika 4.2: Vrste mjera za sprečavanje negativnih učinaka smrzavanja [ SN 670 005: 1970].

Oznake na slici 4.2 označavaju:

$h_{VK}$ . - debljina kolničke konstrukcije

$h_m$ . - projicirana dubina prodora smrzavanja

F1 ... F3 - Osjetljivost materijala na smrzavanje

1 - Materijali razvrstani u F1, ako je ispunjen uvjet

Kako bi se struktura kolnika ceste zaštitila od štetnih učinaka smrzavanja ili oštećenja, potrebno ju je izraditi od otpornih materijala na određenoj dubini. Iskustvo stečeno na cestama na kojima postoje velika prometna opterećenja, gdje nije zabilježena šteta uslijed smrzavanja i odmrzavanja, pokazalo je da je minimalna

potrebna debljina kolničke konstrukcije  $h_{min}$  (tj. debljina otpornih materijala) nije jednaka izmjerenoj maksimalnoj dubini prodora smrzavanja  $h_m$ , ali da je u pravilu dovoljna manja ukupna dubina  $h_{min}$  slojeva materijala otpornih na smrzavanje. Na temelju toga kreirana se tablica 4.1.

| Otpornost materijala ispod konstrukcije kolnika učinci smrzavanja i odmrzavanja | Hidrološki uvjeti | Debljina kolničke konstrukcije $h_{min}$ |
|---|-------------------|--|
| otporan   | povoljni          | $\geq 0.6 h_m$                           |
|   | nepovoljni        | $\geq 0.7 h_m$                           |
| neotporan   | povoljni          | $\geq 0.7 h_m$                           |
|   | nepovoljni        | $\geq 0.8 h_m$                           |

Tablica 4.1: Prikaz ukupne dubine slojeva materijala otpornih na smrzavanje

#### 4.1.7 Smrzavanje tla i otapanje leda

Točka smrzavanja vode je na  $0^\circ\text{C}$  kada voda prelazi iz tekućeg stanja u čvrsto, čiji se volumen povećava za približno 10%, a čija se gustoća smanjuje za približno 9%. Tijekom procesa zamrzavanja oslobađa se toplinska energija od približno 335 kJ/kg.

Ako u vodi nema kristalizacijske jezgre ili ako voda sadrži kemijske otopine ili ako je voda pod pritiskom, točka smrzavanja može biti na nižoj temperaturi.

Budući da čista voda ne sadrži čvrste jezgre, može doći do znatnog hlađenja vode bez stvaranja leda.

Budući da se čista voda u materijalu smrzava, kristali leda rastu i tako mijenjaju prirodnu ravnotežu vode ovisno o granulometrijskom sastavu i mineraloškim svojstvima materijala. Zbog smanjenja sadržaja odmrznute vode u materijalu dolazi do određenog negativnog tlaka (napetosti), koji uzrokuje dotok vode, po dolasku u područje smrzavanja, povećava količinu leda u obliku ledenih leća i slojeva, koji iskopavaju i podižu smrznuti materijal, [SN 670 008, 1970].

Povećanje količine leda (ledenih leća) u materijalu ovisi o sljedećem:

- sadržaj vode,
- promjer,

- vodootpornost materijala,
- trajanja smrzavanja i
- oštine smrzavanja.

Na temelju gore navedenih razmatranja moguće je zaključiti da su dobro propusni krupnozrnatih i zemljani materijali, npr. glina nije osjetljiva na smrzavanje, jer sprječava ulazak čiste vode u područje smrzavanja. Povećanjem sadržaja sitnozrnatih zrna (prašnjavi pijesak, prašina), rizik od previše leda u materijalu postaje veći.

Ako se voda smrzne u materijalima i mokrom kamenju, volumen se povećava, a pojava se događa slična onoj koja se javlja tijekom miniranja, ako čvrstoća veze ne izdrži pritisak kristalizacije. Međutim takav fenomen javlja se samo na temperaturama koje su znatno ispod 0 ° C, jer točka smrzavanja vode pada zbog povećanog tlaka, (Žmavc, 2005).

Tijekom razdoblja smrzavanja led prodire u materijal. Što je led jači i što duže radi, to je brži i dublji njegov prodor. Informativna dubina granice prodora leda proporcionalna je kvadratnom korijenu vremena prodiranja.

Led, koji se u trupu puta stvorio za vrijeme perioda smrzavanja, počinje se topiti kada na njega počne djelovati toplina i to:

- odozgo uslijed zagrijavanja i
- odozdo iz gornjih slojeva Zemlje.

Otapanjem povećanih količina leda, odnosno ledenih leća ili slojeva, počinju se mijenjati plastična svojstva i konzistencija materijala (tla), koja su oslabila smrzavanjem. U određenim okolnostima materijal može postati rjeđi ili čak tekući, a zatim se njegova nosivost značajno mijenja.

Otapanje vlažnih materijala “odozgo“ često je brže nego “odozdo“, tako da se otopljeni materijal zajedno s vodom još uvijek nalazi na još smrznutoj podlozi, što sprječava njegovu drenažu. U takvim slučajevima, rijedak ili tekući materijal može prodrijeti kroz pukotine na površini kolnika. Samo ako se voda odvodi prema dolje, moguće je ispustiti velike količine vode, a materijal može postupno povratiti svoja izvorna svojstva.

#### *4.1.8 Oštećenje uslijed smrzavanja tla i otapanja leda*

Oštećenja na kolničkoj konstrukciji mogu nastati u sljedećim okolnostima ,[ZTV,2009]:

- vrlo jak i dugotrajan led,
- osjetljivost materijala kolničke konstrukcije, koji je postavljen u zoni prodiranja led na smrzavanje,
- voda može dospjeti u kolničku konstrukciju do linije prodiranja smrzavanja,
- prometno opterećenje,
- nedovoljna nosivost kolničke konstrukcije.

Prema pravilu, oštećenja na kolničkoj konstrukciji mogu nastati samo ako se ostvare svi gore navedeni čimbenici. Zaštitne mjere protiv oštećenja uzrokovanih smrzavanjem i otapanjem uglavnom su namijenjene samo jednom od prethodno navedenih uvjeta. Različite studije su pokazale da se zbog smrzavanja ne događa nikakva ili manja oštećenja, ako [ZTV,2009]:

- led ne doseže ispod donjeg ruba kolničke konstrukcije koja je otporna na led,
- a nema dovoljno vremena za nakupljanje leda u području osjetljivih materijala; oštećenja se mogu pojaviti samo zbog stvrdnjavanja i skupljanja asfaltne smjese (stvaranje pukotina ).

Manja oštećenja od leda mogu nastati ako se smrzavanje dogodi brzo, a ako je led dugotrajan i duboko prodire; sloj leda je obično toliko dubok da, osim što stvara široko podignute dijelove kolnika, ne utječe negativno na površinu kolnika .

Veća oštećenja na strukturi kolnika nastaju ako led prodre tek malo ispod upravljačke strukture, odnosno u materijal koji je osjetljiv na led, a zadržava se duže i stvara značajno nakupljanje leda izravno ispod strukture kolnika.

Razorni učinci vode pri smrzavanju mogu uništiti veze između materijala. Međutim, takve su promjene prema pravilu, manjeg opsega i bez značajnog utjecaja na stanje ceste. Prevladavajuća oštećenja na cesti zbog smrzavanja nastaju zbog neravnomjernog podizanja cestovnog puta koji nastaje zbog povećanih količina vode ili leda. Neravnomjerno podizanje ceste uglavnom se događa ako led prodre uz rub ceste na manjoj dubini nego na sredini ceste. To je slučaj, ako [ZTV,2009]:

- toplinska vodljivost uglavnom obraslog gornjeg sloja niža je od vodljivosti konstrukcije kolnika ili
- je prodiranje leda u osjetljivo tlo različito zbog nakupljanja snijega na rubovima ceste.

Neravnomjerno ili raznoliko podizanje kolnika može nastati i kao posljedica lokalno različitih kolničkih konstrukcija ili zbog različitog dotoka vode u područje zaleđenog tla .

Uspion kolnika uzrokuje ispupčenje na površini kolnika u asfaltnim kolnicima ove izbočine stvaraju otvorene uzdužne pukotine u slučaju čvrstih cementno-betonskih zastora, navedena izbočina stvara više ili manje nejednako podizanje(formiranje stepenica). Ta nejednakost utječe i na upotrebljivost kolnika.

Smanjena nosivost kolničke konstrukcije tijekom otapanja može uzrokovati deformaciju i njezino pucanje zbog prometnog opterećenja. Pukotine mogu biti u obliku male mreže, koja se naziva krokodilska koža ili u obliku većih blokova, koji označavaju početak uništenja strukture kolnika.

Struktura kolnika također se može uništiti, ako je asfaltni zastor relativno tanak, koja se postavlja na površinu slabije nosivosti, izložena prolaznom utjecaju jakog leda. Zbog stvrdnjavanja bitumenskog veziva, koje nastaje zbog niske temperature i termički induciranih napona, kolnički zastor može puknuti i raspršiti se na komade zbog mehaničkog opterećenja, [ZTV,2009].

Može se reći da je materijal osjetljiv na smrzavanje, ako se u njemu pojave ledene leće ili slojevi, zbog djelovanja leda, koji su više ili manje usporedivi s linijom leda, a koji uzrokuju pojavu porasta pločnika, materijal se također smatra osjetljivim na smrzavanje ako se njegova nosivost smanji otapanjem.

Osjetljivost materijala na zamrzavanje ovisi o, [ZTV,2009]:

- granulometrijskog sastava,
- oblika zrna,
- kompaktnosti,
- vrsti minerala u sitnozrnim grupama i
- mineraloško-kemijskih svojstava.

Na temelju kriterija za granulometrijski sastav, materijali koji se koriste za izgradnju cesta mogu se svrstati u tri razreda prema njihovoj osjetljivosti na smrzavanje.

Na temelju koeficijenta neravnina oblika granulometrijske krivulje materijala  $U = d_{60}/d_{10}$ , kao i sadržaja sitnih čestica (do 0,063 mm), izvedena je detaljnija definicija klasa osjetljivosti materijala F1 i F2. U skladu s kategorizacijom materijala, koja je prikazana u tablici 4.2., svi agregati krupnog zrna koji sadrže do 5 % mase zrna do 0,063 mm nisu osjetljivi na led. Mješoviti agregati koji sadrže do 15 % mase sitnih čestica nisu osjetljivi ili su samo malo osjetljivi na led ako je koeficijent neravnina oblika granulometrijske krivulje do  $U = d_{60}/d_{10} \leq 6$ .

Ako je koeficijent  $U$  6 do 15, dopušteni sadržaj sitnih čestica u materijalu treba linearno interpolirati između 15 % mase i 5 % mase. Ako miješani materijali ne zadovoljavaju ovaj kriterij, treba ih razvrstati u klasu materijala koji su osjetljivi na smrzavanja F2.

Tablica 4.2: Kategorizacija materijala (agregata) na osnovu njihove osjetljivost na smrzavanje, [ZTV,2009].

| Razred | Osjetljivost              | Sadržaj zrna do<br>0.063 mm<br>% mase | Kategorizacija <sup>1</sup>  |
|--------|---------------------------|---------------------------------------|--|
| F1     | neosjetljiv               | < 5                                   | GW, GP<br>SW, SP   |
| F2     | malo do srednje osjetljiv | 5 ... 15                              | GC <sup>2</sup> , GM <sup>2</sup><br>SC <sup>2</sup> , SM <sup>2</sup><br>CL, CH |
| F3     | veoma osjetljiv           | > 15                                  | SM – ML<br>ML, MH<br>CL - ML   |

Oznaka tablice 4.2. označavaju:

F1 - Kategorizacija u skladu s DIN 18 196 i USCS

G – šljunak,

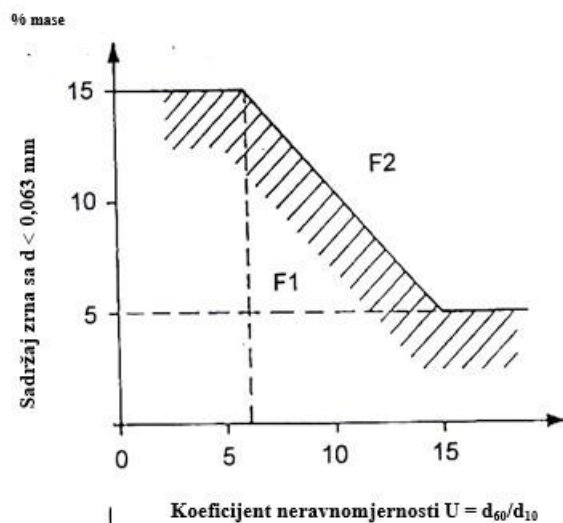
S – pijesak,

M – prašina,

C – glina,

F2 - Razvrstano u F1, ako se primjenjuje uvjet naveden na slici 4.3





Slika 4.3: Određivanje klasa osjetljivosti F1 i F2 ovisno o koeficijentu U i sadržaju sitnih čestica,[ZTV,2009].

Osjetljivost miješanih i sitnozrnati materijali zrnastih agregata na smrzavanje proizlazi iz složenog istodobnog djelovanja:

- stvaranje negativnog tlakova pri smrzavanje vode na ledenoj granici - vode,
- primjese raznih minerala gline,
- vodopropusnost materijala u vezi s brzinom kompaktnosti,
- pokretljivost vode,
- plastičnost malih čestica i
- uvjeti taloženja materijala (prirodni ili uništeni iskopavanjem i ugradnjom).

Stoga su potrebna sveobuhvatna laboratorijska ispitivanja kako bi se utvrdila osjetljivost lokalnih materijala na zamrzavanje, tj.:

- vrijednosti CBR-a nakon zamrzavanja i otapanja (CBR3), a u posebnim slučajevima i
- porast zbog utjecaja leda na uzorke materijala s različitim sadržajem vode.

Na temelju rezultata dobivenih mjerenjima, u skladu s metodom CBR3 (nakon zamrzavanja i otapanja), materijali se mogu razvrstati u razrede osjetljivosti na smrzavanje, kako je navedeno u tablici 4.3.

Tablica 4.3: Kategorizacija materijala prema osjetljivosti na smrzavanje na osnovu CBR<sub>3</sub> vrijednosti, [ZTV,2009].

|                             | Razred osjetljivosti materijala |           |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------|
|                             | F1                              | F2        |
| CBR <sub>3</sub> vrijednost | > 30 %                          | 8 .. 30 % |

Oštećenje leda nastaje zbog kontinuiranog djelovanja leda i vode. Stoga je sama voda, kao i njezino dodirivanje i isticanje vrlo važna za strukture prometnog kolnika. Kako bi se očuvala nosivost materijala i spriječila oštećenja materijala koji su osjetljivi na smrzavanje, potrebno ih je zaštititi od prodora vode, a potrebno je što bolje obaviti njihovu drenažu. To se odnosi na sve metode gradnje provedene na podlozi koja je osjetljiv na smrzavanje. Ovisno o izvoru vode, potrebno je razlikovati utjecaj površinskih voda, utjecaj vode koja prodire bočno i utjecaj podzemnih voda,[ZTV,2009].

Kroz razdjelni pojas, atmosferske vode mogu prodrijeti u strukturu i podnožje prometnog kolnika (donji stroj, nasip, posteljica). Voda koja prodire bočno može se uspješno oduzeti samo učinkovitom dubokom drenažom.

Međuovisnost udaljenosti između linija prodora leda i podzemnih voda i oštećenja uzrokovana smrzavanjem su složena. Podzemne vode mogu se podići kao vezane podzemne vode vrlo visoko u tlo vrlo niske propusnosti. Stoga budući da je propusnost tla vrlo mala, količina podignutih vezanih podzemnih voda je više ili manje ograničena, pa se smanjuje rizik od oštećenja. Utjecaj vode može se smatrati značajnim ako je razina podzemnih voda stalno ili povremeno manja od 2 m ispod površine posteljice tijekom razdoblja smrzavanja. Međutim, utjecaj vode ne može se u potpunosti isključiti čak i kada je razina podzemnih voda dublja. Samo mala količina vode (vlage) u materijalu podloge dovoljna je da uzrokuje koncentraciju vode u obliku sloja leda, (Žmavc, 2005).

Tijekom zamrzavanja povećava se nosivost materijala. Kao rezultat toga, ne postoji izravna opasnost od oštećenja zbog prometnih opterećenja. Tijekom taljenja prometno opterećenje može uzrokovati oštećenje kolnika nedovoljne nosivosti. U takvim okolnostima osovinsko opterećenje vozila je vrlo značajno, dok je gustoća prometa od manje važnosti.

Cesta mora biti zaštićena od oštećenja uzrokovanih smrzavanjem ili odmrzavanjem, ako su istovremeno prisutna sljedeća dva uvjeta:

- osjetljivost materijala na smrzavanje (F2)
- slobodna kapilarna voda ili voda vezana apsorpcijom dodiruje područje smrzavanja, a njegova količina dovoljna je za stvaranje leda.

Zaštitne mjere treba planirati tako da je moguće isključiti jedan od dva gore navedena uvjeta.

Utjecaj leda može se smanjiti ako je snijeg ostao na cesti, a ako se umjesto soli kako bi se spriječilo stvaranje leda, za prskanje koriste mineralni materijali. Međutim, to je izvedivo samo na cestama nižih kategorija (s relativno niskim intenzitetom prometa), pod uvjetom da sigurnost prometa nije ugrožena.

Uvijek se mora omogućiti učinkovita odvodnja površine kolnika, konstrukcije kolnika, donjeg stroja, nasipa i posteljice. Za učinkovitu odvodnju potrebno je redovito održavati sustave odvodnje, (Žmavc, 2005).

Oštećenja uzrokovana smrzavanjem mogu se smanjiti ili čak otkloniti redovitim održavanjem ceste. Nažalost, ova se mjera ne može primijeniti za sve izvore štete. Za materijale koji su manje osjetljivi na smrzavanje, poprečni nagib posteljice trebao bi biti najmanje 2,5 %, dok bi za osjetljivije materijale (kohezivno tlo) poprečni nagib trebao biti najmanje 4 %. Što je veći hidraulički pad, to je kraće vrijeme odvodnje.

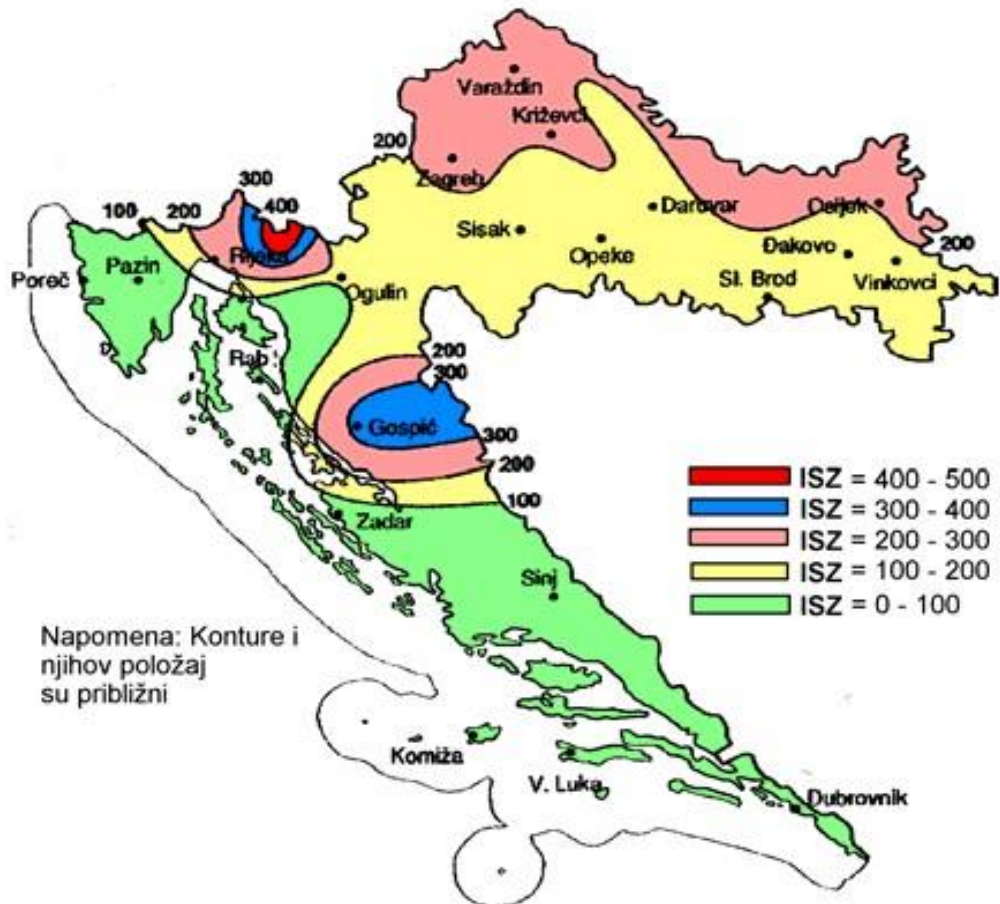
Ukoliko kolnička konstrukcija nije vodonepropusna, atmosferske vode mogu prodrijeti u podlogu i tako ubrzaju stvaranje oštećenja uslijed smrzavanja. Odgovarajuća hidroizolacija također može biti mjera za održavanje, (Sršen, 2004).

Prilikom izvođenja konstrukcije kolnika posebnu pozornost treba posvetiti kvaliteti mineralnih agregata koji se koriste za proizvodnju donjeg stroja, u skladu s važećim tehničkim propisima. Kapacitet upijanja vode ulazne veličine zrna agregata veće od 4 mm mora biti  $\leq 0,5$  % mase.

Ako materijal konstrukcije kolnika nije dovoljno otporan na smrzavanje i otapanje, tako da dio ili cijelu kolničku konstrukciju treba zamijeniti materijalima koji nisu osjetljivi na smrzavanje i otapanje, smatra se da je toplinska vodljivost veća od vodljivosti postojećih materijala koji su osjetljivi na smrzavanje. To znači, da se

nakon promjene materijala, dubina smrzavanja značajno povećala, što je posebno potrebno uzeti u obzir u stabilnim strukturama / objektima.

Ceste na kojima se materijali otporni na led postavljaju u području prodora leda, iz ekonomskog ili bilo kojeg drugog razloga, mogu se značajno zaštititi od oštećenja uzrokovanih smrzavanjem i taljenjem, ograničavanjem osovinskog opterećenja vozila ili potpunim zatvaranjem ceste za promet. Trajanje gore navedenih ograničenja ovisi o protoku otapanja, opsegu omekšavanja baze i stanju drenažnih sredstava. Potrebni podaci o promjeni nosivosti do koje dolazi s vremena na vrijeme mogu se dobiti na temelju koordiniranih mjerenja deformacija pomoću Benkelmanove grede, tijekom otapanja se mjerenja moraju provoditi svakodnevno, (Sršen,2004).



Slika 4.4: Karta pojedinih zona indeksa smrzavanja zraka (ISZ) za područje Republike Hrvatske (Sršen,2004).

## 4.2 Karakteristike materijala za kolničke konstrukcije

U ovom radu teorijski se opisuju osnove za mjerenje modula deformacije, kao i procjena rezultata mjerenja. Svrha mjerenja modula deformacije je odrediti protok i opseg slijeganja površine ugrađenog sloja koji se sastoji od zrnatog materijala. Karakteristike slijeganja (elastična i plastična komponenta) omogućuju procjenu nosivosti, kao i provjeru naboja i razumljivosti ugrađenog materijala.

U procesu izgradnje ceste mjerenje modula deformacije sastavni je dio kontrole kvalitete izvedenih zemljanih radova i donjeg nosivog sloja konstrukcije kolnika. Sami moduli deformacije predstavljaju jednu od podloga za određivanje potrebnih dimenzija kolničkih konstrukcija, (Žmavc, 2005).

Ovisno o namjeni za koju će se koristiti i načinu mjerenja, prilikom izgradnje ceste potrebno je izmjeriti sljedeće količine:

- moduli statičke deformacije  $E_{VS}$ ,
- moduli dinamičke deformacije  $E_{VD}$ ,
- moduli stišljivosti i kompresije  $M_E$ ,
- moduli reakcije posteljice  $k_S$ ,
- CBR vrijednosti

### 4.2.1 Fizičke osnove mjerenja modula deformacije

U homogenom elastičnom izotropnom temeljnom tlu, slijeganje ispod kružne ploče definirano je sljedećom jednadžbom, [BAST, 1968]:

$$s = \frac{\pi}{2} x (1 - \mu^2) x \frac{pxr}{E}. \quad (4.1)$$

gdje je:

- $\mu$  – Poisson-ov omjer ( $x = 0.5$ ),
- $p$  – ravnomjerno vertikalno opterećenje (normalni napon  $\sigma$ ),
- $r$  – radijus kružne ploče,
- $E$  – modul elastičnosti materijala,

Modul elastičnosti materijala  $E$  u homogenom temeljnom tlu definiran je u odnosu na modul deformacije  $E_V$  na temelju sljedeće jednadžbe:

$$E = \frac{\pi}{3} x (1 - \mu^2) x E_V. \quad (4.2)$$

Na taj način jednažba za modul deformacije  $E_V$  dobiva svoj osnovni oblik, koji glasi:

$$E_V = \frac{3}{2} x \frac{pxr}{s} = 0,75x \frac{p}{s} xD. \quad (4.3)$$

#### 4.2.2 Osnovne metode mjerenja

Kada je riječ o osnovnim metodama, jednažbe za određivanje karakterističnih vrijednosti deformacije ugrađenih materijala usvajaju se izravno ili se mijenjaju temeljni oblici:

- za statički modul deformacije  $E_{VS}$ :

$$E_{VS} = 0,75 \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} D. \quad (4.4)$$

gdje je:

$-\Delta\sigma$  – razlika između dvije predviđene razine vertikalnog opterećenja (=  $\Delta p$ ) [MN/m<sup>2</sup>]

$\Delta s$  – razlika između dva poravnanja kružne ploče pri promjeni specifičnog opterećenja za  $\Delta p$  [mm],

$D$  – promjer kružne ploče [mm]

- za modul dinamičke deformacije  $E_{VD}$ :

$$E_{VD} = 1,5r \frac{\sigma}{s}. \quad (4.5)$$

gdje je:

$\sigma$  – normalan napon ispod ploče koja je opterećena maksimalnom silom  $F_s$ :

$$\sigma = \frac{F_s}{\pi r^2}. \quad (4.6)$$

- za modul stišljivosti  $M_E$  :

$$M_E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} D. \quad (4.7)$$

- za modul reakcije posteljice  $k_s$ :

$$k_s = \frac{\sigma_o}{s}. \quad (4.8)$$

- za *CBR* vrijednost:

$$CBR = \frac{\sigma}{\sigma_s} 100. \quad (4.9)$$

gdje je:

$\sigma$  – opterećenje za standardno utiskivanje materijala koji se ispituje

$\sigma_s$  – opterećenje za normirano utiskivanje u standardni materijal (kameni sitnež), [BAST,1968].

#### 4.2.3 Mjerna oprema

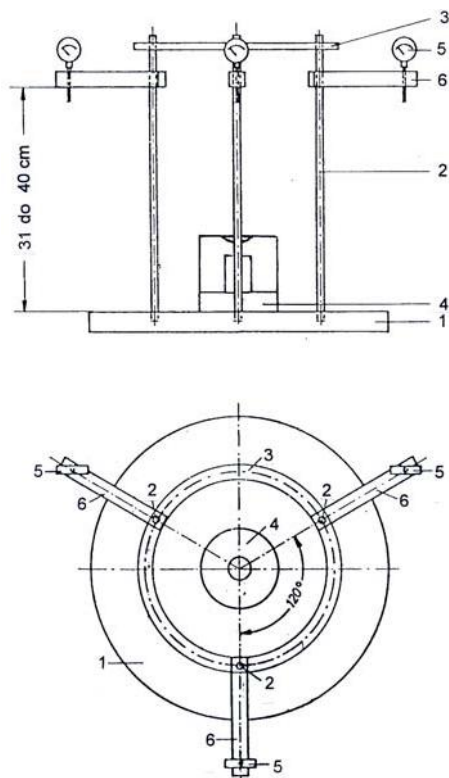
Mjerna oprema za određivanje slijeganja baze pomoću kružne ploče sastoji se od sljedeće tri osnovne komponente, [BAST,1968]:

- kruta kružna ploča,
- uređaji za učitavanje,
- oprema za mjerenje subvencija i
- oprema za procjenu i izvođenje mjerenja.

Osim gore navedene opreme, sva mjerenja provedena kružnom pločom potrebna je odgovarajuća protuteža, osim određivanja modula dinamičke deformacije, [BAST,1968].

#### 4.2.4 Kružna ploča

Oprema za mjerenje statičkog modula deformacija podrazumijeva kružnu ploču promjera 300 mm, a debljina najmanje 25 mm. Na ploči moraju biti tri nosača za postavljanje mjernih uređaja (2), spojni prsten (3) i dodatne pomoćne ploče (4). Na donjoj strani navedene pomoćne ploče nalazi se otvor koji omogućuje mjerenje pomoću jednog mjernog uređaja (uređaja za mjerenje pokreta). Da bi se dodatna pomoćna ploča ugradila stabilno i na sredinu, potrebno je osigurati potpornu ploču odgovarajućim utorom.



Slika 4.5: Program kružnih ploča, uključujući opremu za mjerenje slijeganja, [BAST,1968].

Gore navedeni uređaji sastoje se od sljedećih komponenti: pumpe za ulje pod tlakom s ventilom za regulaciju tlaka, tlačno crijevo, i hidraulički klip.

Da bi se postigao savršen prijenos opterećenja, na hidraulički klip treba ugraditi dvostrani klip. Klip se može produžiti odgovarajućim elementima, ali duljina ne smije prelaziti 1 m. Prianjanje klipa treba biti najmanje 150 mm.

Mjerni instrumenti koji se koriste za mehaničko i/ili elektroničko mjerenje opterećenja također su sastavni dio mjernog uređaja (točnost mjerenja s odstupanjem od najviše 1%).

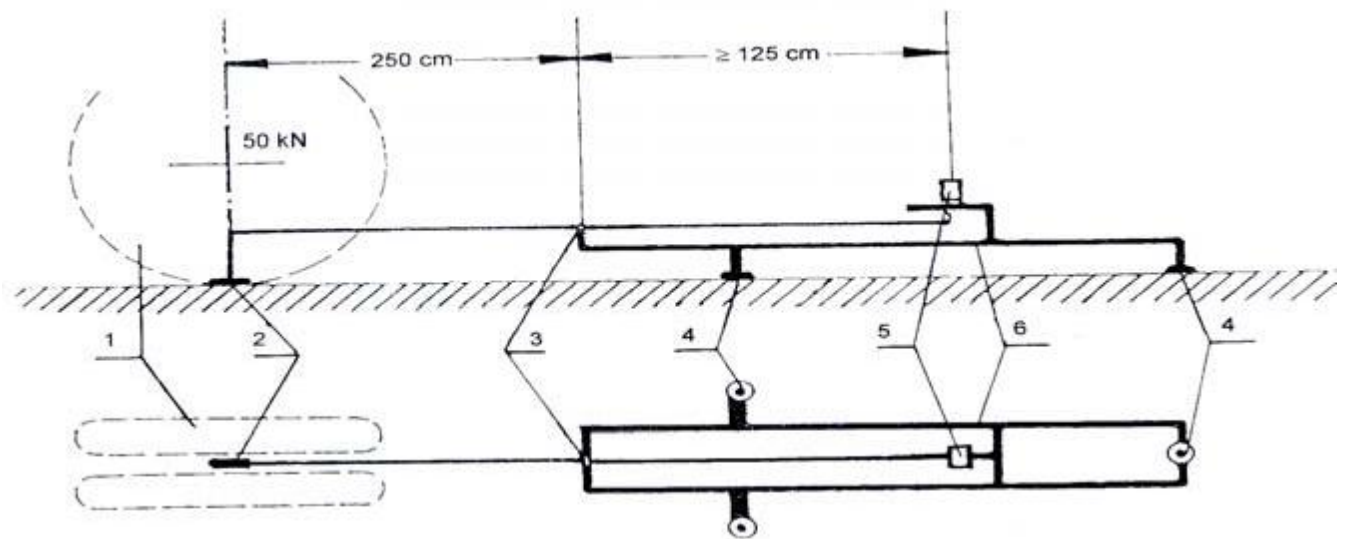
#### 4.2.5 Oprema za mjerenje slijeganja

Benkelmanova zraka predstavlja mehanički mjerni uređaj koji prenosi vertikalne pokrete površine konstrukcije kolnika na mjerni sat (Slika 4.6.). Sastoji se od sljedećih komponenti:

- prijenosni ili pokretni držač s tri nosača, visina nosača može se podesiti,
- vertikalni pokretni krak senzora, koji se može blokirati,



- mjerni sat (promjer < 100 mm), mjerni raspon od 30 mm i s podjelom ljestvice od 0,01 mm,
- vibratora koji je moguće podesiti u cilju uklanjanja trenja kraka senzora kao i trenja na mjestu mjernog sata.



Slika 4.6: Benkelmanova greda (BAST,1968)

Legenda:

- 1- položaj kotača
- 2- vrh kraka senzora
- 3 – potporna šarka
- 4 – podesivi nosač
- 5 – mjerni sat
- 6 – držač

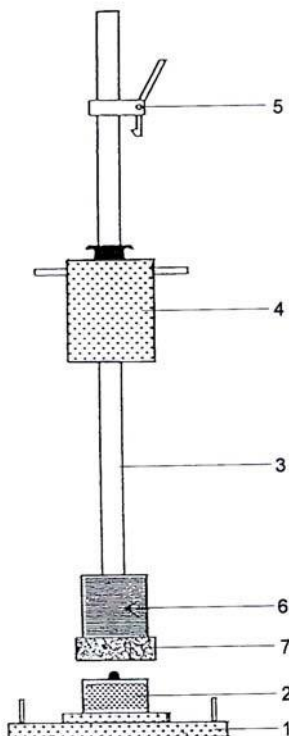
Duljina senzorske ruke od vrha senzora do ležaja (250 cm) i od ležaja do mjernog sata (125 cm) mora biti u omjeru 2:1 (ili 1:1). Udaljenost vrha senzora od susjednih nosača treba biti najmanje 270 cm. Ako je uređaj za mjerenje matrice pokrenut, ruka Benkelmanova senzora snopa mora biti blokirana. Umjesto mjernog sata moguće je koristiti točan elektronički mjerni uređaj, npr. induktivni mjerač kretanja.

Za opterećenje mjerne točke potreban je kamion s dvije osovine, koji ima dva dvostruka kotača na stražnjoj (mjernoj) osovini. Udaljenost između unutarnjih rubova pneumatik treba biti 90-140 mm. Opterećenje osovine treba biti 100 kN. Prije i nakon mjerenja potrebno je provjeriti opterećenje osovine pomoću odgovarajućeg mjernog uređaja. Ako opterećenje na kotačima odstupa od 50 kN, vrijednosti izmjerene bolesti treba ispraviti u skladu s tim. Tlak zraka u gumama mora biti isti i mora biti približno 0,7 MPa, ali ne manji od 0,45 MPa.

Za mjerenje temperature asfaltnog zastora (u pravilu, na dubini od 4 cm), posebno su prikladni elektronički mjerni uređaji sa senzorom u rasponu od 0 °C do 50 °C. Točnost izmjerene temperature trebala bi biti + 1 °C. Benkelmannova greda trebala bi osigurati točnost mjerenja trajnosti površine konstrukcije kolnika do 0,05 mm.

#### 4.2.6 Oprema za mjerenje dinamički modul deformacije $E_{VD}$

Shema opreme za određivanje dinamičkog modula deformacije  $E_{VD}$  prikazana je na slici 4.7.



Slika 4.7: Shema kružne ploče sa opremom za dinamičko opterećenje kao i za mjerenje slijeganja (Žmavc, 2005)

Promjer kružne ploče (1) trebao bi biti 300 mm, dok debljina treba biti 20 mm (17 mm, 15 mm). Kućište sa senzorom i klinom (2) mora biti pričvršćeno na ploču za podešavanje vodilice (3). Ukupna masa kružne ploče, uključujući sve elemente pričvršćene na nju, kao i senzore za mjerenje slijeganja, trebala bi biti 15 kg 0,25 kg.

Kružni uređaji za opterećenje ploča moraju osigurati impulzivno (dinamičko) opterećenje.

Sastoje se od sljedećih komponenti:

- vodilice (3) preko kojih može kliznuti težina koja slobodno pada s ručkom u obliku prstena (4),
- sljedeće komponente pričvršćene su na vodilicu,
- čelična kružna opruga s oblogom (6) i uređaj za sprečavanje prevrtanja (7) ugrađeni su s donje strane.

Na vrhu je uređaj za zaključavanje (5). Uređaji za utovar moraju ispunjavati sljedeće zahtjeve:

- težina pada mase (4) 10 kg 0,1 kg
- ukupna težina vodilice, uključujući čeličnu oprugu s oblogom , uređaj za sprječavanje prevrtanja i uređaj za zaključavanje 5 kg 0,25 kg
- maksimalna pulsna snaga  $F_s$  7,07 kN
- trajanje pulsa  $t_s$  18 ms  $\pm$  2 ms

Opružni elementi, kao i visina padajućeg mase, moraju se podesiti kako bi se osigurala potrebna snaga impulsa  $F_s$  točnošću od 1 % u temperaturnom rasponu između 0 °C i 40 °C. Padajuća težina (izrađena od čelika) mora biti konstruirana tako da je moguće zaustaviti nakon udara. Minimalno trenje između padajuće težine i vodilice koja mora biti izrađena od poliranog nehrđajućeg čelika mora se osigurati dugo vremena, [BAST,1968].

#### *4.2.7 Oprema za mjerenje modula stišljivosti $M_E$ obuhvaća kružnu ploču*

Oprema za mjerenje slijeganja sastoji se od sljedećih komponenti:

- senzor s priključnim ulazom, koji je pričvršćen na krutu kružnu ploču i
- elektronički mjerni instrument.

Senzor ili uređaj za mjerenje ubrzanja osigurava točnost rezultata dobivenih mjerenjem, s pogreškom od 2 % u temperaturnom rasponu između 0° C do 40° C te u frekvencijskom rasponu između 8 Hz i 100 Hz. Točnost mjerenja ovisi o rasponu poravnanja i iznosi:

- u rasponu između 0,2 mm i 1 mm minimalno 0,02 mm,
- u području između 1 mm i 2 mm najmanje 2 %.

Napajanje elektroničkog mjernog instrumenta za prikupljanje podataka trebalo bi se obavljati uglavnom putem baterije, koja se mora automatski puniti. Napon i druge karakteristike elektroničke opreme za mjerenje slijeganja trebaju biti primjereno usklađene,[BAST,1969].

Za mjerenje reakcijskog modula posteljice  $k_s$  koja treba biti promjera 600 mm ili 762 mm. Rebra na ploči, kako bi se povećala njegova čvrstoća, moraju biti postavljena simetrično u polumjer. Rebra na gornjoj strani moraju se strugati mehanički, paralelno s kontaktnom površinom, kako bi se omogućilo postavljanje kružne ploče promjera 300 mm na rebra. Da bi se ploča postavila na sredinu, potrebno je postaviti klinove i ako je potrebno, napetosti na donju ploču.

Hidraulički klip za određivanje vrijednosti  $CBR$  (uglavnom koherentnog materijala) mora imati kontaktnu površinu od  $20\text{cm}^2$ , djelujući izravno na temelju koje se provodi mjerenje. Bočno istiskivanje tla treba spriječiti pomoću olovnih cilindara, vanjskog promjera 150 mm, unutarnjeg promjera 52 mm i visine 10 mm. Navedene cilindre treba montirati na hidraulički klip.

Preporučljivo je uvesti mjerni sat koji je podijeljen na inče, tako da je jedan krug indikatora 1/20 inča (približno 1,25 mm = propisani otisak u minuti), što omogućuje sekundarnom na štoperici i indikatoru otiska klipa na mjernom satu da rade sinkronizirano,[BAST,1969].

#### 4.2.8 Izvođenje mjerenja

Učinkovitost mjerenja s krutom kružnom pločom određuje se na temelju:

- osnovne uvjete za izvođenje mjerenja i
- odobrene metode mjerenja, uključujući rezultate dobivene mjerenjem.

Namještanje se može mjeriti krutom kružnom pločom na sljedećim materijalima:

- krupnozrnati materijali,

- miješani materijali i
- koherentno tlo u tvrdoj konzistenciji.

U materijalu može biti beznačajan udio zrna čija veličina prelazi 63 mm ili više od 1/4 promjera ploče. U slučaju da se radi o materijalima koji se brzo suše, pijesku jednake veličine zrna, tlu koje se brzo omekšava ili brzo vlaži, ili materijalima čiji se gornji dio iz bilo kojeg razloga promijenio, mjerenje treba provesti pomoću ploče ispod izmijenjenog dijela. Gustoća ispitivanih materijala trebala bi ostati nepromijenjena u najvećoj mogućoj mjeri. Ako se radi o sitnozrnatom tlu (prašina, glina), mjerenje snopom može se savršeno izvesti i procijeniti. U sumnjivim slučajevima potrebno je procijeniti sadržaj vode u tlu, jer voda ima presudan utjecaj na rezultate mjerenja. Procjenu treba provoditi na različitim dubinama do  $3r$  ispod površine mjerne točke.

Način mjerenja slijeganja pomoću krute kružne ploče sastoji se od sljedeće tri karakteristične faze,[BAST,1968]:

- priprema površine za izvođenje mjerenja,
- postavljanje mjernog uređaja,
- samo mjerenje.

#### 4.2.9 Priprema površine za izvođenje mjerenja

Površinu na kojoj će se provesti mjerenje treba prilagoditi veličini kružne ploče. Odgovarajuću ravnost površine na kojoj će se provesti mjerenje treba postići primjenom odgovarajućih alata. Male čestice materijala treba ukloniti metlom. Horizontalnu mjernu površinu treba osigurati na sljedeći način:

- u slučaju koherentnog terena, uklanjanje sloja u gornjem dijelu, uklanjanje izloženih velikih čestica i punjenje lokalnih šupljina pijeskom ili gipsom,
- u slučaju nesuvislih materijala, polaganje sloja pijeska ili žbuke na razinu horizontalne baze.

Središte površine na kojoj će se provesti mjerenje treba unaprijed odrediti na temelju vertikalne linije ispod točke djelovanja hidrauličke sile klipa na kontra težini,[BAST,1968].

#### *4.2.10 Postavljanje mjernog uređaja*

Na cijeloj kontaktnoj površini kružna ploča mora biti čvrsto postavljena na pripremljenoj osnovi. Moguće šupljine moraju biti ispunjene slojem suhog, srednje zrnatog pijeska ili gipsa debljine nekoliko milimetara. Ako se koristi mješavina gipsa, koja se nanosi samo na nesuvisle materijale, kontaktnu površinu kružne ploče treba podmazati uljem. Ploča mora biti postavljena horizontalno na pripremljenoj osnovi. Okretanjem oko vertikalne osi i udaranjem ploča mora se utisnuti u pijesak ili žbuku kako bi se spriječio mogući izgled šupljina između ploče i baze. Smjesu od gipsa, koja se istiskuje na rubovima ploče, treba ukloniti mistrijom prije stvrdnjavanja.

Smjesa gipsa mora se očvrnuti prije početka mjerenja. Je li gips stvrdnut, moguće je provjeriti promatrajući je li žbuka prestala otjecati, jer oteklina prestaje kada se stvrdne ili zarezivanjem u uklonjenu smjesu gipsa. Zatim, u sredini kružne ploče, ispod protuteže, treba postaviti hidraulički klip i osigurati od prevrtanja. Udaljenost između kružne ploče i protuteže treba biti najmanje 75 cm.

Stativ ili drugi nosivi nosač za mjerenje slijeganja pomoću kružne ploče treba postaviti tako da je položaj nosača izvan utjecaja protuteže, kao i izvan utjecaja na kružnu ploču i pored nje (na minimalnoj udaljenosti od 50 cm). Mjerne satove treba postaviti okomito na površinu na kojoj se provodi mjerenje i na takav način da se omogući čitanje. Raspon ugradnje mjerne opreme uključuje i kratkoročno preopterećenje kružne ploče (približno 30 sekundi s 0,01 MN /m<sup>2</sup>). Nakon tog razdoblja mjerne satove ili uređaje za mjerenje pokreta treba postaviti na nulu. Ako je to izvedivo, mjernu opremu treba zaštititi od vremenskih uvjeta, kao što su sunčevo zračenje i vjetar.

Postavljena mjerna oprema kao i protuteže ne smiju biti izložene vibracijama tijekom mjerenja,(BAST,1970).

#### *4.2.11 Mjerenje dinamičkog modula deformacije $E_{VD}$*

Ako se za popunjavanje šupljina koristi suhi pijesak srednjeg zrna. Vodicu treba postaviti okomito na središte postavljene kružne ploče, uključujući sve komponente potrebne za mjerenje. Kako bi se osigurao kontakt između kružne ploče i baze, potrebno je izvršiti prethodno opterećenje na mjernoj točki s tri poteza

(impulsa) težine koja slobodno pada s određene (kalibrirane) visine. Nakon svakog poteza (odbijanja) treba zadržati težinu, a zatim uvesti opremu za mjerenje slijeganja.

#### *4.2.12 Mjerenje modula stišljivosti $M_E$*

Kako bi se osigurao kontakt između kružne ploče i površine na kojoj se provodi mjerenje, potrebno je izvršiti prethodno opterećenje ploče s 0,02 MN/m<sup>2</sup>. Navedena vrijednost uključuje težinu konstrukcije hidrauličkog klipa i ploče.

#### *4.2.13 Mjerenje modula reakcije posteljice $k_s$*

Udaljenost između kružne ploče i protuteže trebala bi biti:

- za promjer ploče  $D = 600$  mm najmanje 1,10 m,
- za promjer ploče  $D = 762$  mm najmanje 1,30 m.

Za mjerenje modula reakcije posteljice potrebno je uvesti krutu kružnu ploču promjera 762 mm. Kako bi se osigurao kontakt između kružne ploče i površine na kojoj se provodi mjerenje, potrebno je izvršiti prethodno opterećenje ploče s 0,01 MN / m<sup>2</sup>. Navedena vrijednost uključuje težinu konstrukcije hidrauličkog klipa i ploče. Prethodno opterećenje trebalo bi se nastaviti sve dok razlika između slijeganja, koja su izmjerena u posljednjem trenutku, ne prelazi 0,05 mm, [BAST,1968].

#### *4.2.14 Mjerenje vrijednosti CBR*

Što se tiče kružne kontaktne površine hidrauličkog klipa (površina 20 cm<sup>2</sup>) i olovnih cilindara smještenih na klipu, potrebno je osigurati odgovarajuću ravnost površine na kojoj će se mjerenje provoditi odgovarajućim alatima; u iznimnim slučajevima šupljine treba napuniti suhim pijeskom srednjeg zrna. Težina konstrukcije olovnih cilindara koji se postavljaju kako bi se spriječilo bočno stiskanje tla trebala bi biti slična težini konstrukcije kolnika koja se gradi iznad površine na kojoj se provodi mjerenje. Pomoću odgovarajućeg stativa ili drugog odgovarajućeg nosivog okvira, kao i pričvršćivanjem, potrebno je stvoriti mogućnost mjerenja slijeganja jednim mjernim uređajem.

Maksimalno opterećenje tijekom mjerenja i/ili maksimalno podešavanje koje treba postići ovisi o cilju ispitivanja, kao i o svojstvima materijala i veličini kružne

ploče. Ako se uoče neuobičajena slijeganja, npr. s obzirom na znatan nagib kružne ploče, materijal ispod kružne ploče treba iskopati do dubine jednake promjeru ploče. Također je potrebno pratiti dobivene rezultate, [BAST,1968]:

#### 4.2.15 Mjerenje statičkog modula deformacije $E_{vs}$

Prilikom mjerenja modula statičke deformacije pomoću krute kružne ploče, opterećenje treba povećati dok se ne postigne:

- debljina od 2 mm,
- normalni napon ispod ploče do 0,5 MN/m<sup>2</sup>.

Međutim, mjerenje treba prekinuti pri nižem naponu ili slijeganju, ako se pri povećanju opterećenja uoče prekomjerne promjene, što ukazuje na oštećenje ugrađenih materijala. Ako su tijekom ispitivanja intervali koji su prvotno određeni između uzastopnih razina opterećenja preveliki ili premali, treba ih u skladu s tim promijeniti. Prijelaz s jedne razine opterećenja na drugu trebao bi biti obavljen za minutu. Prilikom utovara i rasterećenja, sljedeći stupanj (razina) opterećenja može se primijeniti samo ako razlika u slijeganju, koja se očitava na pojedinačnim mjernim satovima, nije veća od 0,02 mm. Na jednoj razini opterećenja opterećenje mora biti konstantno. Ako se mjerenja provode pomoću tri mjerna sata, prvo očitavanje treba obaviti 10 sekundi prije isteka vremena čekanja. Potrebno je obratiti pozornost na činjenicu da opterećenje ploče, po završetku prvog čitanja, stalno se povećava u jednakim vremenskim intervalima. Ako se, greškom ploča napuni više nego što se očekivalo, opterećenje se ne smije smanjiti. Međutim, to preopterećenje treba zabilježiti. Prema pravilu, nivo opterećenja moraju biti sljedeći:

- za koherentno tlo 0.02 to 0.03 MN/m<sup>2</sup> ,
- za miješani materijal 0.03 to 0.04 MN/m<sup>2</sup> ,
- za šljunak 0.05 to 0.06 MN/m<sup>2</sup> ,
- za drobljeni kamen 0.06 to 0.07 MN/m<sup>2</sup> ,

Reljef kružne ploče treba provoditi u tri faze: do 50%, 25%, i 0% maksimalnog opterećenja. Nakon što je izvršeno potpuno olakšanje, potrebno je ponovno izvršiti krug opterećenja, međutim, ne do posljednjeg, već samo do jedne razine opterećenja posljednjeg u prvom krugu,[BAST,1970].



Nakon uključivanja opreme za mjerenje naselja potrebno je izvršiti opterećenje s tri poteza davanja težine. Amplituda se mora mjeriti s točnošću od najmanje  $\pm 0,02$  mm. Mora se osigurati kalibrirana visina pada težine i uhvatiti težina nakon svake odbojnosti .

#### 4.2.16 Mjerenje modula stišljivosti $M_E$

Uz ravnomjerno povećanje opterećenja kružne ploče potrebno je stvoriti pritisak za prvu razinu (stupanj), tj.  $0,05 \text{ MN/m}^2$  (vrijednost koja se očitava na manometru treba biti  $0,05 \text{ MN/m}^2$  – tlak zbog vlastite težine konstrukcije ).

Čim se dostigne napon za ovu razinu, slijeganje se može očitati na mjernim satovima na sljedeći način:

- za koherentno tlo nakon 3, 6, 9 minuta itd.,
- za materijale nakon 2, 4, 6, 8 minuta itd. Nagodba za čitanje mora se zabilježiti na odgovarajući način.

Opterećenje za sljedeću razinu (stupanj) može početi čim je slijeganje nakon 3 ili 2 minute manje od  $0,05 \text{ mm}$ . Vrijeme opterećenja potrebno na prvoj razini opterećenja (npr. 9 minuta) također treba održavati za svaku sljedeću razinu (stupanj).

Primjenjuju se sljedeći stupnjevi (razine) opterećenja, [DIN, 1993]:

- na temeljnom tlu sa stupnjem od  $0,05 \text{ MN/m}^2$  do konačnog opterećenja od  $0,25 \text{ MN/m}^2$ ,
- na posteljici stupnja od  $0,1 \text{ MN/m}^2$ , od  $0,05 \text{ MN/m}^2$  do konačnog opterećenja  $0,45 \text{ MN/m}^2$ ,
- na nevezanom nosivom sloju stupnja od  $0,1 \text{ MN/m}^2$ , od  $0,05 \text{ MN/m}^2$  do konačnog opterećenja od  $0,55 \text{ MN/m}^2$ .

#### 4.2.17 Mjerenje modula reakcije tla $k_s$

Krutu kružnu ploču treba opteretiti ( $0,01 \text{ MN/m}^2$ ) dok promjena poravnanja ne prelazi  $0,02 \text{ mm}$ . Sljedeće razine opterećenja (stupnjevi) su  $0,04 \text{ MN/m}^2$ ,  $0,08 \text{ MN/m}^2$ ,  $0,14 \text{ MN/m}^2$  i  $0,20 \text{ MN/m}^2$ . Na svakoj razini opterećenja potrebno je pričekati da se naselje smanji ispod  $0,02 \text{ mm/min}$ . Stoga slijeganje treba čitati svake

minute. Pri ublažavanju dovoljna je jedna srednja razina na 0,08 MN/m<sup>2</sup>, [DIN,1993].

#### 4.2.18 Mjerenje vrijednosti CBR

Kroz otvor, tj. kroz postavljene olovne cilindre potrebno je ugraditi hidraulički klip i opteretiti ga s 0,1 MN/m<sup>2</sup>. Tada ga je potrebno ublažiti tako da kontaktna površina isječka dodiruje bazu. Tada se klip mora pritisnuti u podnožju ujednačenom brzinom od 1,27 mm u minuti. Na dubini od 2,54 mm tlak treba čitati svakih 30 sekundi. Nakon toga, na dubini od 5,08 mm, tlak treba čitati svake minute.

### 4.3 Ocjena i zapisnik mjerenja

Kako bi se pružili potrebni karakteristični podaci o provedenim mjerenjima, potrebno je voditi evidenciju koja bi trebala sadržavati sljedeće detaljne podatke, [DIN,1993]:

- podatke o mjestu na kojem se provodi mjerenje i
- podatke o međuovisnosti povećanja slijeganja i slijeganja koje se događa ispod krute kružne ploče ili ispod hidrauličkog cilindra.

Potrebni podaci o mjestu na kojem se provodi mjerenje uglavnom su sljedeći:

- točnu lokaciju,
- vrsta materijala u osnovi,
- vrijeme, temperatura,
- datum i vrijeme, kao i druge pojedinosti koje se odnose na provedeno mjerenje.

Osim gore navedenih podataka, zapisnik bi trebao sadržavati i karakteristike mjernih metoda (promjer kružne ploče, postupak mjerenja).

Za svaku razinu (stupanj) opterećenja potrebno je zabilježiti sva naselja, tj. nadalje, potrebno je procijeniti prosječnu vrijednost poravnanja na određenim razinama opterećenja. Prema pravilu, slijeganje na određenim razinama opterećenja, kao i tijekom slijeganja, moraju biti jasno predstavljeni u grafičkom obliku, [DIN,1993].

#### 4.3.1 Proračun statičkog modula deformacije

Da bi se odredila nosivost baze, modul statičke deformacije  $E_{vs2}$  treba izračunati na temelju ove jednadžbe; za procjenu kompresije materijala treba izračunati i modul statičke deformacije  $E_{vs1}$  i omjer  $E_{vs2}/E_{vs1}$ .

Vrijednosti  $s$  uglavnom se određuju u podjeli ravnomjernog tijeka slijeganja baze pri opterećenju u razinama (stupnjevima). Navedeno područje je uglavnom sljedeće:

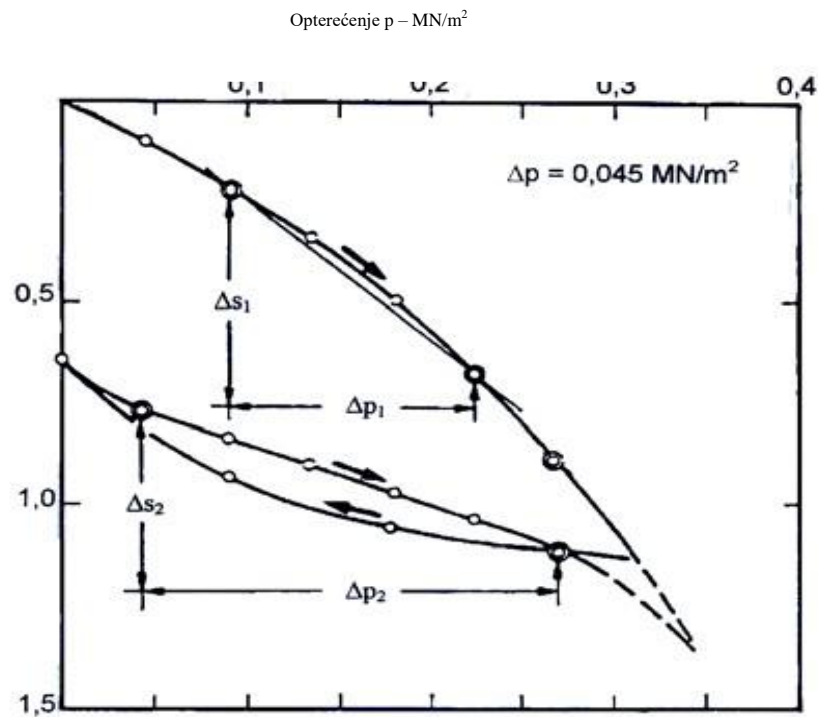
- za prvo opterećenje između drugog i petog nivoa i
- za drugo opterećenje između drugog i šestog nivoa.

$$E_{VS} = 0,5 \frac{\Delta p}{\Delta s} D. \quad (4.10)$$

Na slici 4.8 prikazane su vrijednosti za izračunavanje modula deformacije:

$$E_{VS1} = 0,5 \frac{\Delta p_1}{\Delta s_1} D. \quad (4.11)$$

$$E_{VS2} = 0,5 \frac{\Delta p_2}{\Delta s_2}. \quad (4.12)$$



Slika 4.8: Dijagram slijeganja kružne ploče »s« u zavisnosti od opterećenja »p« (SN 670 008,1970)

Navedene granične vrijednosti slijeganja „s“ i opterećenja „p“ moguće je razabrati iz zapisnika o mjerenju.

### 4.3.2 Dinamički modul deformacije $E_{VD}$

S dinamičkom impulsnom snagom  $F_s = 7 \text{ kN}$  provodi se opterećenje kružne ploče promjera  $r = 150 \text{ mm}$ , a površina od  $700 \text{ cm}^2$ , s normalnim naponom od  $\sigma = 0,1 \text{ MN/m}^2$ . Prema osnovnoj jednažbi za modul dinamičke deformacije.

$$E_{VD} = 1,5r \frac{\sigma}{s}. \quad (4.13)$$

$$E_{VD} = 22,5/s. \quad (4.14)$$

Pomoću elektroničkog mjernog instrumenta, koji određuje maksimalno slijeganje dvostrukom integracijom izmjerenog ubrzanja, moguće je odrediti vrijednost modula dinamičke deformacije  $E_{VD}$ . Za određivanje je relevantna prosječna srednja vrijednost dobivena na temelju tri izvršena mjerenja, (Žmavc, 2005).

### 4.3.3 Modul stišljivosti $M_E$

U osnovnoj jednažbi za izračunavanje modula za stišljivost potrebno je uzeti u obzir vrijednost  $s$ , koja se određuje u sljedećim naponskim volumenima:

- za temeljno tlo i nasipe između  $0,05$  i  $0,15 \text{ MN/m}^2$ ,
- za posteljicu između  $0,15$  i  $0,25 \text{ MN/m}^2$ ,
- za nevezani potporni sloj između  $0,25$  i  $0,35 \text{ MN/m}^2$ .

$$M_E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta s} D. \quad (4.15)$$

### 4.3.4 Modul reakcije posteljice $k_s$

Na temelju dijagrama slijeganja potrebno je odrediti napon  $\sigma_0$  koji odgovara srednjem iznosu slijeganja  $= 1,25 \text{ mm}$  (slika 4.9).

Modul reakcije posteljice  $k_s$  treba izračunati prema osnovnoj jednažbi.

$$k_s = \frac{\sigma_0}{s} = \sigma_0. \quad (4.16)$$

Ovisno o tijeku krivulje slijeganja, početnu točku slijeganja treba ispraviti tangentom na prekretnici krivulje.

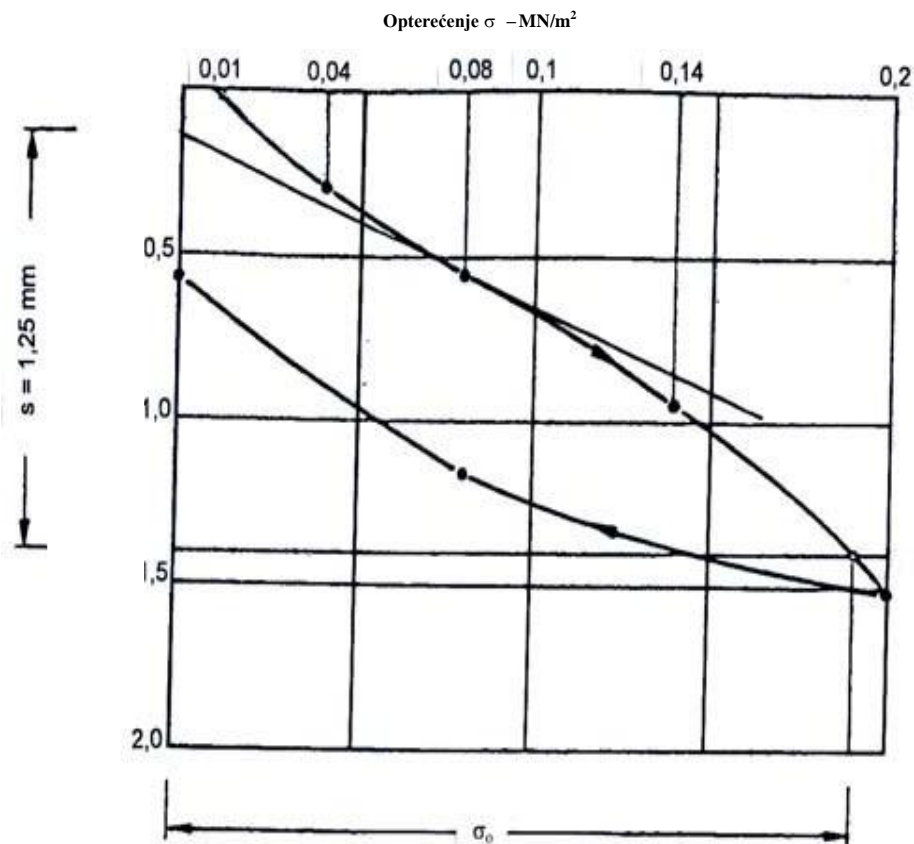
### 4.3.5 Vrijednost CBR

Vrijednost CBR-a treba izračunati pomoću osnovne, uvođenjem vrijednosti napona, koje su izmjerene pri pregledu klipa na određenu dubinu od 2,54 mm ili 5,08 mm, i standardizirane vrijednosti za drobljeni kamen:

$$CBR = \frac{\sigma}{\sigma_s} 100. \quad (4.17)$$

Potrebno je uzeti u obzir nižu vrijednost CBR .

Ako je krivulja slijeganja konkavna na početku opterećenja, početnu točku naseljavanja treba ispraviti tangentom na prekretnici krivulje.



Slika 4.9: Dijagram pritiska » $\sigma_0$ « ispod kružne ploče u zavisnosti od predviđenog slijeganja » $s$ «(SN 670 008,1970).

### 4.4 Nosivost kolničke konstrukcije

Ovim radom obrađuje se tehničke osnove za određivanje nosivosti kolničke konstrukcije. Svrha mjerenja površine kolničke konstrukcije je određivanje stanja i trajnosti konstrukcije kolnika.

Mjerenja trajanja konstrukcije kolnika prikladna su uglavnom za sljedeće,[COST 324,1997]:

- utvrđivanje sukladnosti i ujednačenosti izvedenih radova, ako se radi o novoj gradnji,
- praćenje stanja postojećih kolničkih konstrukcija u okviru upravljanja cestama,
- određivanje stvarnog stanja postojećih kolničkih konstrukcija i
- određivanje odgovarajuće armature postojećih kolničkih konstrukcija za projektno razdoblje rada.

Izvedeni radovi zadovoljavaju zahtjeve ako su osigurane predviđene vrijednosti trajanja površine kolničke konstrukcije.

#### *4.4.1 Osnovne metode mjerenja pomaka*

Odobrene metode za mjerenje dotrajalosti postojeće konstrukcije pločnika temelje se na statičkom ili dinamičkom opterećenju mjerne točke.

Osnovne metode definiraju se kao mjerenja dotrajalosti površine kolničke konstrukcije, koja se provode pomoću ,[COST 324,1997]:

- Benkelmannove grede (pod statičkim opterećenjem),
- Lacroix deflectographers (pod pokretnim opterećenjem ) i
- Dynatest 8000 FWD deflektometar (s padajućom težinom - pod dinamičkim opterećenjem).

Za posebne namjene i pod posebnim uvjetima, površine kolničke konstrukcije može se odrediti uvođenjem druge metode, npr. pomoću optičkog deflektometra, mjerne sonde (koja je ugrađena u strukturu kolnika), vibratora (za mjerenje amplituda oscilacija ) itd. Različita opterećenja koja se određuju za gore navedene osnovne metode mjerenja rezultiraju različitim vrijednostima, koje nisu izravno usporedive jedna s drugom.

Kako bi se utvrdilo stanje postojeće kolničke konstrukcije i odredile odgovarajuće mjere, u odobrenim metodama mjerenja treba navesti sljedeće:

- autoritativna dotrajalost na površini kolničke konstrukcije na homogenom dijelu ceste dm,
- razdoblje rada kolničke konstrukcije.

#### 4.4.2 Oprema za mjerenje pomaka

Oprema za mjerenje trajnosti površine kolničke konstrukcije mora biti takva da omogućuje:

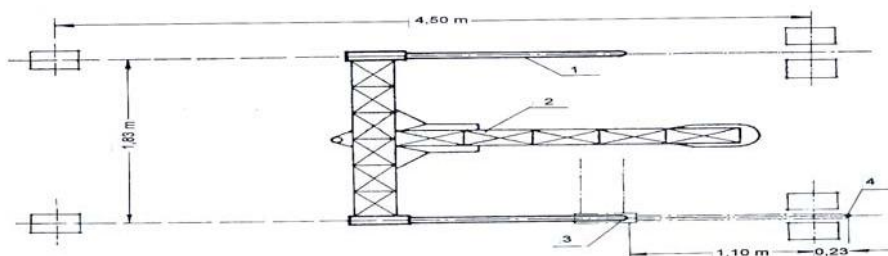
- Ponavljanje,
- točnost mjerenja trajnosti i bilježenje dobivenih rezultata u grafičkom ili digitalnom obliku i
- trajnost zapisnika.

Sva mjerna oprema za odvajanje mora imati određene tehničke karakteristike i mora biti kalibrirana u skladu s odgovarajućom metodom, koju uglavnom određuje proizvođač opreme. Oprema mora imati valjani certifikat,[COST 324,1997].

#### 4.4.3 Lacroix deflektograf

Lacroix deflectograph sastoji se od sljedećih osnovnih komponenti:

- Kamion koji prenosi mjernu opremu i teret je za obavljanje mjerenja,
- mjerna oprema,
- fiksni nosivi okvir,
- pomični nosivi okvir s dvije ruke senzora,
- dva induktivna mjerača pokreta senzorske ruke,
- sustav s računalnom podrškom za praćenje mjerenja, kontrolu kretanja nosivog okvira, automatsko bilježenje dotrajalosti prijenos podataka na računalo,
- računalo sa programima za evidentiranje svih potrebnih podataka o izvedenim mjerenjima i dobivenim rezultatima.



Slika 4.10: Lacroix deflektograf – mjerna oprema,[COST 324,1997].

Lacroix defletograf se sastoji od :

- 1– krak senzora
- 2– pokretni nosivi okvir
- 3– početni položaj kraka senzora
- 4 – završni položaj kraka senzora

Oprema za automatsko bilježenje rezultata dobivenih mjerenjem omogućuje elektronički vid snimanja ili snimanja na papirnatu vrpce. Da bi se učitala mjerna točka, stražnja osovina kamiona mora biti opremljena s dva dvostruka kotača. Opterećenje osovine treba biti do 100 kN. Opterećenje se može podesiti reguliranjem količine vode sadržane u spremniku montiranom na kamion. Tlak u gumama na mjernoj osovini mora biti isti i mora biti od 0,7 do 0,8 MPa. Termometar u rasponu od 0 C do 50 C koristi se za mjerenje temperature asfaltnog zastora.

Kalibraciju deflektografa treba provoditi u skladu s uputama proizvođača. Kalibracija se mora izvršiti prije svakog mjerenja i zasebno za svaku ruku senzora. Kalibriranjem deflektografa potrebno je osigurati točnost odnosa između kretanja vrha ruke senzora i zabilježenog pokreta. Maksimalna tolerancija je 0,02 mm. Usvojena mjerna oprema mora osigurati točnost mjerenja odumiranja u rasponu od 0,05 mm, kao i točnost mjerenja udaljenosti (između mjernih točaka i ukupnog broja) od 3,[COST 324,1997].

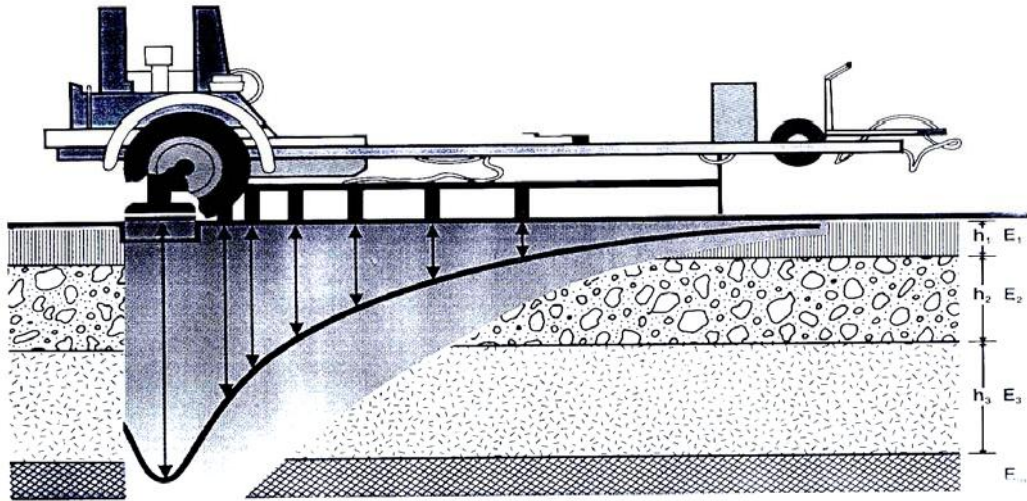
#### *4.4.4 Dynatest 8000 FWD deflektometar*

Dynatest 8000 FWD deflektometar (deflektometar padajuće težine) sastoji se od sljedećih dijelova:[4,URL]

- u pravilu, prikolice s jednom osovinom (Slika 4.11.), koje služe
- za prijevoz opreme za dinamičko opterećenje (utezi koji slobodno padaju , senzori, gumeni opružni sustav, kružna ploča mjerne ćelije)
- za prijevoz mjerne opreme ( mjerači od usporavanja – gefoni)
- sustavi s računalnom podrškom za praćenje mjerenja i prijenosa podataka na računalo



- računalo sa programima za kontrolu čitavog postupka i opreme za bilježenje i obradu svih potrebnih podataka o izvedenim mjerenjima pomaka i dobivenim rezultatima.



Slika 4.11: Dynatest 8000 FWD deflektometar [4,URL]

Raspored uređaja za mjerenje pomaka od središta kružne ploče zavisi od stanja kolničke konstrukcije i od pomaka površine kolničke konstrukcije  $dmD$ :

- $dmD \leq 500 \mu m$ : raspored na 0-30-60-90-150-210 cm,
- $500 \mu m < dmD \leq 1000 \mu m$ : raspored na 0-30-60-90-150-180 cm,
- $dmD > 1000 \mu m$ : raspored na 0-30-60-90-120-150 cm.

Uređaj za mjerenje temperature trebao bi ispunjavati sljedeće zahtjeve:

- radno opterećenje: - 10°C do 60°C
- djeljivost:  $> 0.5C^\circ$
- točnost:  $\pm 1C$

#### 4.4.5 Mjerenje pomaka

Prije mjerenja površine konstrukcije kolnika potrebno je ukloniti sve strane predmete s nje. Na rubu asfaltnog kolnika potrebno je pripremiti otvore za mjerenje temperature zastora. Prije početka mjerenja, ove otvore treba napuniti glicerinom. Svako pojedinačno mjerenje pomaka mora se dokumentirati bilježenjem sljedećih podataka,[4,URL]:

- mjesto mjerenja: označavanje ceste, stacionarno označavanje, položaj prometne trake, vrsta istrošenog sloja, osobitosti,
- datum i vrijeme mjerenja,
- izgradnja rekonstrukcije kolnika,
- temperatura asfaltnog zastora,
- rabljena mjerna oprema: vrsta i karakteristike opterećenja,
- mjerodavno/maksimalno opterećenje,
- mjerodavna vrijednost trajnosti, uključujući sve ispravke.

Kako bi se utvrdilo stvarno stanje, površinu kolničke konstrukcije treba mjeriti do te mjere da je, s obzirom na namjenu i mjernu opremu koja se koristi, relevantan za cijelu površinu kolničke konstrukcije na kojoj se provodi mjerenje.

Mjerenje kvara površine kolničke konstrukcije treba provoditi uglavnom na vanjskoj kolotečini, koja je, u pravilu, najviše opterećena,[COST 325,1997]..

#### 4.4.6 Benkelmannova greda

Benkelmannova greda omogućuje mjerenje

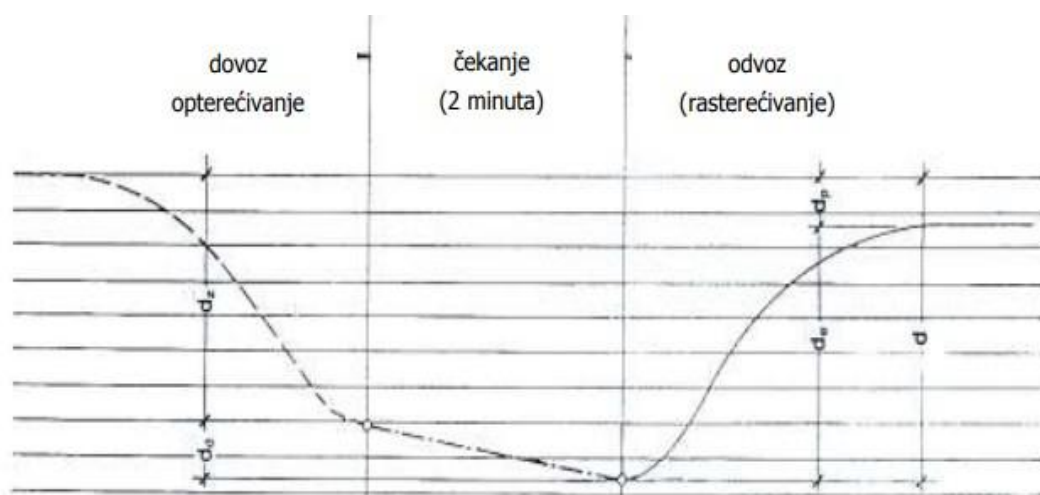
- ukupno, tj. elastična i plastična propast površine konstrukcije kolnika (metoda "pri dolaznom opterećenju") i samo,
- elastični otklon (metodom "pri odlasku opterećenje"), za koji se općenito smatra da određuje stvarno stanje konstrukcije kolnika.

Prije mjerenja potrebno je izmjeriti temperaturu asfaltnog zastora. Prilikom mjerenja, u skladu s metodom "pri dolasku tereta", kamion se mora kretati unatrag brzinom od 0,5 m/s i mora se pažljivo približiti vrhu senzora na ruci Benkelmannove grede. Par stražnjih kotača na kamionu mora na početku mjerenja biti udaljen 3 m od vrha senzora. Tijekom ispitivanja, na određenim udaljenostima stražnje osovine

kamiona od vrha senzora (2, 1, 0,5 i 0,25 m), a ako se vrh senzora nalazi na osovini stražnjih kotača kamiona, vrijednost matrice treba očitati na mjernom satu. Po isteku od približno dvije minute, kamion bi se trebao vratiti na početnu točku, brzinom od približno 0,5 m/s. Nagib treba mjeriti kada je stražnja osovina udaljena 1 m i 3 m od vrha senzora. Postupak mjerenja shematski je prikazan na slici 4.12.

Pri mjerenju dotrajalosti površine kolničke konstrukcije u skladu s metodom "pri izlaznom opterećenju" stražnja osovina kamiona, odnosno obje točke opterećenja moraju biti postavljene na mjernoj točki (slika 4.13 – točka A).

Na određenom mjernom mjestu na asfaltnom kolniku, Kamion koji predstavlja teret može se zadržati najviše jednu minutu,[ FGSV, 1991].



Slika 4.12: Shematski prikaz mjerenja ukupnog pomaka površine kolničke konstrukcije [FGSV, 1991]

Slika 4.12 se sastoji od:

$d$  – ukupan pomak na određenom mjernom mjestu

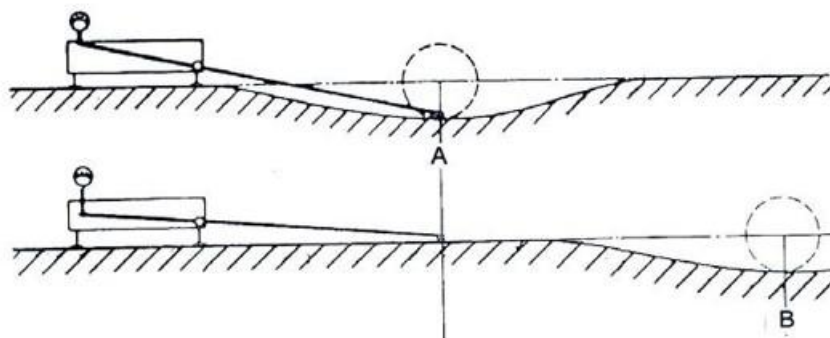
$d_z$  - početni pomak pod opterećenjem.

$dd$  – dodatni pomak za vrijeme čekanja pod opterećenjem

$d_e$  – elastični pomak.

$d_p$  – plastični pomak.

Ruku senzora treba gurnuti između para kotača za isključivanje, tako da vrh senzora dođe u dodir s površinom nakon otpuštanja, nekoliko centimetara prije osovine kotača (u slučaju kamiona koji se kreće prema naprijed).



Slika 4.13: Shematski prikaz mjerenja elastičnog ugiba površine kolničke konstrukcije Benkelmanovom gredom [FGSV, 1991]

Nakon uključivanja i pravilnog postavljanja vibratora, mjerni sat mora očitati vrijednost, a kamion treba voziti približno 10 m ispred mjerne točke (točka B). Stanje mjernog sata treba ponovno pročitati nakon što se ruka zaustavi.

#### 4.4.7 Procjena rezultata

Na temelju rezultata dobivenih mjerenjem Benkelmannove grede moguće je odrediti sljedeće, [FGSV, 1991].

- preostalo razdoblje konstrukcije kolnika i možda potrebnu debljinu sloja.

Razlika između očitavanja na mjernom satu, kada je mjerna točka opterećena određenim osovinskim opterećenjem ili opterećenjem kotača, i kada mjerna točka nije opterećena, osnova je za izračunavanje smrti površine kolničke konstrukcije na određenoj mjernoj točki. Utvrđene vrijednosti usporavanja trebaju biti naznačene u 0,01 mm.

Svako moguće odstupanje:

- opterećenja koja kotači generiraju od standardnog opterećenja (50 kN) i
- temperatura zastora od standarda (20 C).

Kao i utjecaj kritične senzore na predviđeni nagib površine kolničke konstrukcije treba procijeniti odgovarajućim čimbenikom za korekciju.

Budući da je utjecaj uzdužnog nagiba kolnika relativno beznačajan na opterećenje (približno 1 % na uzdužnom nagibu od 8 %). Pri većim uzdužnim nagibima u istom smjeru uvijek treba izvršiti usporedna mjerenja, [FGSV, 1991].

Faktori utjecaja opterećenja koje stvaraju kotači  $k$   $k_o$  (u rasponu od 30 do 70 kN) na izračun dotrajalosti površine kolničke konstrukcije prikazani su u tablici 4.4. Navedene vrijednosti uključuju sljedeće:

- omjer 2:1 vertikalno pomicanje vrha senzora na ruci senzora u odnosu na mjerni sat  $i$
- pretvaranje vrijednosti, koje se očitavaju na mjernom satu, u milimetre.

Maksimum  $d_i$  izračunava se na temelju sljedeće jednadžbe :

$$d_i = k_{ko} x (d_{To} - d_{Tr}). \quad (4.18)$$

$$d_i = kko \times (dTo - dTr). \quad (4.19)$$

gdje je:

$d_{To}$  - očitavanje na skali mjernog sata pod opterećenjem,

$d_{Tr}$  - očitavanje poslije rasterećenja.

Kako bi se utvrdio utjecaj temperature asfaltnog zastora (u rasponu od 5 °C do 30 °C) na nagib površine kolnika. Na temperaturama izvan gore navedenog opsega mjerenje trajnosti nije izvedivo.

Prosječnu temperaturu asfaltnog zastora treba izračunati na temelju sljedeće jednadžbe:

$$I_m = \frac{5T_0 + (h-5)T_{10}}{h}. \quad (4.19)$$

gdje je:

$T_0$ - temperatura na površini kolničke konstrukcije (°C),

$T_{10}$ - temperatura na dubini od 10 cm (°C),

$h$ - debljina asfaltnog kolnika.

Tablica 4.4: Faktori utjecaja opterećenja koje stvaraju kotači  $kko$  na izračunavanje pomaka površine kolničke konstrukcije [FGSV, 1991].

| Opterećenje koje stvaraju kotači [kN] | Faktor $k_{ko}$ | Opterećenje koje stvaraju kotači [kN] | Faktor $k_{ko}$ | Opterećenje koje stvaraju kotači [kN] | Faktor $r_{k_{ko}}$ | Opterećenje koje stvaraju kotači [kN] | Faktor $k_{ko}$ |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 30.0                                  | 0.0333          | 40.0                                  | 0.0250          | 50.0                                  | 0.0200              | 60.0                                  | 0.0167          |
| 30.5                                  | 0.0328          | 40.5                                  | 0.0247          | 50.5                                  | 0.0198              | 60.5                                  | 0.0166          |
| 31.0                                  | 0.0323          | 41.0                                  | 0.0244          | 51.0                                  | 0.0196              | 61.0                                  | 0.0164          |
| 31.5                                  | 0.0318          | 41.5                                  | 0.0241          | 51.5                                  | 0.0194              | 61.5                                  | 0.0163          |
| 32.0                                  | 0.0312          | 42.0                                  | 0.0238          | 52.0                                  | 0.0192              | 62.0                                  | 0.0161          |
| 32.5                                  | 0.0308          | 42.5                                  | 0.0235          | 52.5                                  | 0.0190              | 62.5                                  | 0.0160          |
| 33.0                                  | 0.0303          | 43.0                                  | 0.0232          | 53.0                                  | 0.0189              | 63.0                                  | 0.0159          |
| 33.5                                  | 0.0298          | 43.5                                  | 0.0230          | 53.5                                  | 0.0187              | 63.5                                  | 0.0158          |
| 34.0                                  | 0.0294          | 44.0                                  | 0.2227          | 54.0                                  | 0.0185              | 64.0                                  | 0.0156          |
| 34.5                                  | 0.0290          | 44.5                                  | 0.0225          | 54.5                                  | 0.0183              | 64.5                                  | 0.0155          |
| 35.0                                  | 0.0286          | 45.0                                  | 0.0222          | 55.0                                  | 0.0182              | 65.0                                  | 0.0154          |
| 35.5                                  | 0.0282          | 45.5                                  | 0.0220          | 55.5                                  | 0.0180              | 65.5                                  | 0.0153          |
| 36.0                                  | 0.0278          | 46.0                                  | 0.0217          | 56.0                                  | 0.0179              | 66.0                                  | 0.0151          |
| 36.5                                  | 0.0274          | 46.5                                  | 0.0215          | 56.5                                  | 0.0177              | 66.5                                  | 0.0150          |
| 37.0                                  | 0.0270          | 47.0                                  | 0.0213          | 57.0                                  | 0.0175              | 67.0                                  | 0.0149          |
| 37.5                                  | 0.0267          | 47.5                                  | 0.0211          | 57.5                                  | 0.0174              | 67.5                                  | 0.0148          |
| 38.0                                  | 0.0263          | 48.0                                  | 0.0208          | 58.0                                  | 0.0172              | 68.0                                  | 0.0147          |
| 38.5                                  | 0.0260          | 48.5                                  | 0.0206          | 58.5                                  | 0.0171              | 68.5                                  | 0.0146          |
| 39.0                                  | 0.0257          | 49.0                                  | 0.0204          | 59.0                                  | 0.0169              | 69.0                                  | 0.0145          |
| 39.5                                  | 0.0253          | 49.5                                  | 0.0202          | 59.5                                  | 0.0168              | 69.5                                  | 0.0144          |

Tablica 4.5: Faktori utjecaja temperature  $k_T$  na izračunavanje pomaka kolničke konstrukcije sa asfaltnim zastorom (debljine h) [ FGSV, 1991].

| Srednja temperatura asfaltnog zastora $T_m$ [°C] | Debljina asfaltnog zastora h |             |             |
|--|------------------------------|-------------|-------------|
|  | 5 do 10 cm                   | 10 do 20 cm | 20 do 30 cm |
|  | Faktor $k_T$                 |             |             |
| 5  | 1.50                         |             |             |
| 6  | 1.335                        |             |             |
| 7  | 1.265                        |             |             |

|    |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|
| 8  |       | 1.205 |       |
| 9  |       | 1.165 |       |
| 10 |       | 1.135 |       |
| 11 |       | 1.11  |       |
| 12 |       | 1.09  |       |
| 13 |       | 1.075 |       |
| 14 |       | 1.06  |       |
| 15 |       | 1.05  |       |
| 16 |       | 1.04  |       |
| 17 |       | 1.03  |       |
| 18 |       | 1.025 |       |
| 19 |       | 1.02  |       |
| 20 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 21 | 0.985 | 0.975 | 0.99  |
| 22 | 0.98  | 0.955 | 0.975 |
| 23 | 0.975 | 0.94  | 0.955 |
| 24 | 0.975 | 0.925 | 0.935 |
| 25 | 0.97  | 0.91  | 0.915 |
| 26 | 0.97  | 0.895 | 0.89  |
| 27 | 0.97  | 0.88  | 0.87  |
| 28 | 0.97  | 0.865 | 0.845 |
| 29 | 0.97  | 0.85  | 0.825 |
| 30 | 0.97  | 0.835 | 0.80  |

Vrijednost površine kolničke konstrukcije  $d_{20}$ , tj. vrijednost navedenu za temperaturu od 20 C, treba izračunati za kolničke konstrukcije s asfaltnim zastorom,

- nevezani nosivi sloj, temeljen na jednadžbi  $d_{20} = d_i x x_t$  (mm),
- hidraulično vezivo vezano nosivim slojem, na temelju jednadžbe  $d_{20} = d_i + k_h$  (mm).

Tablica 4.6: Vrijednost korekcije utjecaja strukture kolničke konstrukcije (hidrauličnim vezivom vezani nosivi sloj) na izračunavanje pomaka površine kolničke konstrukcije pri različitim temperaturama [FGSV, 1991].

| Srednja temperatura<br>asfaltnog zastora<br>$T_m$ [°C] | Vrijednost<br>korekcije $k_h$<br>[mm] |
|--|---------------------------------------|
| 5  | 0.05                                  |
| 6  | 0.05                                  |
| 7  | 0.05                                  |
| 8  | 0.04                                  |
| 9  | 0.04                                  |
| 10   | 0.04                                  |
| 11   | 0.03                                  |
| 12   | 0.03                                  |
| 13   | 0.03                                  |
| 14   | 0.02                                  |
| 15   | 0.02                                  |
| 16   | 0.01                                  |
| 17   | 0.01                                  |
| 18   | 0.00                                  |
| 19   | 0.00                                  |
| 20   | 0.00                                  |
| 21   | - 0.01                                |
| 22   | - 0.02                                |
| 23   | - 0.02                                |
| 24   | - 0.03                                |
| 25   | - 0.03                                |
| 26   | - 0.04                                |
| 27   | - 0.05                                |
| 28   | - 0.05                                |
| 29   | - 0.06                                |
| 30   | - 0.06                                |



#### 4.4.8 Utjecaj godišnjeg doba

Utjecaj sezone na izračunavanje propasti površine konstrukcije kolnika ovisi uglavnom o sljedećem:

- uvjeti kolnika,
- osjetljivost materijala koji se koriste u područjima leda na negativne učinke smrzavanja i
- klimatski i hidrološki uvjeti.

Informacijske vrijednosti faktora sezonskog utjecaja "c" prikazane su u tablici 4.7

Tablica 4.7: Faktori sezonskih utjecaja „c“ na izračunavanje pomaka kolničke konstrukcije sa asfaltnim zastorom [FGSV, 1991].

| Faktor „c“ | Karakteristični uslovi za određivanje informativnih vrijednosti  |
|------------|--|
| 1.0        | Mjerenje izvedeno u periodu najniže nosivosti (prilikom otapanja snijega)  |
| 1.1 – 1.2  | Kolnička konstrukcija nije osjetljiva na utjecaje leda, povoljni klimatski i hidrološki uvjeti   |
| 1.2 – 1.4  | Kolnička konstrukcija sadrži nosivi sloj od nevezanog kamenog agregata umjerene osjetljivosti na utjecaje leda, povoljni klimatski i hidrološki uvjeti   |
| 1.6 – 2.0  | Zastor kolničke konstrukcije napuknut; kolnička konstrukcija sadrži nosivi sloj od nevezanog kamenog agregata srednje osjetljivosti na utjecaje leda, nepovoljni klimatski i hidrološki uvjeti |

Uvjet za homogeni dio strukture kolnika, s obzirom na nagib, je faktor promjene  $k_v$ , koji se izračunava na temelju jednadžbe:

$$k_v = \frac{s}{d} \leq 0,35. \quad (4.20)$$

- s – standardno odstupanje od vrijednosti pomaka, koje se izračunava na osnovu jednadžbe:

$$s = \sqrt{\frac{d_{20}^2 - d \sum d_{20}}{n-1}}. \quad (4.21)$$

- d - srednja vrijednost pomaka koja se izračunava na osnovu jednadžbe:

$$d = \frac{\sum d_{20}}{n}. \quad (4.22)$$

Duljina homogenog dijela ne smije biti manja od 100 m u naseljima, odnosno 200 m izvan naselja,[FGSV, 1991].

#### 4.4.9 Određivanje mjerodavnog elastičnog pomaka

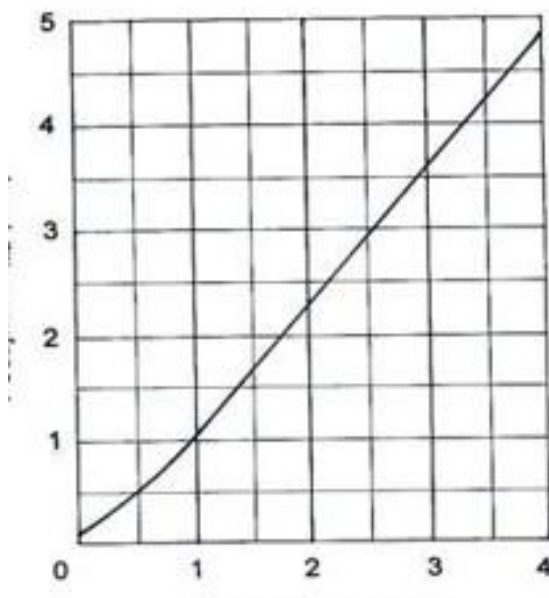
Autoritativni elastični nagib konstrukcije kolnika s asfaltnim slojem, koji je određen na temelju rezultata dobivenih mjerenjem pomoću Benkelmannove grede, izračunava se na temelju jednadžbe:

$$d_{mB} = c(d + kxs). \quad (4.23)$$

gdje je:

- $k_{pr}$  faktor koji ovisi od vrsti puta i potrebnog stupnja sigurnosti, a koji iznosi:
- $k_{pr} = 2.0$ : za autoceste, brze ceste, i magistralne ceste (sa teškim prometom)
- $k_{pr} = 1.6$ : za regionalne ceste (sa srednjim prometom)
- $k_{pr} = 1.3$ : za lokalne ceste (sa lakim prometom)

Primjenjivi elastični nagib  $d_{mB}$  predstavlja osnovu za određivanje stvarnog stanja kolničke konstrukcije. U postupku utvrđivanja stvarnog stanja kolničke konstrukcije i određivanja eventualnih potrebnih mjera za rješavanje postojećeg stanja, relevantan je pomak  $d_{mL}$  koji je utvrđen pomoću Lacroix deflektografa. Međusobni odnos između vrijednosti, koje su određene na temelju rezultata mjerenja Benkelmannovom snopom ( $d_{mB}$ ) i Lacroix deflektographom ( $d_{mL}$ ) prikazan je na slici 4.13.



Slika 4.14: Uzajamni odnos vrijednosti pomaka, koje su utvrđene na osnovu rezultata mjerenja Benkelmanovom gredom ( $d_{mB}$ ), i Lacroix deflektografom ( $d_{mL}$ ), [FGSV, 1991].

#### 4.5 Nove asfaltne kolničke konstrukcije

Ovim se radom navode dimenzije kolničkih konstrukcija na svim prometnim površinama namijenjenim motornom prometu, koje su izgrađene na donjem stroju. Dimenzije asfaltnog zastora na mostovima i tunelima određuju se uzimajući u obzir posebne uvjete.

Ovim radom određuje se:

- ukupna debljina konstrukcije kolnika i
- debljina slojeva pojedinih materijala, ovisno o sljedećim čimbenicima,
- utjecaj prometnog opterećenja na zamor materijala kolničke konstrukcije,
- nosivost donjeg stroja (osnove) i
- hidrološki i klimatski uvjeti.

Projektiranje novih asfaltnih kolničkih konstrukcija temelji se na pretpostavci da su svi čimbenici (utjecaji) slični na određenoj dionici ceste i da se neće značajno mijenjati u odnosu na predviđene. U tom slučaju osigurano je predviđeno trajanje i upotrebljivost asfaltne kolničke konstrukcije. S činjenicom da se upotrebljivost postupno smanjuje tijekom vremena.

Osnovni parametri u ovom empirijskom načinu određivanja dimenzija konstrukcije kolnika su sljedeći:

- trajanje kolničke konstrukcije,
- upotrebljivost površine kolničke konstrukcije po isteku isteka razdoblja ( $p$ ),
- osnovna nosivost = posteljica ( $CBR$ ),
- dnevno prometno opterećenje ( $Td$ ),
- klimatski i hidrološki uvjeti ( $R$ ),
- karakteristike materijala koji će se koristiti za izgradnju predviđene kolničke konstrukcije.

Iskoristivost kolničke konstrukcije, kao ciljne vrijednosti, određuje se na temelju indeksa  $p$  kapaciteta prometa, a to je:

- za nove, idealno ravne asfaltne pločnike  $p = 5,0$
- za potpuno dotrajale (uništene) ceste, na kojima promet nije moguć  $p = 0$ .

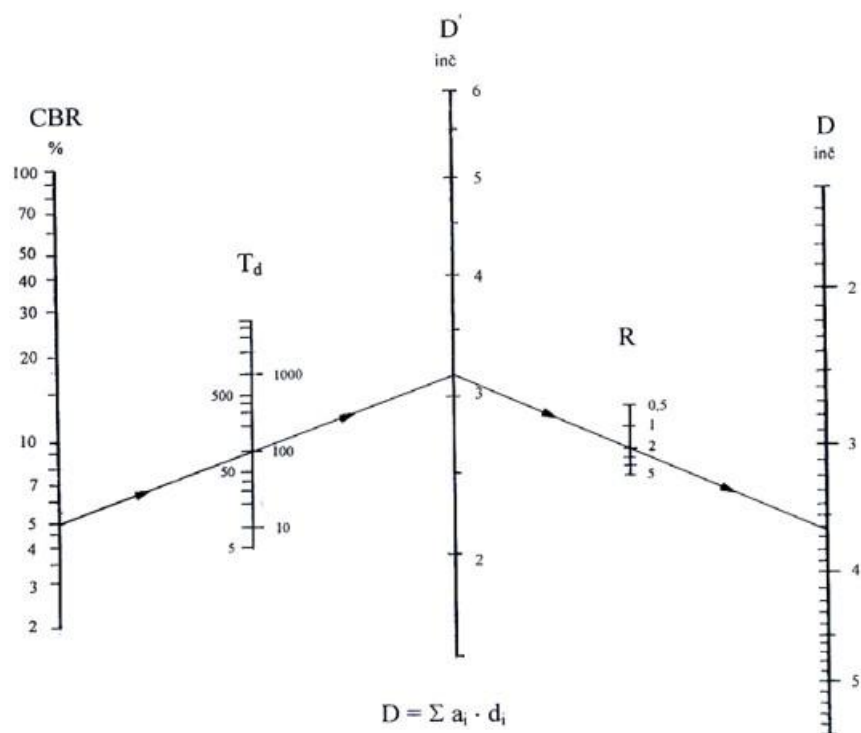
Mjerenje upotrebljivosti površine kolničke konstrukcije ili određivanje indeksa prometnih performansi na temelju rezultata dobivenih mjerenjem nije podržano u praksi. Kao predviđena granična vrijednost indeksa prometnih kapaciteta, po isteku razdoblja kolničke konstrukcije usvojena je vrijednost  $p_k = 2,0$ , što i dalje ukazuje na to da je kolnička konstrukcija ispravna. (Žmavc, 2005)

#### 4.5.1 Nosivost posteljice

Informacijske korelacijske vrijednosti indeksa  $CBR_2$ , modul deformacije  $E_{v2}$  i modul za kompresiju  $ME$  navedene su u tablici 4.8. Osnovni uvjet koji posteljica mora zadovoljiti su mehanička svojstva tla, koja bi trebala biti, koliko god je to moguće, ujednačena, kako bi se postigla ujednačena nosivost.

Ako se odgovarajuća nosivost ne može postići korištenjem prirodnih materijala, trebalo bi uvesti odgovarajuće metode za poboljšanje, fiksaciju i/ili stabilizaciju. S obzirom na to da ti postupci ne zahtijevaju veća ulaganja, potrebno je postići najveću moguću nosivost, koja u svakom slučaju ne smije biti manja od  $CBR=7$  %.

Dijelovi ceste na kojima je nosivost ujednačena trebaju biti što je duže moguće. Prema pravilu, nosivost podloge ispod kolničke konstrukcije (posteljice) trebala bi biti ujednačena na cijelom dijelu pojedine nove ceste, pod uvjetom da navedena dionica ne smije biti kraća od 500 m.



Slika 4.15: Nomogram za određivanje indeksa debljine kolničke konstrukcije D ( $p = 2.0$ ) (Žmavc, 2005)

Tablica 4.8: Informativna korelacija vrijednosti nosivosti za karakteristične materijale posteljice (Žmavc, 2005)

| Klasifikacija materijala prema USCS | CBR <sub>2</sub> vrijednost (%) | Modul stišljivosti M <sub>E</sub> (MN/m <sup>2</sup> ) | Modul deformacije E <sub>v2</sub> (MN/m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------|---------------------------------|--|--|
| ML, MH, CH                          | 3                               | 4  | 15   |
| CL, SC                              | 5                               | 8  | 20   |
| GC, SM                              | 7                               | 13   | 45   |
| GC, SP                              | 10                              | 20   | 60   |
| SW, GM                              | 15                              | 35   | 80   |
| GP, GW                              | 20                              | 50   | 100  |

#### 4.5.2 Mjerodavno prometno opterećenje i vijek trajanja kolničke konstrukcije

Za svaku prometnu traku pojedinačno određuje se ukupan broj prolaza standardnog osovinskog opterećenja od 82 kN. Predviđeno trajanje kolničkih konstrukcija s asfaltnim zastorom u pravilu bi trebalo biti 20 godina. U određenim slučajevima navedeno razdoblje može biti kraće, ali ne smije biti kraće od 5 godina.

Razvrstavanje prosječnog dnevnog i relevantnog (ukupnog) prometnog opterećenja u karakteristične skupine unutar predviđenog razdoblja vijeka trajanja kolničke konstrukcije (n 20 godina) prikazano je u tablici 4.9.

Tablica 4.9: Klasifikacija prometnog opterećenja u grupe (Žmavc, 2005)

| Grupa prometnog opterećenja | Broj prolaza nominalnog osovinskog opterećenja od 82 kN |  |
|-----------------------------|---|--|
|                             | po danu   | po danu                                  |
| - izuzetno teško            | iznad 3,000   | iznad $2 \times 10^7$                    |
| - veoma teško               | iznad 800 do 3,000                                      | iznad $6 \times 10^6$ do $2 \times 10^7$ |
| - teško                     | iznad 300 do 800  | iznad $2 \times 10^6$ do $6 \times 10^6$ |
| - srednje                   | iznad 80 do 300   | iznad $6 \times 10^5$ do $2 \times 10^6$ |
| - lako                      | iznad 30 do 80  | iznad $2 \times 10^5$ do $6 \times 10^5$ |
| - veoma lako                | do 30   | do $2 \times 10^5$                       |

#### 4.5.3 Klimatski i hidrološki uvjeti

Pri određivanju dimenzija novih asfaltnih kolničkih konstrukcija treba uzeti u obzir klimatske i hidrološke uvjete na temelju sljedećeg:

- usvojene vrijednosti regionalnog faktora  $R = 2.0$  u određivanju dimenzija kako bi se osigurala odgovarajuća otpornost predviđenih materijala na vijek trajanja,
- određena granična debljina  $h_{min}$  konstrukcije pločnika kako bi se zaštitila od učinaka smrzavanja, otapanja i

- kriterija.

Regionalne faktorske vrijednosti su do  $R = 0,5$  za najteže klimatske i hidrološke uvjete, a do  $R = 5$  za najpovoljnije klimatske i hidrološke uvjete. Za prevladavajuće uvjete vrijednost  $r = 2,0$  određuje se kao osnovna.

Relevantne utjecaje klimatskih i hidroloških uvjeta na određivanje granične debljine kolničke konstrukcije, kako bi se zaštitili od učinaka smrzavanja i odmrzavanja, treba odrediti na temelju analize uvjeta zaštite.

#### *4.5.4 Osnovni materijali kolničke konstrukcije*

Prilikom odabira materijala za strukturu pločnika potrebno je uzeti u obzir sljedeće:

- uloga određene vrste i sloja materijala,
- kvalitetu materijala,
- primjenjuje se gospodarstvo.

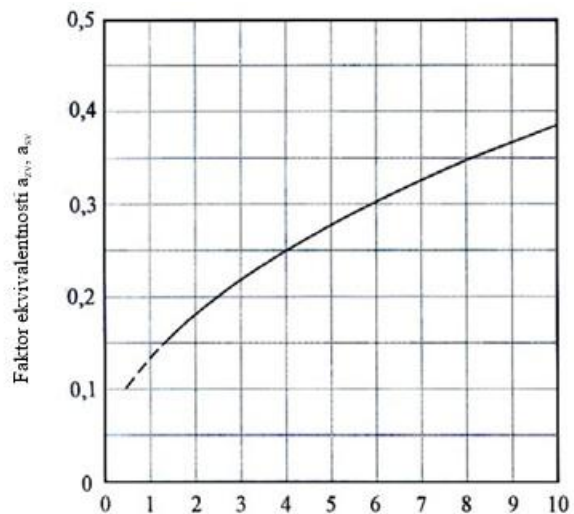
Kvaliteta materijala namijenjenih proizvodnji novih asfaltnih kolničkih konstrukcija trebala bi ispunjavati zahtjeve navedene u važećim tehničkim propisima.

Među odnosi materijala s obzirom na otpornost na umor uzrokovan prometnim i klimatskim opterećenjem, odnosno faktori istovjetnosti materijala ili zamjenski faktori (a) omogućuju potrebne usporedbe pri određivanju vrste i dimenzija pojedinih slojeva kolničke konstrukcije.

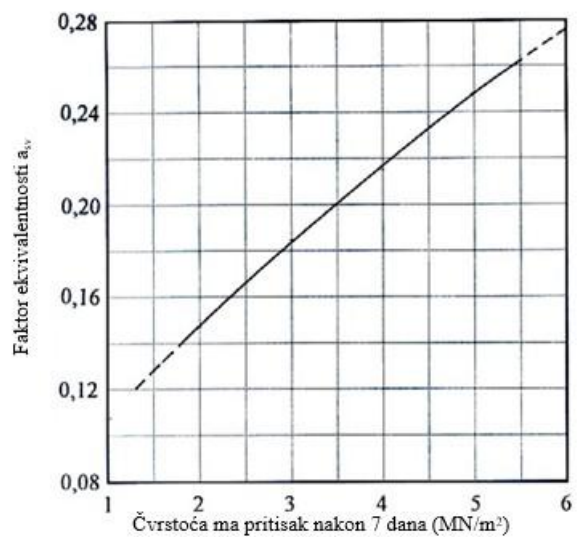
#### *4.5.5 Određivanje kvaliteta*

U slučaju da se u asfaltnim smjesama za dotrajale i nosive slojeve, cementnim stabiliziranim kamenim agregatima i neograničenim mineralnim agregatima pojavljuju značajna odstupanja kvalitete od prosječnih vrijednosti, potrebno je odrediti odgovarajuće čimbenike istovjetnost materijala, primjena dijagrama prikazanih na slikama od 4.10 do 4.13.

Slika 4.15: Faktori ekvivalentnosti za bitumenski beton i bitumenizirani drobljeni kameni agregat (Žmavc, 2005)

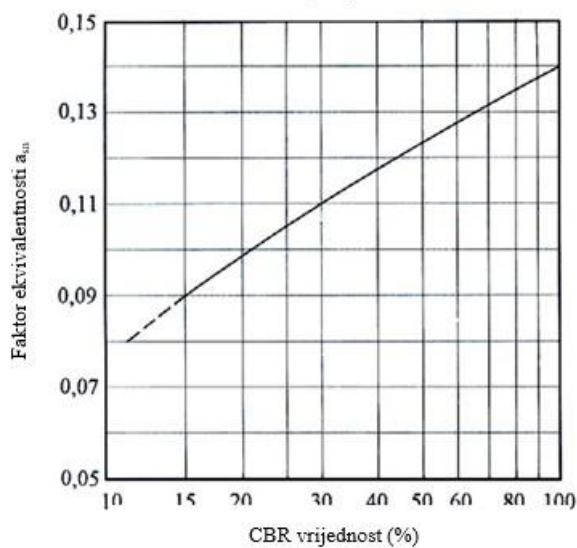


Slika 4.16: Faktori ekvivalentnosti za bitumenizirani šljunak i kameni agregat stabiliziran bitumenom (Žmavc, 2005).



Slika 4.17: Faktori ekvivalentnosti za kameni agregat stabiliziran cementom (Žmavc, 2005)





#### 4.5.6 Osnovne vrste asfaltnih kolničkih konstrukcija

Asfaltna kolnička konstrukcija mogu se izvesti u obliku tri karakteristične konstrukcije, koje se međusobno razlikuju u nosivim slojevima.

S obzirom na vrstu upotrijebljenog materijala, nosivi slojevi mogu se izvesti iz

- nevezani kameni agregat,
- kameni agregat stabiliziran bitumenom, cementom ili
- kameni agregat stabiliziran cementom, bitumenom i nevezanim kamenim agregatom.



Slika 4.18: Asfaltna kolnička konstrukcija sa nosivim slojem od nevezanog kamenog agregata (Žmavc, 2005)



Slika 4.19: Asfaltna kolnička konstrukcija sa nosivim slojem od kamenog agregata stabiliziranog bitumenom ili cementom (Žmavc, 2005)



Slika 4.20: Asfaltna kolnička konstrukcija sa dva nosiva sloja: kameni agregat stabiliziran bitumenom ili cementom i nevezani kameni agregat (Žmavc, 2005)

Pod određenim uvjetima, asfaltna konstrukcija kolnika može se konstruirati tako da se promijeni položaj nosivih slojeva.

#### 4.5.7 Način određivanja dimenzija

Način određivanja novih asfaltnih kolničkih konstrukcija uključuje sljedeće:

- utvrđivanje relevantnih razloga za dimenzioniranje i
- određivanje debljine i vrste pojedinih slojeva, uzimajući u obzir svojstva materijala.

#### 4.5.8 Određivanje debljine sloja

Potrebnu debljinu asfaltnog zastora i nevezanog sloja kamenog agregata za relevantno prometno opterećenje  $T_n$  tijekom trajanja kolničke konstrukcije te

određenu vrijednost nosivosti posteljice – osnove  $CBR-a$  treba odrediti na temelju dijagrama prikazanog na Slici 4.17.

Ukupna potrebna debljina asfaltnog zastora  $d_k$ , odnosno sloja trošenja asfalta i gornjeg nosivog sloja asfalta, koji je prikazan na dijagramu iz Slike 4.19, određuje se za prosječnu kvalitetu asfaltne smjese čiji je predviđeni faktor istovjetnosti  $r_k = 0,38$ . Izbor asfaltnih mješavina za dotrajali i gornji nosivi sloj ovisi o specifičnim uvjetima nanošenja, uglavnom o predviđenom prometnom opterećenju, klimatskim uvjetima i tijeku cestovne trase, koji prilagođavaju sastav kamenog agregata i vrstu bitumensko vezivo. Kvaliteta asfaltne smjese trebala bi ispunjavati zahtjeve navedene u primjenjivim tehničkim propisima za proizvodnju i ugradnju asfaltnih smjesa. Određivanje debljine istrošenog sloja do i gornjeg nosivog sloja  $d_{zv}$  treba provesti sljedećom jednadžbom, uzimajući u obzir faktore istovjetnosti.

$$D_k = a_{rk}d_k = 0.38d_k = a_0d_0a_{zv}d_{zv}. \quad (4.24)$$

Asfaltne smjese za istrošene slojeve novih kolničkih konstrukcija, koje bi trebale izdržati vrlo teško i iznimno teško prometno opterećenje, trebale bi sadržavati modificirano bitumensko vezivo.

Za gornje nosive slojeve novih asfaltnih kolničkih konstrukcija, koje su izložene teškom, vrlo teškom i iznimno teškom prometnom opterećenju, potrebno je koristiti bitumenski zdrobljeni kameni agregat. Preporučuje se i modificirano bitumensko vezivo. Posebno za lagana i vrlo lagana prometna opterećenja može se predvidjeti asfaltna smjesa s bitumenskim šljunkom.

#### 4.5.9 Nevezani nosivi sloj

Debljina nevezanog kamenog agregata u nosivom sloju, koja je prikazana na dijagramu na Slici 4.20, određena je za smjesu zrna šljunka s faktorom istovjetnosti  $a_{rn} = 0,11$ .

Za nove asfaltne kolničke konstrukcije predviđena debljina nevezanog nosivog sloja šljunka trebala bi biti:

- teško prometno opterećenje min. 25 cm,
- srednje ili lako prometno opterećenje min. 20 cm.

Ako je zbog slabe nosivosti nižeg stroja i velikog prometnog opterećenja potreban sloj nevezanog šljunka, deblji od 40 cm, u pravilu treba povećati nosivost donjeg stroja. Dio ili ukupna debljina nevezanog nosivog sloja šljunka može se zamijeniti zdrobljenim kamenim agregatom, uzimajući u obzir projicirani faktor ekvivalentnosti  $\alpha_{sn} = 0,14$ . Budući da je debljina nevezanog nosivog sloja drobljenog kamenog agregata također ograničena na 40 cm, može zamijeniti ekvivalentnu predviđenu debljinu sloja šljunka, koja je do:

40 x 0.14/0.11 = 50 cm. Vrsta kamenog agregata, koja je namijenjena nevezanim nosivim slojevima, može se prilagoditi prometnom opterećenju i ekonomskim uvjetima. Prilikom izrade novih asfaltnih kolničkih konstrukcija koje su izložene teškom prometnom opterećenju potrebno je, u pravilu koristiti drobljene kamene agregate za nevezani nosivi sloj.

Kvaliteta kamenih agregata za proizvodnju nevezanih nosivih slojeva mora ispunjavati zahtjeve važećih tehničkih propisa za proizvedene i ugrađene kamene agregate. (Žmavc, 2005)

#### *4.5.10 Donji vezani nosivi sloj*

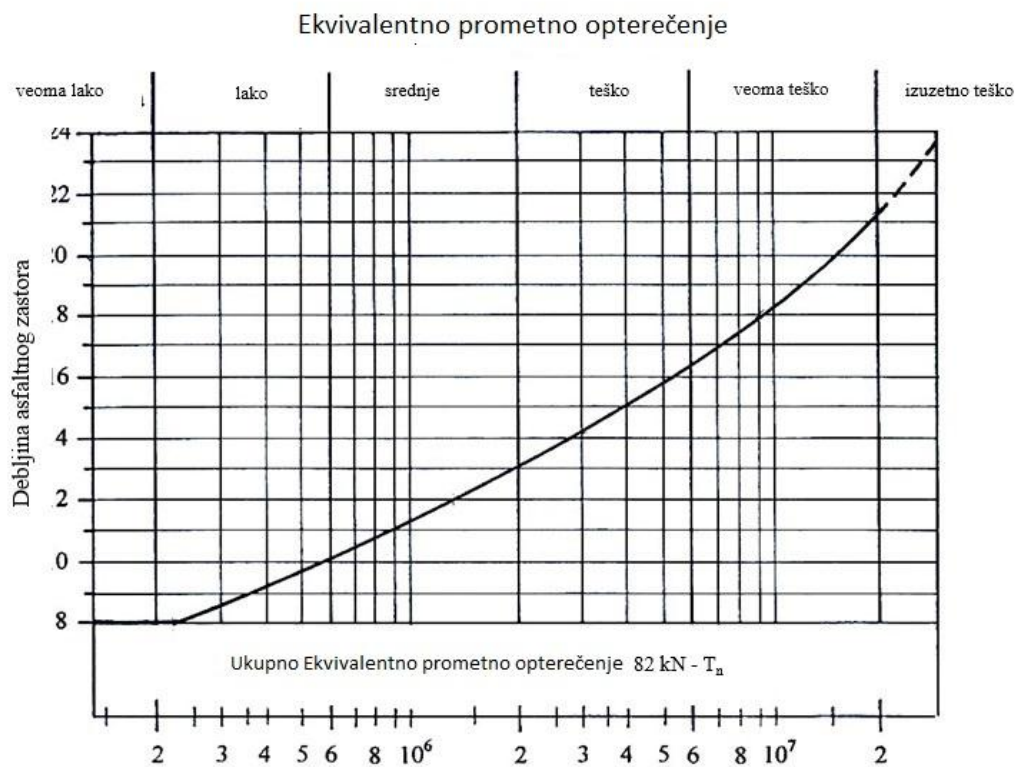
Nevezani nosivi sloj šljunka može se djelomično ili u potpunosti zamijeniti donjim nosivim slojem, tj. mješavina zdrobljenih kamenih agregata ili šljunka, stabiliziranih cementom ili betonom.

Minimalna predviđena debljina donjeg vezanog nosivog sloja za nove asfaltna kolničke konstrukcije je:

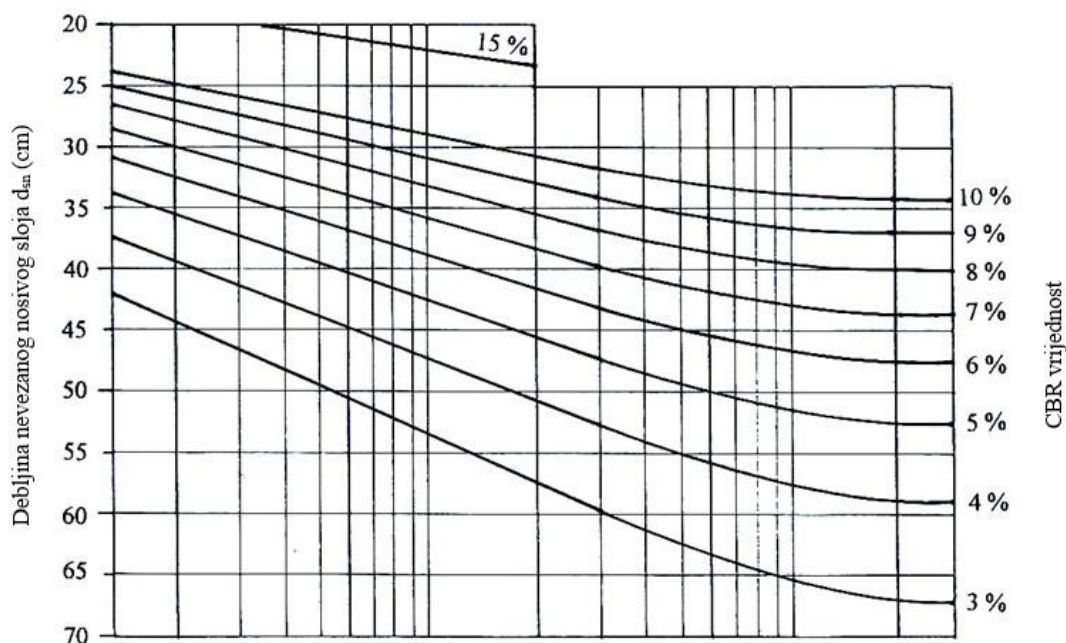
- ako su gusti promet i stabilizirani,
- cementni min. 18 cm,
- bitumensko vezivo min. 14 cm,
- ako su opterećeni srednjim ili lakim prometom i stabilizirani,
- cement min 15 cm,
- bitumenozno vezivo min,
- šest centimetara.

Vrsta materijala donjeg vezanog nosivog sloja, tj. kameni agregat stabiliziran bitumenskim vezivom ili cementom mora biti prilagođen prometnim i klimatskim uvjetima, cestovnom pravcu i gospodarskim okolnostima.

Kvaliteta asfaltne smjese ili kamenih agregata stabiliziranih cementom mora biti u skladu s odredbama važećih tehničkih propisa za proizvedene i ugrađene smjese.



Slika 4.21: Dijagram ukupnog ekvivalentno prometno opterećenja (Žmavc, 2005)



Slika 4.22: Dijagram za određivanje dimenzija osnovnih slojeva novih asfaltnih kolničkih konstrukcija (Žmavc, 2005)

#### 4.5.11 Izgradnja u fazama

Ako je izgradnja nove asfaltne kolničke konstrukcije predviđena u fazama , potrebno je uzeti u obzir da se nosivi sloj (izrađen od nevezanog kamenog agregata ili od kamenog agregata stabiliziranog vezivom ili iz kombinacije) mora provoditi tijekom cijelog predviđenog razdoblja kolničke konstrukcije, dok asfaltni zastor mora biti izrađen tako da traje dio predviđenog razdoblja trajanja.

Potrebna debljina asfaltnog zastora, koja se nanosi na postojeću kolničku konstrukciju, koja traje samo jedan dio predviđenog razdoblja trajanja, za preostalo razdoblje trajanja mora se odrediti na temelju razlike između potrebne debljine asfaltnog sloja za cijelo razdoblje trajanja i debljine asfaltnog sloja za jedan dio predviđenog razdoblja trajanja.

Prije završetka izgradnje asfaltne kolničke konstrukcije, tj. prije druge faze, nosivost postojeće konstrukcije kolnika (od prvog dijela predviđenog razdoblja trajanja) treba provjeriti ispitivanjem nagiba (npr. pomoću Benkelmanove grede ili instrumenta za mjerenje matrice ) i odrediti potrebnu debljinu dodatnog asfaltnog zastora.

#### 4.5.12 Provjera utjecaja smrzavanja

Za nove asfaltne kolničke konstrukcije, koje se određuju na temelju prometnog opterećenja i nosivosti donjeg stroja, potrebno je provjeriti i učinke smrzavanja i taljenja. S obzirom na otpor posteljice, kao i s obzirom na hidrološke uvjete, minimalna potrebna debljina konstrukcije kolnika  $h_{min}$  navedena je u tablici 4.18. U slučaju da je ukupna debljina nove asfaltne kolničke konstrukcije, tj.  $dk$  (zastor) +  $dsn$  (nosivi slojevi) manja od određene minimalne debljine konstrukcije kolnika  $h_{min}$ , potrebno je izvesti sljedeće:

- adekvatno povećati debljinu nevezanog nosivog sloja ili
- osigurati odgovarajuću kvalitetu materijala posteljice u potrebnoj debljini.

Tablica 4.10: Minimalna potrebna debljina kolničke konstrukcije  $h_{min}$  (Žmavc, 2005)

| Otpornost materijala koji se nalaze ispod kolničke konstrukcije na utjecaje smrzavanja i otapanja | Hidrološki uvjeti | Debljina kolničke konstrukcije $h_{min}$ |
|---|-------------------|--|
| otporan   | povoljni          | $\geq 0.6 h_m$ <sup>1)</sup>             |
|   | nepovoljni        | $\geq 0.7 h_m$                           |
| neotporan   | povoljni          | $\geq 0.7 h_m$                           |
|   | nepovoljni        | $\geq 0.8 h_m$                           |

Legenda:

- 1)  $h_m$  – dubina prodiranja smrzavanja

## 5. PRAKTIČNI DIO

U projektnom zadatku se nalazi dio županijske ceste ŽC 3005 (Vukovo Selo, k.č.:4113/1-cesta k.o. Laduč). Postojeća županijska cesta je asfaltbetonska, dvotračna i dvosmjerna, s jednostrešnim poprečnim nagibima kolnika.



Slika 5.1 Županijska cesta ŽC 3005(Vukovo Selo).

Širina ceste je 6m, oborinska odvodnja sa kolnika nalazi s jedne strane ceste. Riješena je povoljno postavljenim uzdužnim i poprečnim nagibima završnih ploha kojima se oborinska voda usmjeravala prema kanalu koji se nalazi uz ceste.

Brzina kretanja vozila je ograničena na 50 km/h činjenicom da se nalaze unutar prometnim znakom obilježenog naseljenog mjesta. Vlažna posteljica slabije je nosivosti i razlog nastanka površinskih pukotina na kolniku.

Novi kolnik županijske ceste će biti asfaltbetonski, dvotračni i dvosmjerni, s rubnim trakom širine 25 cm i bankinom širine 100cm, s jednostrešnim poprečnim nagibom kolnika. Niveleta novog kolnika prati niveletu postojećeg kolnika u najvećem dijelu projekta kako bi se što više uklopili u rubnu izgradnju. Širina novog kolnika županijske ceste će biti  $3,0+3,0=6\text{m}$ .

Konstrukcija kolnika:

- 4cm - habajući sloj asfaltbetona, AC-11 Surf PmB 45/80-65 AG6 M1



- 8 cm - nosivi sloj asfaltbetona, AC-32 base 50/70 AG6 M1 E
- 50 cm – nevezani granulirani kameni materijal 0/63 mm ( $M_s \geq 100 \text{ MN/m}^2$ )
- isplanirana i zbijena posteljica (zemljana  $M_s \geq 40 \text{ MN/m}^2$ )

Od posteljice se zahtijeva da bude čvrsta, dobro zbijena, da ima ravnu površinu i veliku nosivost. Visinska odstupanja od projekta smiju biti maksimalno  $\pm 2-3 \text{ cm}$ . Radi ispravnog funkcioniranja odvodnje, posteljica mora biti izvedena u određenom uzdužnom i poprečnom nagibu, minimalni poprečni nagib posteljice je 4%, a minimalni uzdužni nagib posteljice je 0,5%. Kvaliteta posteljice ispituje se Proctorovim pokusom u laboratoriju i kružnom pločom na terenu. Kružna ploča je metalna ploča promjera 30 cm koja se utiskuje u ispitivani sloj i prati veličina tonjenja (utiskivanja) ovisno o sili pritiska. Pokusom se ispituje nosivost iskazana modulom stišljivosti  $M_s$  ( $\text{MN/m}^2$ ) koji ovisno o vrsti materijala treba iznositi 30 – 40  $\text{MN/m}^2$ . Ukoliko se ne mogu postići propisane vrijednosti modula stišljivosti, pristupa se poboljšanju ili zamjeni temeljnog tla u usjeku ili stabilizaciji završnog sloja posteljice u debljini od 15-20 cm, vapnom, cementom ili bitumenom.

Nagib pokosa je projektiran 1:1.5 zaštićuje se postavljanjem geotekstila na površinu i nasipavanjem humusa u debljini od 20cm ili hidrosjetvom.

Površinska odvodnja oborinskih voda sa kolnika i gravitirajućih mu okolnih površina je projektirana povoljnim postavljanjem uzdužnih i poprečnih nagiba kolnika kojima se oborinska voda sa kolnika usmjerava prema nižem rubu kolnika i slijeva se u kanal.

## 6. ZAKLJUČAK

Tijekom rada sam zaključio da zemljani radovi s naglaskom na stabilnost kosina, nasipa na slabo nosivim materijalima kao i geosintetičke materijale primjenjenih pri gradnji prometnica su jedan od ključnih faktora pri dimenzioniranju prometnica. U poglavlju kolničkih konstrukcija vidljivo je prometno opterećenje kao ključni parametar dimenzioniranja uz opise klimatskih i hidroloških uvjeta. Za potpuno razumijevanje problema trebalo je obuhvatiti karakteristiku materijala ugrađenih u donji i gornji ustroj kolničke konstrukcije i njihova nosivost. Praktični dio razrađuje automatizaciju procesa pri dimenzioniranju kolničkih konstrukcija po kriteriju nosivosti i opterećenja na zadanoj dionici Županijske ceste ŽC 3005, stacionaže: km 6+700, Vukovo selo. Na samoj dionici uočavam da je kolnik u vrlo lošem stanju kao i sama dionica ceste. Ovaj rad mi je pridonio razumijevanje problema prometnog opterećenja i dimenzioniranje prometnica. Te uz primjenu svega naučenog i prikazanog u ovom radu na dionicu ceste dobit će se Novi kolnik županijske ceste koji će biti asfaltbetonski, dvotračni i dvosmjerni, s rubnim trakom širine 25 cm i bankinom širine 100cm, s jednostrešnim poprečnim nagibom kolnika. Niveleta novog kolnika prati niveletu postojećeg kolnika u najvećem dijelu projekta kako bi se što više uklopili u rubnu izgradnju. Širina novog kolnika županijske ceste će biti  $3,0+3,0=6\text{m}$ .

Konstrukcija kolnika:

- 4cm - habajući sloj asfaltbetona, AC-11 Surf PmB 45/80-65 AG6 M1,
- 8 cm - nosivi sloj asfaltbetona, AC-32 base 50/70 AG6 M1 E,
- 50 cm – nevezani granulirani kameni materijal 0/63 mm ( $M_s \geq 100 \text{ MN/m}^2$ ),
- isplanirana i zbijena posteljica (zemljana  $M_s \geq 40 \text{ MN/m}^2$ ).

Površinska odvodnja oborinskih voda sa kolnika i gravitirajućih mu okolnih površina je projektirana povoljnim postavljanjem uzdužnih i poprečnih nagiba kolnika kojima se oborinska voda sa kolnika usmjerava prema nižem rubu kolnika i slijeva se u kanal.

## 7. LITERATURA

- [1] M. Rezo : Prometnice, Predavanja, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2016.
- [2] M. Rezo : Interna skripta „Prometnice“, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, 2013.
- [3] V. Dragičević, T. Rukavina : Donji ustroj prometnica, Zagreb, 2006.
- [4] Ž. Korlaet: Uvod u projektiranje i građenje cesta, udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1995.
- [6] V. Dragičević, T. Rukavina: Donji ustroj prometnica, udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2006.
- [7] J. Žmavc: Smjernice za projektiranje, građenje, održavanje i nadzor na putevima, Sarajevo, Banja Luka 2005.
- [8] Nonveiller, E. 1990, Mehanika tla i temeljenje građevina, Školska knjiga, 823 str
- [9] AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, Washington, D.C., 1974
- [10] SNV 640 320: 1971, Dimensionierung – Aequivalente Verkehrslast (Design – equivalent traffic loading).
- [11] SN 640 317a: 1988 Dimensionierung, Unterbau und Untergrund (Design, Substructure and Subgrade)
- [12] SN 670 005: 1970 Klassifikation der Lockergesteine, Feldmethode nach USCS (Classification of Soils, In-situ Method by USCS)
- [13] SN 670 008: 1970 Klassifikation der Lockergesteine, Laboratoriumsmethode nach USCS (Classification of Soils, Laboratory Method by USCS)
- [14] (Additional Technical Contractual Conditions and Guidelines for Earth Works in Road Construction – ZTVE 94, DIN 18196, Classification of Soils for Construction Purposes)
- [15] Sršen, M., Kovačić, M. i Kaučić, D. (2004). Određivanje dubine smrzavanja tla ispod kolničke konstrukcije. Građevinar, 56 (03.), 145-154.
- [16] BAST – Empfehlungen (E 1), Ausführung von Plattendruckversuchen, BAST, Köln, 1968 (BAST – Recommendations (E 1), Execution of Plate Bearing Tests, BAST, Cologne, 1968)

URL (15.11.2022)

[1] <https://www.prometna-signalizacija.com/oprema-ceste/zastita-pokosa/>

[2] [https://www.academia.edu/8350542/IN%C5%BDENJERSKA\\_GEODEZIJA\\_III](https://www.academia.edu/8350542/IN%C5%BDENJERSKA_GEODEZIJA_III)

[3]

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjZhIvvhH6AhVjhv0HHTtmCfAQFnoECA0QAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.gfos.unios.hr%2Fdownload%2Fjis-2-klasifikacija-i-prostorni-modeli.pdf&usg=AOvVaw1x4DHUDNC9zTLiLw4pzipio>

[4 ] [https://dynatest.com/wp-content/uploads/2021/06/8000FWD\\_US.pdf](https://dynatest.com/wp-content/uploads/2021/06/8000FWD_US.pdf)

## 8. POPIS SLIKA

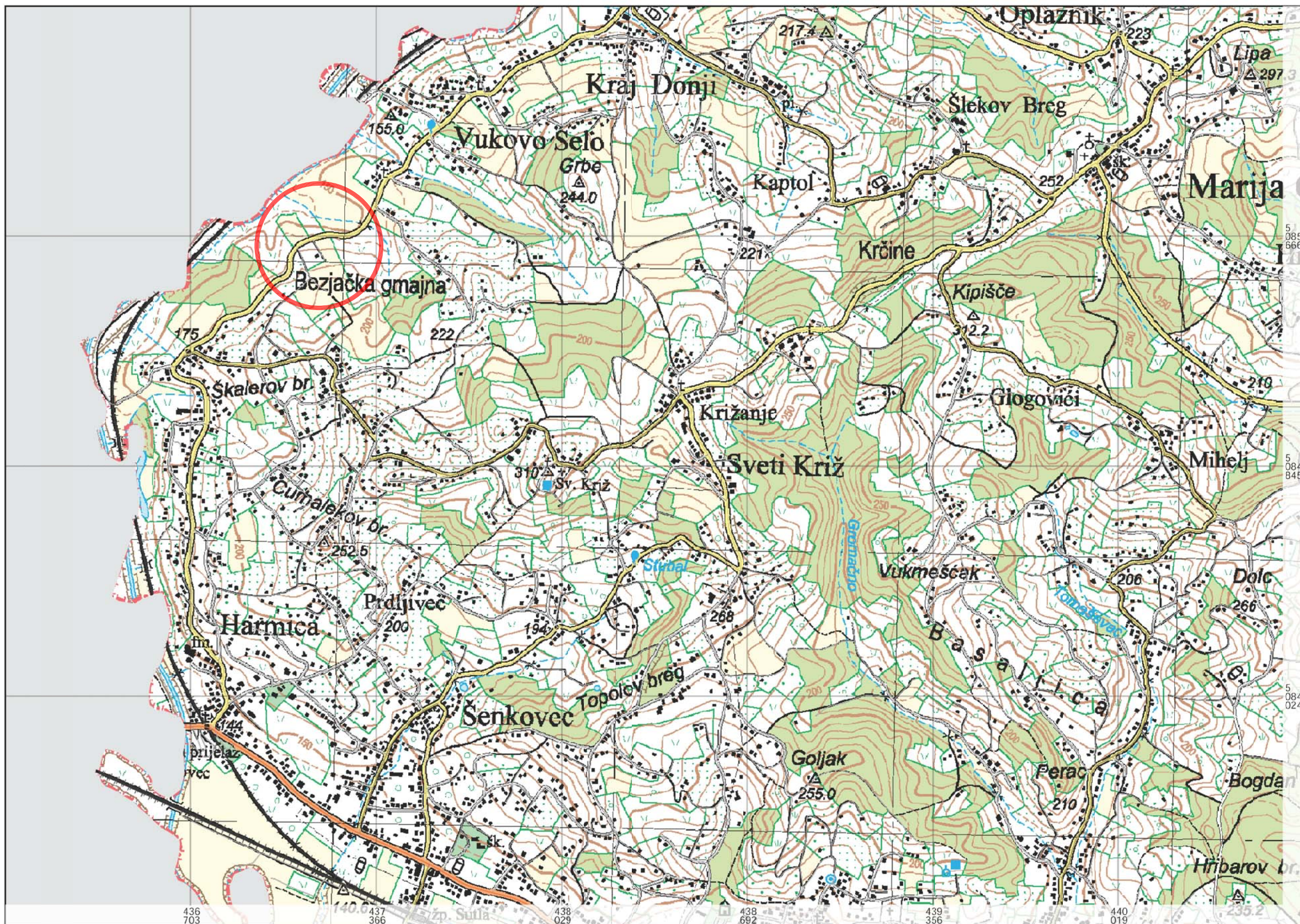
|             |   |         |
|-------------|---|---------|
| Slika 4.1:  | Ovisnost o prodiranju smrzavanja u materijale F2 i F3 iz indeksa smrzavanja   | .....23 |
| Slika 4.2:  | Vrste mjera za sprečavanje negativnih učinaka smrzavanja  | .....24 |
| Slika 4.3:  | Određivanje klasa osjetljivosti F1 i F2 ovisno o koeficijentu U i sadržaju sitnih čestica   | .....30 |
| Slika 4.4:  | Karta pojedinih zona indeksa smrzavanja zraka (ISZ) za područje Republike Hrvatske  | .....34 |
| Slika 4.5:  | Program kružnih ploča, uključujući opremu za mjerenje slijeganja  | .....38 |
| Slika 4.6:  | Benkelmanova greda  | .....39 |
| Slika 4.7:  | Shema kružne ploče sa opremom za dinamičko opterećenje kao i za mjerenje slijeganja   | .....40 |
| Slika 4.8:  | Dijagram slijeganja kružne ploče »p« u zavisnosti od opterećenja »p«  | .....49 |
| Slika 4.9:  | Dijagram pritiska »σ« ispod kružne ploče u zavisnosti od predviđenog slijeganja »s«   | .....51 |
| Slika 4.10: | Lacroix deflektograf – mjerna oprema  | .....53 |
| Slika 4.11: | Dynatest 8000 FWD deflektometar   | .....54 |
| Slika 4.12: | Shematski prikaz mjerenja ukupnog pomaka površine kolničke konstrukcije   | .....56 |
| Slika 4.13: | Shematski prikaz mjerenja elastičnog ugiba površine kolničke konstrukcije Benkelmanovom gredom  | .....57 |
| Slika 4.14: | Uzajamni odnos vrijednosti pomaka, koje su utvrđene na osnovu rezultata mjerenja Benkelmanovom gredom (dmB), i Lacroix deflektografom (dmL) | .....64 |
| Slika 4.15: | Nomogram za određivanje indeksa debljine kolničke konstrukcije D (p = 2.0)  | .....66 |
| Slika 4.16: | Faktori ekvivalentnosti za bitumenizirani šljunak i kameni agregat stabiliziran bitumenom   | .....69 |
| Slika 4.17: | Faktori ekvivalentnosti za kameni agregat stabiliziran cementom   | .....69 |
| Slika 4.18: | Asfaltna kolnička konstrukcija sa nosivim slojem od nevezanog kamenog agregata  | .....70 |
| Slika 4.19: | Asfaltna kolnička konstrukcija sa nosivim slojem od kamenog agregata stabiliziranog bitumenom ili cementom                                  | .....71 |
| Slika 4.20: | Asfaltna kolnička konstrukcija sa dva nosiva sloja: kameni agregat stabiliziran bitumenom ili cementom i nevezani kameni agregat            | .....71 |
| Slika 4.21: | Dijagram ukupnog ekvivalentno prometno opterećenja  | .....74 |
| Slika 4.22: | Dijagram za određivanje dimenzija osnovnih slojeva novih asfaltnih kolničkih konstrukcija   | .....75 |
| Slika 5.1:  | Županijska cesta ŽC 3005  | .....77 |

## 9. POPIS TABLICA

|               |   |         |
|---------------|---|---------|
| Tablica 3.1:  | Faktori ekvivalentnosti prometnog opterećenja izvaganih vozila u odnosu na standardno osovinsko opterećenje od 82 kN  | .....14 |
| Tablica 3.2:  | Faktori ekvivalentnosti prometnog opterećenja odabranih reprezentativnih motornih vozila u odnosu na nominalno prometno opterećenje od 82 kN  | .....14 |
| Tablica 3.3:  | Prosječne vrijednosti faktora ekvivalentnosti za vozila   | .....15 |
| Tablica 3.4:  | Prosječne informativne vrijednosti faktora ekvivalentnosti za kamione   | .....15 |
| Tablica 3.5:  | Faktori raspodjele prometnog opterećenja fpp na prometnim trakama   | .....17 |
| Tablica 3.6:  | Faktori utjecaja širine trake prometno opterećenje  | .....17 |
| Tablica 3.7:  | Faktori utjecaja uzdužnog nagiba nivelete kolnika na prometno opterećenje   | .....18 |
| Tablica 3.8:  | Faktori povećanja prometnog opterećenja u zavisnosti od projektiranog godišnjeg porasta prometa i predviđenog trajanja  | .....19 |
| Tablica 4.1:  | Prikaz ukupne dubine slojeva materijala otpornih na smrzavanje  | .....25 |
| Tablica 4.2:  | Kategorizacija materijala (agregata) na osnovu njihove osjetljivost na smrzavanje,  | .....29 |
| Tablica 4.3:  | Kategorizacija materijala prema osjetljivosti na smrzavanje na osnovu CBR3 vrijednosti,   | .....31 |
| Tablica 4.4:  | Faktori utjecaja opterećenja koje stvaraju kotači kko na izračunavanje pomaka površine kolničke konstrukcije  | .....58 |
| Tablica 4.5:  | Faktori utjecaja temperature na izračunavanje pomaka kolničke konstrukcije sa asfaltnim zastorom (debljine h)   | .....59 |
| Tablica 4.6:  | Vrijednost korekcije utjecaja strukture kolničke konstrukcije (hidrauličnim vezivom vezani nosivi sloj) na izračunavanje pomaka površine kolničke konstrukcije pri različitim temperaturama | .....60 |
| Tablica 4.7:  | Faktori sezonskih utjecaja „c“ na izračunavanje pomaka kolničke konstrukcije sa asfaltnim zastorom  | .....61 |
| Tablica 4.8:  | Informativna korelacija vrijednosti nosivosti za karakteristične materijale posteljice  | .....66 |
| Tablica 4.9:  | Klasifikacija prometnog opterećenja u grupe   | .....66 |
| Tablica 4.10: | Minimalna potrebna debljina kolničke konstrukcije hmin  | .....75 |

## **10. PRILOZI**

1. Prilog broj 1. Pregledna karta - Mjerilo 1:25000
2. Prilog broj 2. Geodetska situacija stvarnog stanja - Mjerilo 1:500
3. Prilog broj 3. Građevinska situacija - Mjerilo 1:500
4. Prilog broj 4. Uzdužni profil - Mjerilo 1:250
5. Prilog broj 5. Karakteristični poprečni profili- Mjerilo 1:250
6. Prilog broj 6. Karakteristični poprečni profili- Mjerilo 1:250
7. Prilog broj 7. Normalni poprečni profil- Mjerilo 1:50

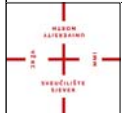


0 500m

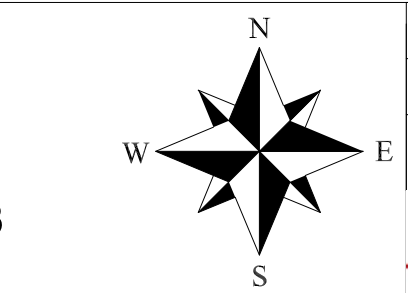
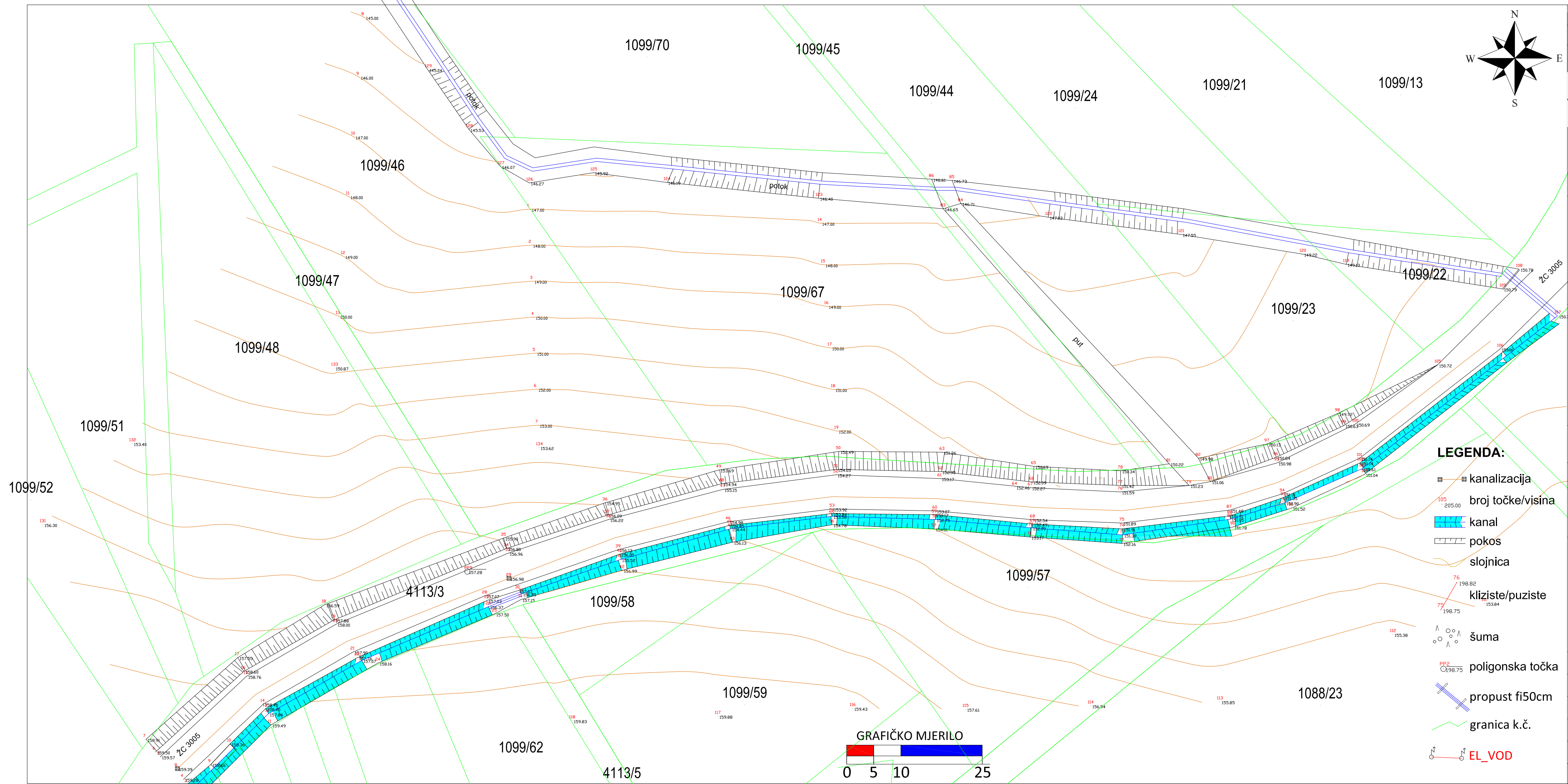
geoportal.dgu.hr


Ispisano 09.11.2022.

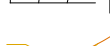
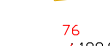

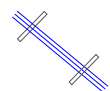
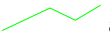
NAPOMENA: NIJE JAVNA ISPRAVA

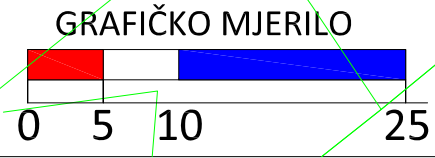
|  |  |        |         |
|--|--|--------|---------|
| IZMJENA:   | OPIS:  | DATUM: | POTPIS: |
|  <b>SVEUČILIŠTE SJEVER</b><br><b>Sveučilišni centar Varaždin</b><br>Jurja Križanića 31b, HR-42000 Varaždin  |  |        |         |
| <b>DIPLOMSKI RAD</b>   |  |        |         |
| LOKACIJA GRADEVINE:<br><b>Županijska cesta ŽC 3005</b><br><b>Stacionaža: km 6+700</b><br><b>Vukovo Selo, k.č.: 4113/1-cesta,</b><br><b>k.o. Laduč</b><br><b>HTRS96/TM: E=437150; N=5085660</b> |  |        |         |
| SADRŽAJ NACRTA:<br><br><b>PREGLEDNA KARTA</b><br><b>TK25</b>   |  |        |         |
| MENTOR:  | Izv. prof. dr. sc. Milan Rezo  |        |         |
| IZRADIO:   | <b>Stipe Topić</b><br>1999/336D  |        |         |
| NAZIV TEME:  | <b>Procesne radnje pri zemljanim radovima i proračun kolničke konstrukcije</b> |        |         |
| MJERILO:   | M 1 : 25 000   |        |         |
| BR. TEH. DNEVNIKA:   |  |        |         |
| Z.O.P.:  |  |        |         |
| MAPA:  | 1  |        |         |
| BROJ PRILOGA:  | PRILOG BROJ 1  |        |         |
| DATUM:   | studeni, 2022.   |        |         |

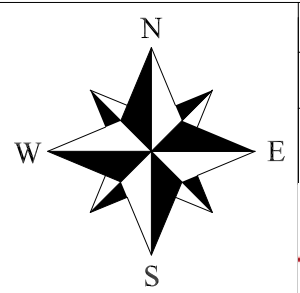
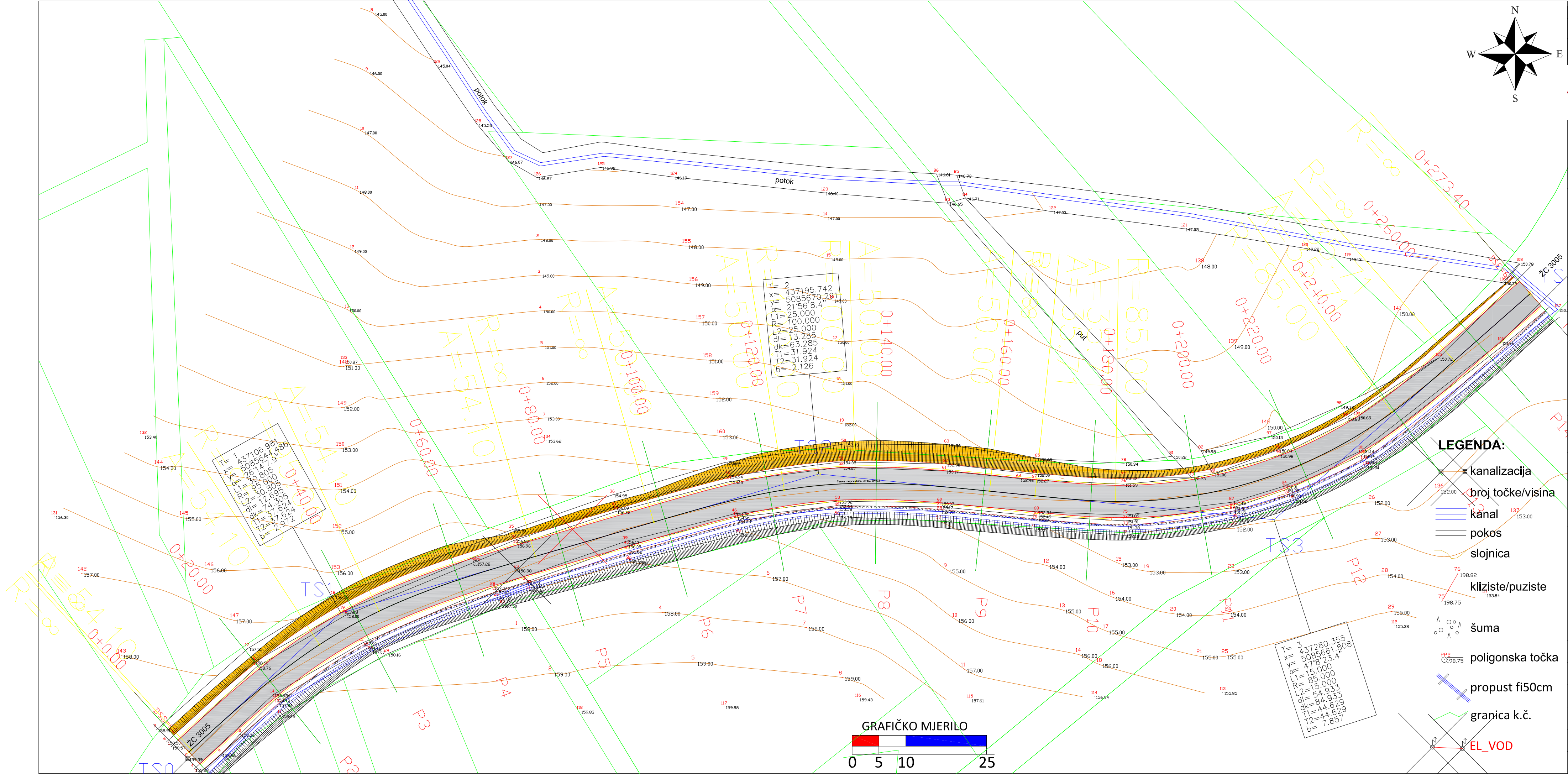




|  |  |        |         |
|--|--|--------|---------|
| IZMJENA:   | OPIS:  | DATUM: | POTPIS: |
|  <b>SVEUČILIŠTE SJEVER</b><br><b>Sveučilišni centar Varaždin</b><br>Jurja Križanića 31b, HR-42000 Varaždin  |  |        |         |
| <b>DIPLOMSKI RAD</b>   |  |        |         |
| LOKACIJA GRAĐEVINE:<br><b>Županijska cesta ŽC 3005</b><br><b>Stacionaža: km 6+700</b><br><b>Vukovo Selo, k.č.: 4113/1-cesta,</b><br><b>k.o. Laduč</b><br><b>HTRS96/TM: E=437150; N=5085660</b> |  |        |         |
| SADRŽAJ NACRTA:<br><b>GEODETSKA SITUACIJA</b><br><b>STVARNOG STANJA</b>  |  |        |         |
| MENTOR:  | <b>Izv. prof. dr. sc. Milan Rezo</b>   |        |         |
| IZRADIO:   | <b>Stipe Topić</b><br>1999/336D  |        |         |
| NAZIV TEME:  | <b>Procesne radnje pri zemljanim radovima i proračun kolničke konstrukcije</b> |        |         |
| MJERILO:   | <b>M 1 : 500</b>   |        |         |
| BR. TEH. DNEVNIKA:   |  |        |         |
| Z.O.P.:  |  |        |         |
| MAPA:  | <b>1</b>   |        |         |
| BROJ PRILOGA:  | <b>PRILOG BROJ 2</b>   |        |         |
| DATUM:   | <b>studeni, 2022.</b>  |        |         |

- LEGENDA:**
-  kanalizacija
  -  broj točke/visina
  -  kanal
  -  pokos
  -  slojnica
  -  kliziste/puziste
  -  šuma
  -  poligonska točka
  -  propust fi50cm
  -  granica k.č.
  -  EL\_VOD





|          |       |        |         |
|----------|-------|--------|---------|
| IZMJENA: | OPIS: | DATUM: | POTPIS: |
|----------|-------|--------|---------|

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**Sveučilišni centar Varaždin**  
 Jurja Križanića 31b, HR-42000 Varaždin

## DIPLOMSKI RAD

LOKACIJA GRAĐEVINE:  
**Županijska cesta ŽC 3005**  
**Stacionaža: km 6+700**  
**Vukovo Selo, k.č.: 4113/1-cesta,**  
**k.o. Laduč**  
**HTRS96/TM: E=437150; N=5085660**

SADRŽAJ NACRTA:  

### GRAĐEVINSKA SITUACIJA

MENTOR: **Izv. prof. dr. sc. Milan Rezo**

IZRADIO:  

## Stipe Topić

  
 1999/336D

NAZIV TEME:  

### Procesne radnje pri zemljanim radovima i proračun kolničke konstrukcije

MJERILO: **M 1 : 500**

BR. TEH. DNEVNIKA:

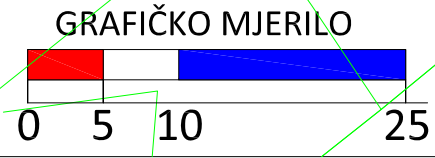
Z.O.P.:

MAPA: **1**

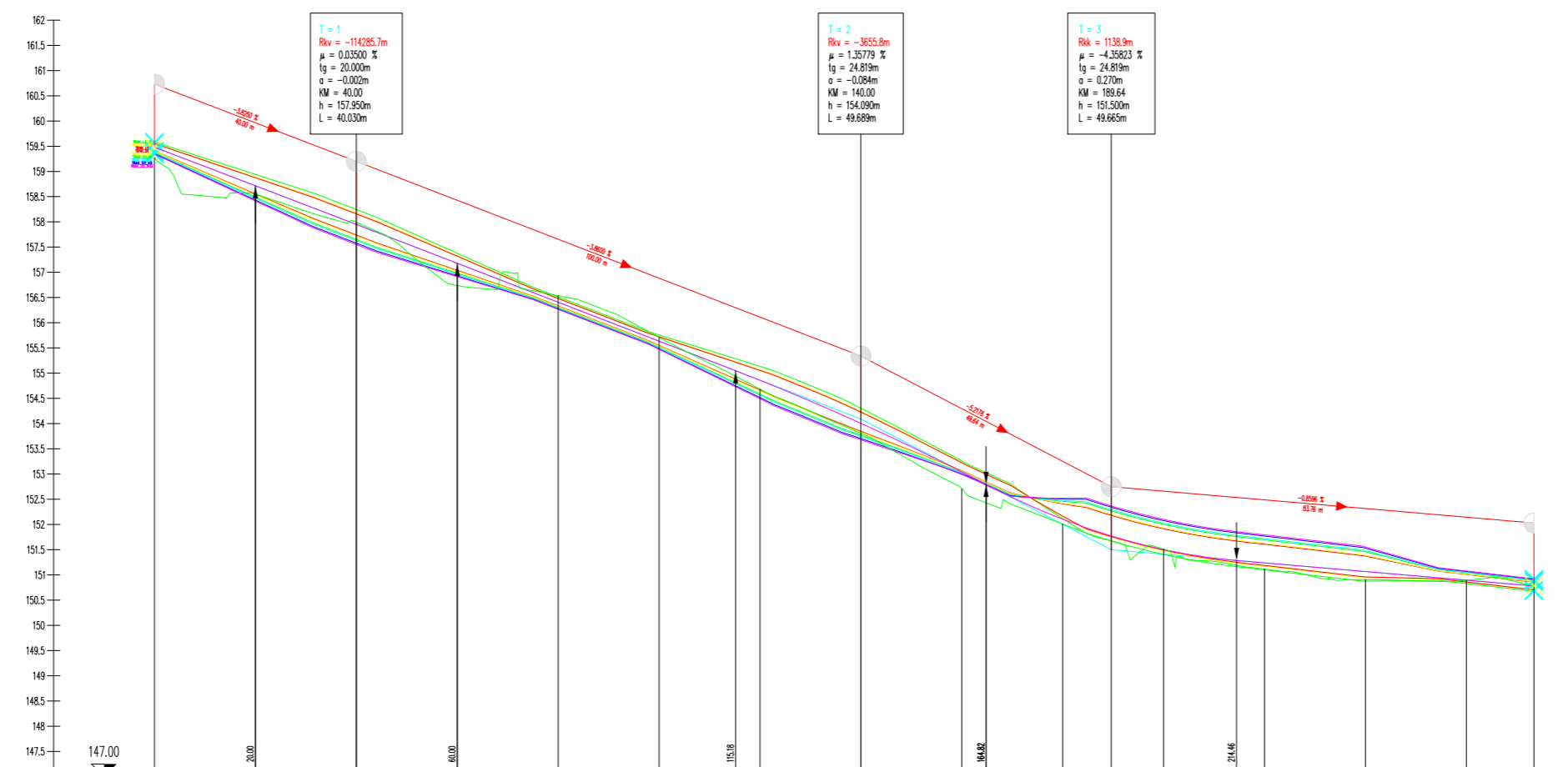
BROJ PRILOGA: **PRILOG BROJ 3**

DATUM: **studeni, 2022.**

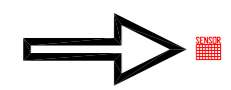
- LEGENDA:**
- kanalizacija
  - broj točke/visina
  - kanal
  - potoč
  - slojnica
  - kliziste/puziste
  - šuma
  - poligonska točka
  - propust fi50cm
  - granica k.č.
  - EL\_VOD



|  |       |                       |         |
|--|-------|-----------------------|---------|
| IZMJENA:   | OPIS: | DATUM:                | POTPIS: |
|  <b>SVEUČILIŠTE SJEVER</b><br><b>Sveučilišni centar Varaždin</b><br>Jurja Križanića 31b, HR-42000 Varaždin  |       |                       |         |
| <b>DIPLOMSKI RAD</b>   |       |                       |         |
| LOKACIJA GRAĐEVINE:<br><b>Županijska cesta ŽC 3005</b><br><b>Stacionaža: km 6+700</b><br><b>Vukovo Selo, k.č.: 4113/1-cesta,</b><br><b>k.o. Laduč</b><br><b>HTRS96/TM: E=437150; N=5085660</b> |       |                       |         |
| SADRŽAJ NACRTA:  |       |                       |         |
| <b>UZDUŽNI PROFIL</b>  |       |                       |         |
| MENTOR: <b>Izv. prof. dr. sc. Milan Rezo</b>   |       |                       |         |
| IZRADIO:<br><div style="text-align: center;"><b>Stipe Topić</b><br/>1999/336D</div>  |       |                       |         |
| NAZIV TEME:<br><b>Procesne radnje pri zemljanim radovima i proračun kolničke konstrukcije</b>  |       |                       |         |
| MJERILO:   |       | <b>M 1 : 250</b>      |         |
| BR. TEH. DNEVNIKA:   |       |                       |         |
| Z.O.P.:  |       |                       |         |
| MAPA:  |       | <b>1</b>              |         |
| BROJ PRILOGA:  |       | <b>PRILOG BROJ 4</b>  |         |
| DATUM:   |       | <b>studeni, 2022.</b> |         |

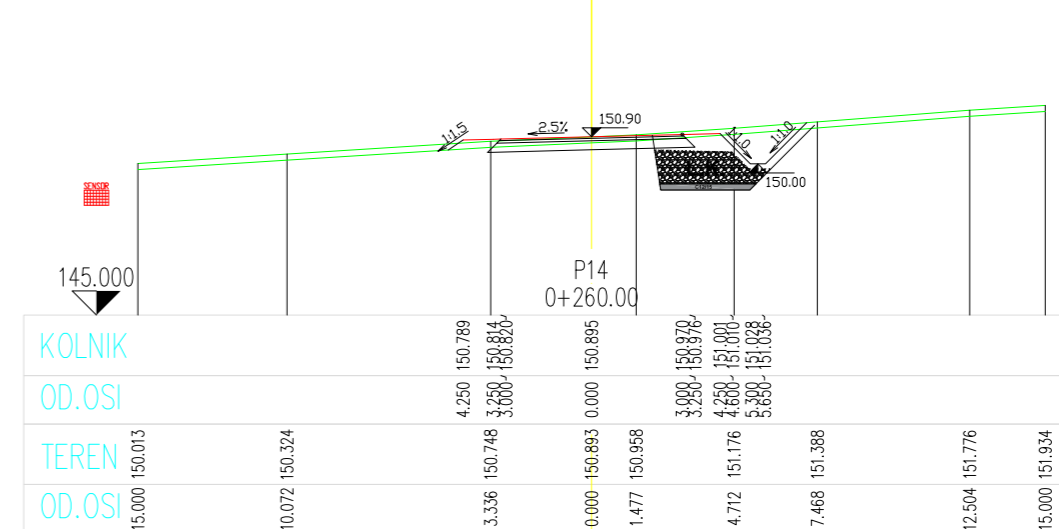
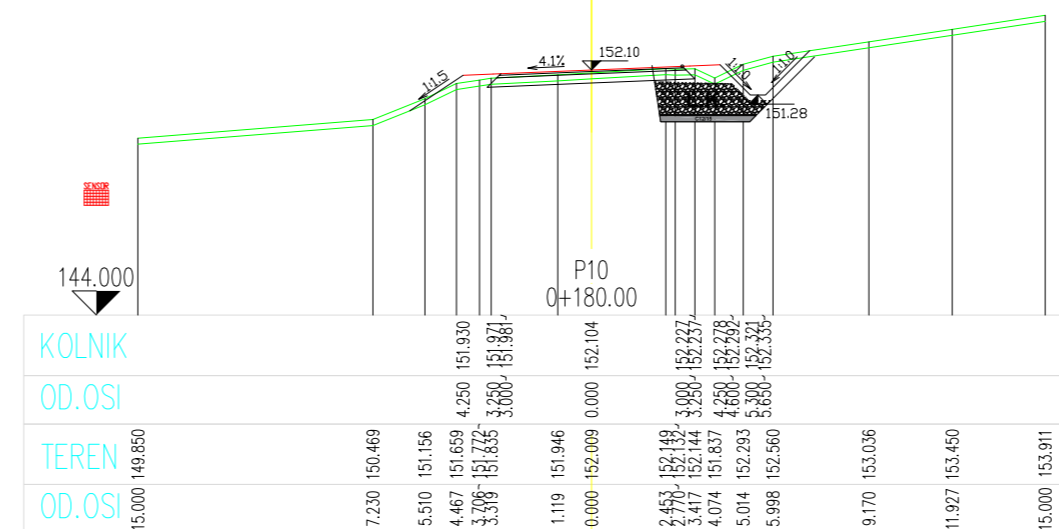
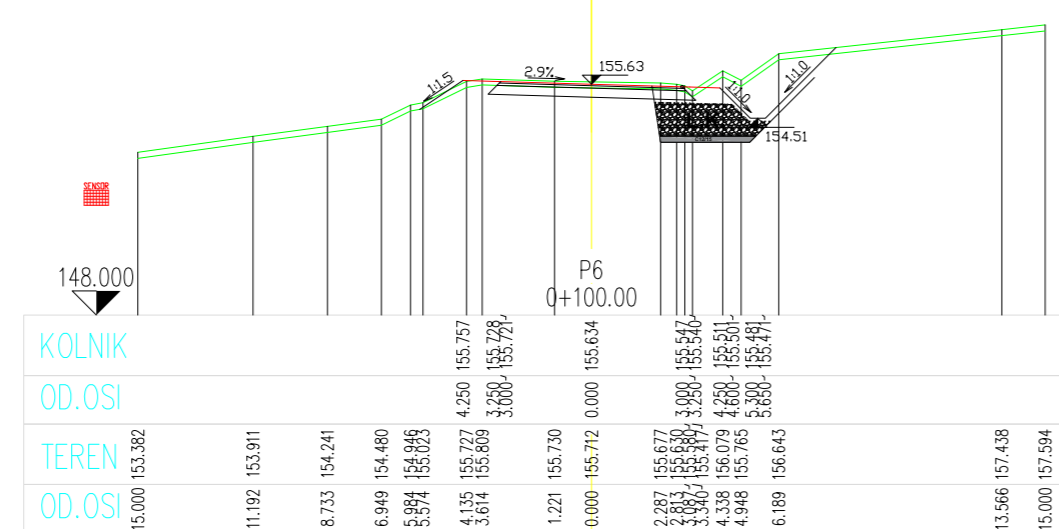
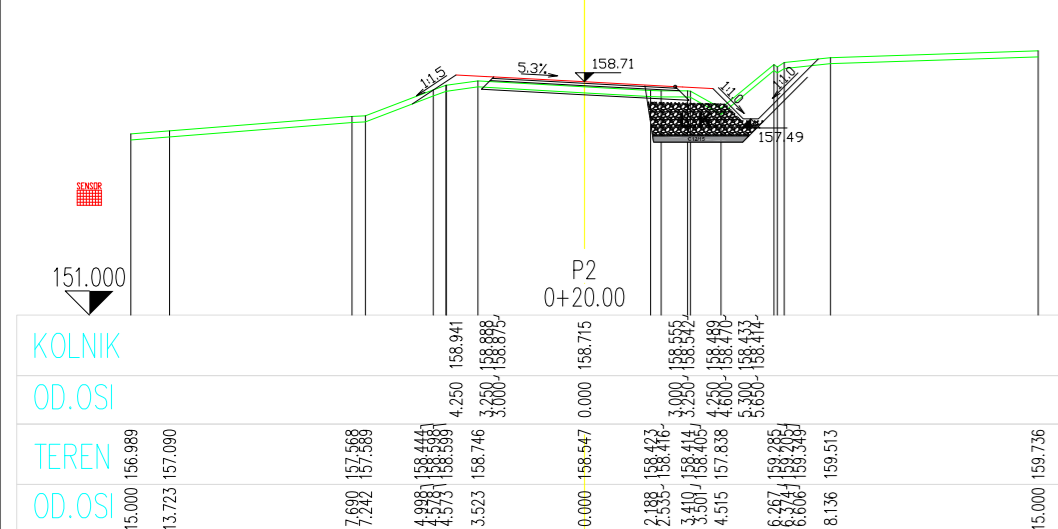
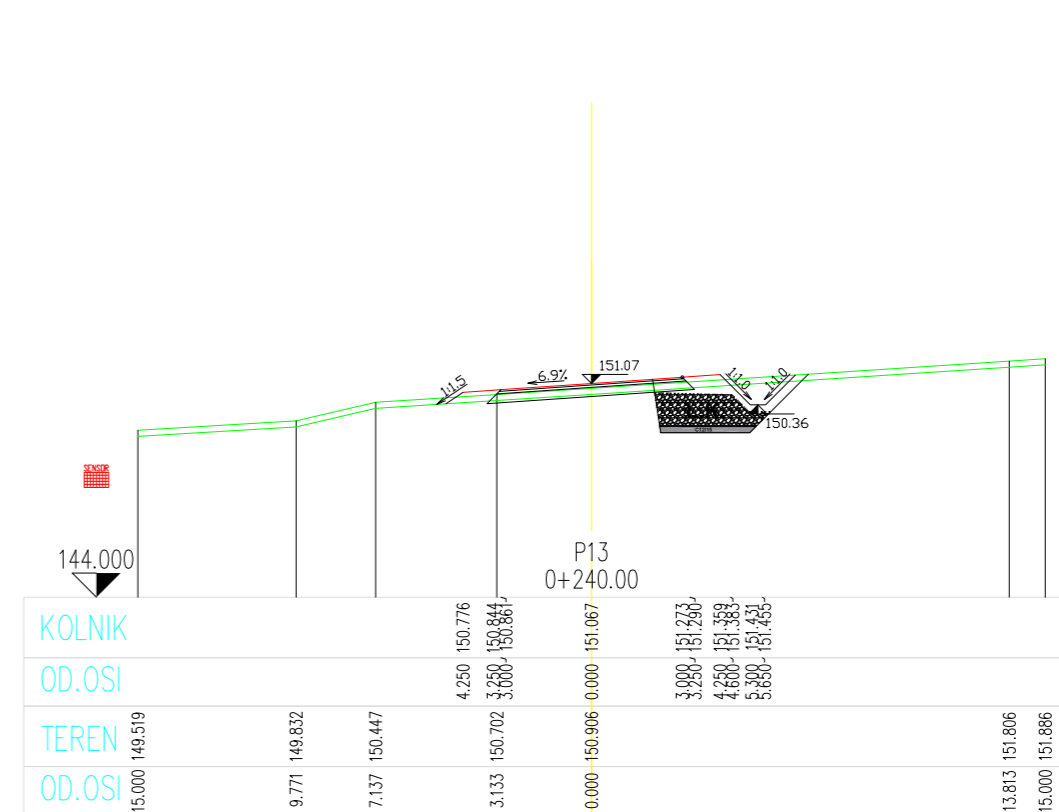
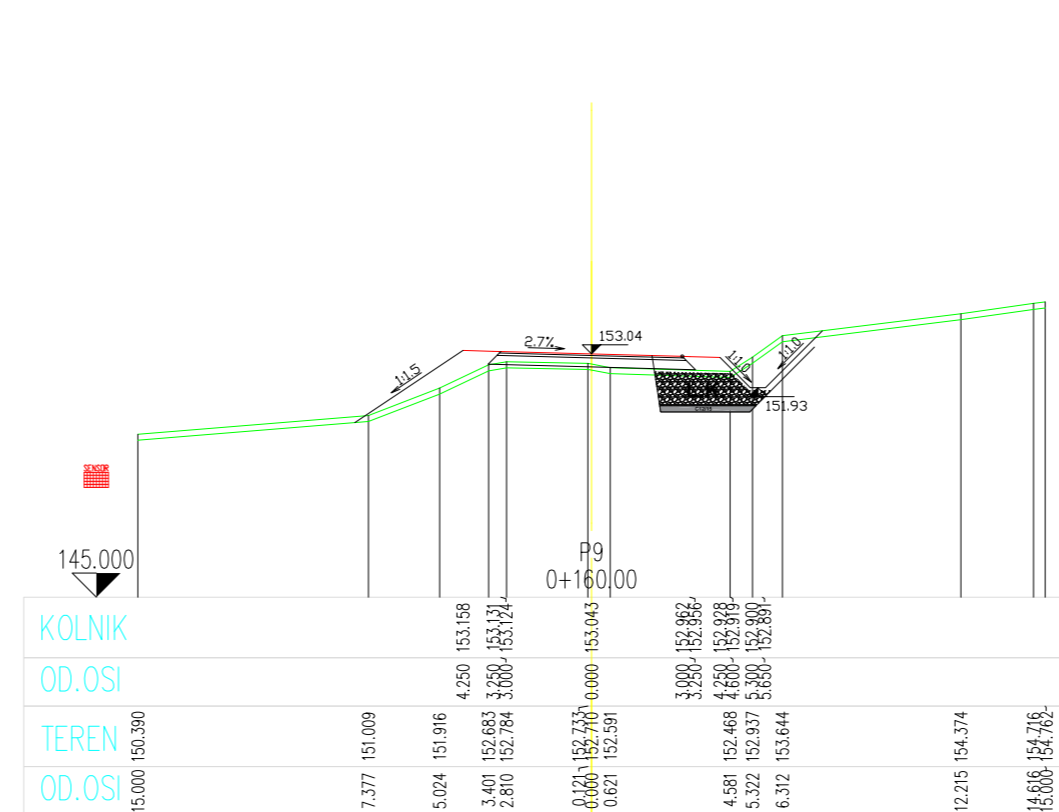
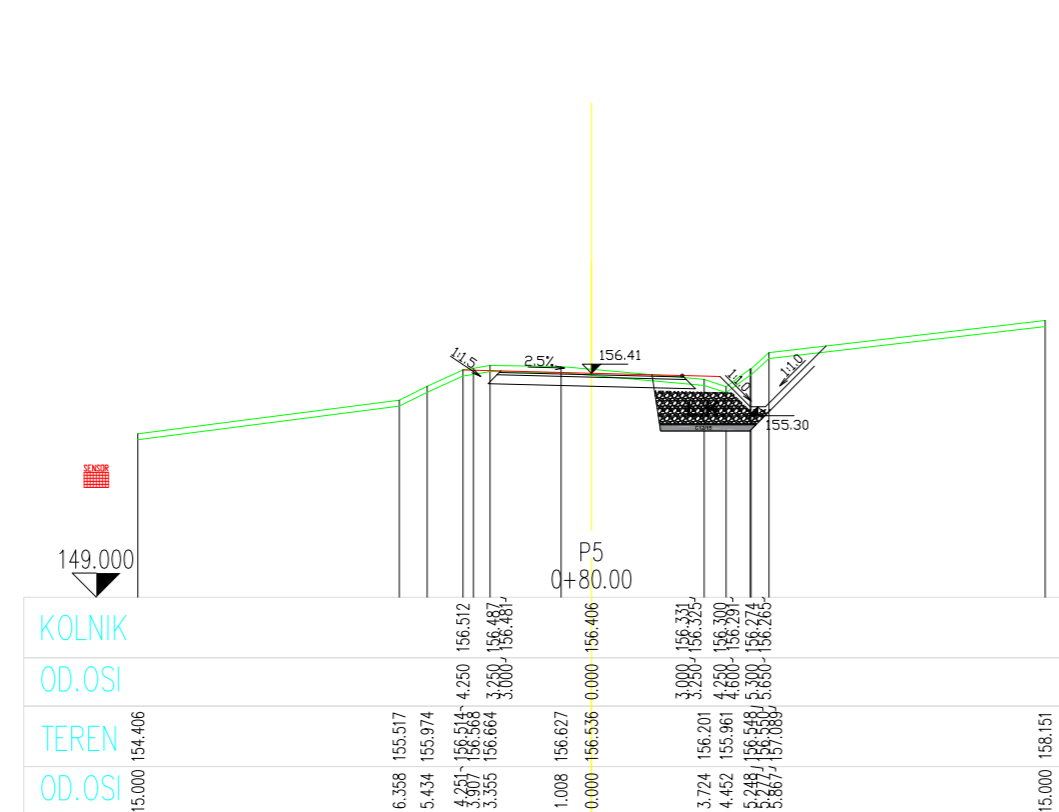
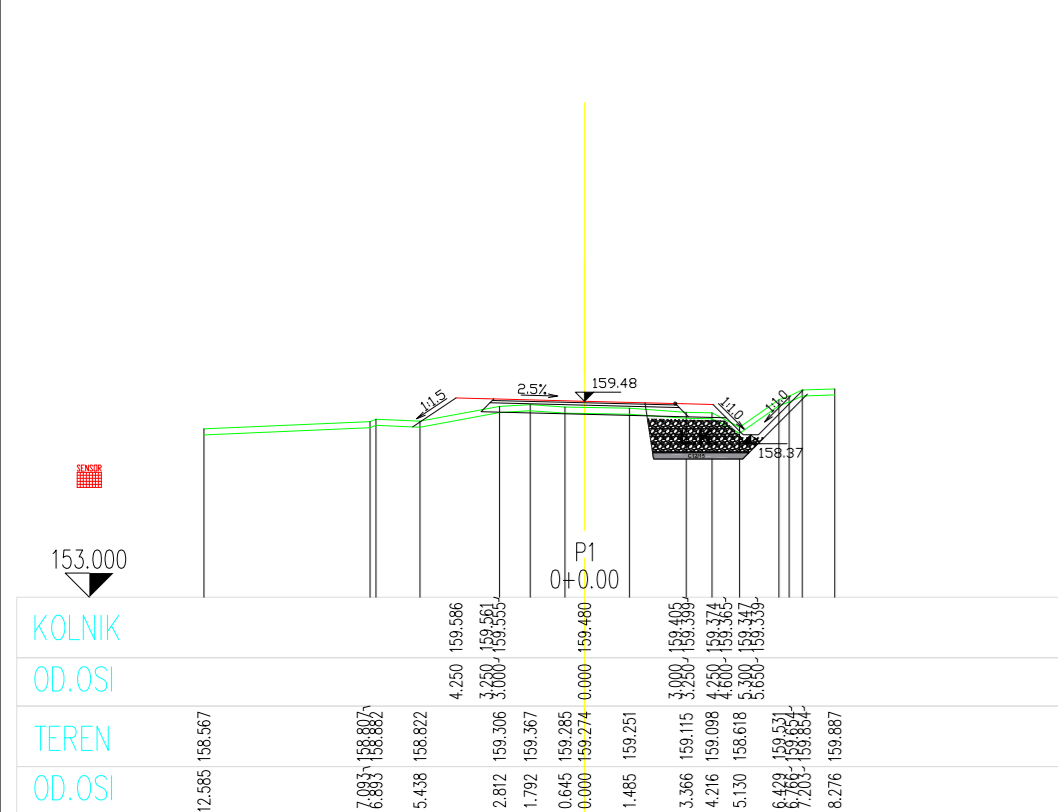


PROFIL-1: OS\_1  
MJERILO 1:500/50



- LK\_1
- LK\_2
- LK\_3
- LRO\_1
- LRO\_2
- LRO\_3
- LRO\_4
- LRO\_7
- LRO\_8
- LRO\_10
- LRO\_11
- LRO\_12
- LRO\_17
- LRO\_18

|                         |   |
|-------------------------|---|
| OZNAKE PROFILA          | P1 20,00 P2 20,00 P3 20,00 P4 20,00 P5 20,00 P6 20,00 P7 20,00 P8 20,00 P9 20,00 P10 20,00 P11 20,00 P12 20,00 P13 20,00 P14 20,00 P15 13,42 P16  |
| STACIONAŽE              | -0,00 20,00 40,00 60,00 80,00 100,00 120,00 140,00 160,00 180,00 200,00 220,00 240,00 260,00 280,00 300,00 320,00 340,00 360,00 380,00 400,00 420,00 440,00 460,00 480,00 500,00 520,00 540,00 560,00 580,00 600,00 620,00 640,00 660,00 680,00 700,00 714,00   |
| KOTE TERENA             | 159,274 158,547 157,891 157,239 156,538 155,772 154,983 154,098 153,098 152,270 152,009 151,522 151,116 150,806 150,883 150,785   |
| KOTE NIVELETE           | 159,000 158,175 157,348 156,518 155,606 154,624 153,584 152,499 151,269 150,700   |
| PRAVCI I KRIVINE        | Desno - Krivina<br>Lijevo - d=0,63<br>Pravac - l=54,10 L=30,80<br>Pravac - R=12,70<br>Pravac - A=54,10 L=30,80<br>Pravac - d=22,89<br>Pravac - A=50,00 L=25,00<br>Pravac - R=13,28<br>Pravac - A=50,00 L=25,00<br>Pravac - d=8,48<br>Pravac - R=15,00<br>Pravac - A=54,10 L=30,80<br>Pravac - R=54,93<br>Pravac - A=35,71 L=15,00<br>Pravac - d=18,87   |
| POPREČNI NAGIBI         |   |
| ŠIRINE CESTE            |   |
| UZDUŽNI PADIVI          |   |
| STAC. PRAVACA I KRIVINA | 0+000 0+040 0+080 0+120 0+160 0+200 0+240 0+280 0+320 0+360 0+400 0+440 0+480 0+520 0+560 0+600 0+640 0+680 0+700 0+714   |
| STAC. POPREČ. NAG. L    | 0+000 0+040 0+080 0+120 0+160 0+200 0+240 0+280 0+320 0+360 0+400 0+440 0+480 0+520 0+560 0+600 0+640 0+680 0+700 0+714   |
| STAC. POPREČ. NAG. D    | 0+000 0+040 0+080 0+120 0+160 0+200 0+240 0+280 0+320 0+360 0+400 0+440 0+480 0+520 0+560 0+600 0+640 0+680 0+700 0+714   |
| KOTE LIJEVOG RUBA       | TRAK_L2_B 159,586 158,941 158,246 157,377 156,512 155,757 155,136 154,305 153,260 152,113 151,407 151,101 150,875 150,829 150,674<br>TRAK_L2_RT 159,561 158,888 158,176 157,330 156,487 155,728 155,071 154,242 153,233 152,154 151,477 151,171 150,944 150,854 150,699<br>TRAK_L1 159,555 158,875 158,158 157,318 156,481 155,721 155,055 154,226 153,226 152,164 151,495 151,188 150,961 150,860 150,705  |
| KOTE DESNOG RUBA        | TRAK_D1 159,405 158,555 157,738 156,838 156,331 155,547 154,665 153,848 153,064 152,410 151,915 151,608 151,373 151,010 150,855<br>TRAK_D2_RT 159,399 158,542 157,721 156,826 156,325 155,540 154,649 153,832 153,057 152,402 151,932 151,626 151,390 151,016 150,861<br>TRAK_D2_B 159,374 158,489 157,651 156,739 156,300 155,511 154,594 153,789 153,030 152,022 151,696 151,458 151,041 150,886<br>TRAK_D2_KC 159,365 158,470 157,626 156,963 156,291 155,501 154,561 153,747 153,021 152,075 151,720 151,482 151,050 150,895<br>TRAK_D2_KD 159,347 158,433 157,577 156,930 156,274 155,481 154,516 153,703 153,002 152,504 152,076 151,769 151,530 151,068 150,912<br>TRAK_D2_KG2 159,339 158,414 157,563 156,913 156,265 155,471 154,493 153,681 152,993 152,518 152,100 151,794 151,554 151,076 150,921 |



|          |       |        |         |
|----------|-------|--------|---------|
| IZMJENA: | OPIS: | DATUM: | POTPIS: |
|----------|-------|--------|---------|


**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**Sveučilišni centar Varaždin**  
**Jurja Križanića 31b, HR-42000 Varaždin**

## DIPLOMSKI RAD

LOKACIJA GRAĐEVINE:  
**Županijska cesta ŽC 3005**  
**Stacionaža: km 6+700**  
**Vukovo Selo, k.č.: 4113/1-cesta,**  
**k.o. Laduč**  
**HTRS96/TM: E=437150; N=5085660**

SADRŽAJ NACRTA:

## KARAKTERISTIČNI POPREČNI PROFILI

MENTOR: **Izv. prof. dr. sc. Milan Rezo**

IZRADIO:  

## Stipe Topić

 1999/336D

NAZIV TEME:  
**Procesne radnje pri zemljanim radovima i proračun kolničke konstrukcije**

MJERILO: **M 1 : 250**

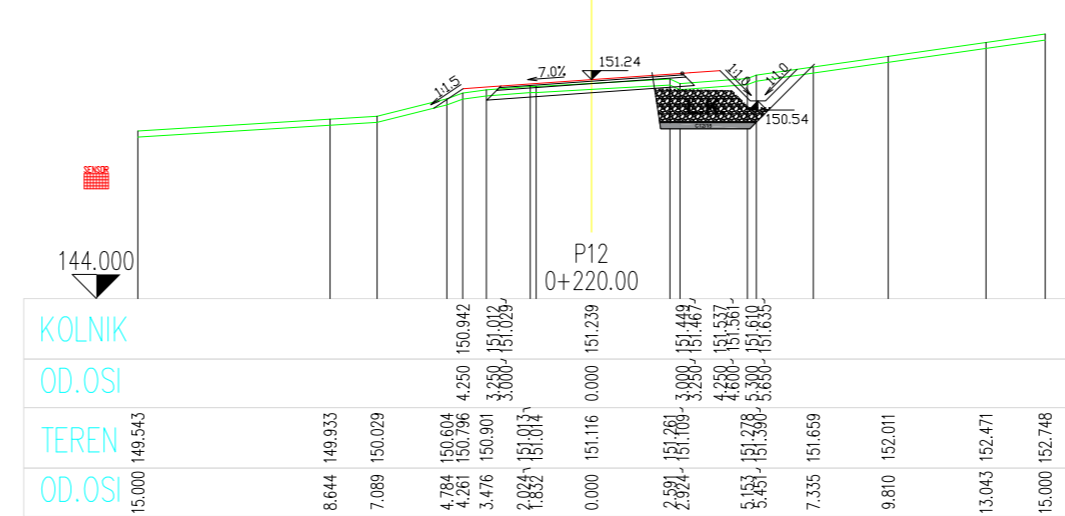
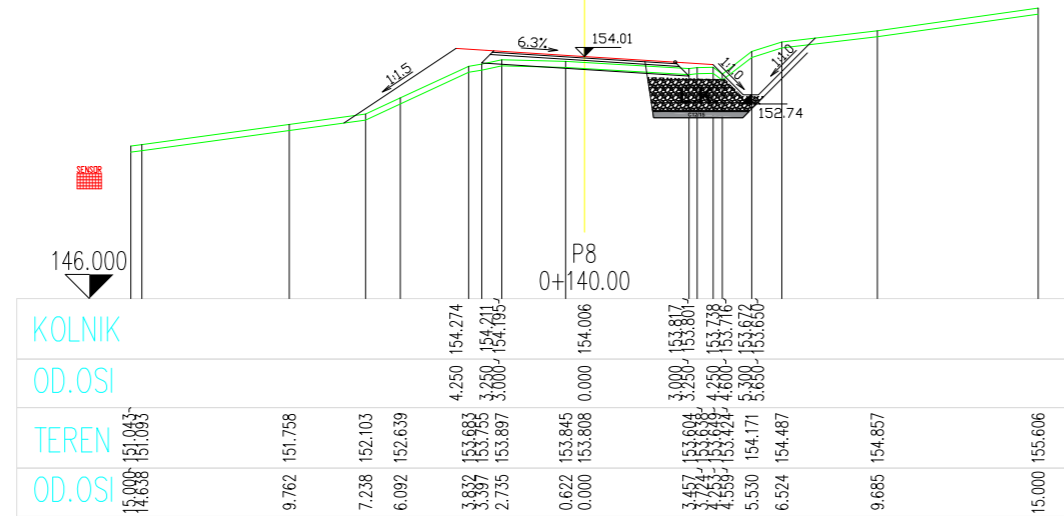
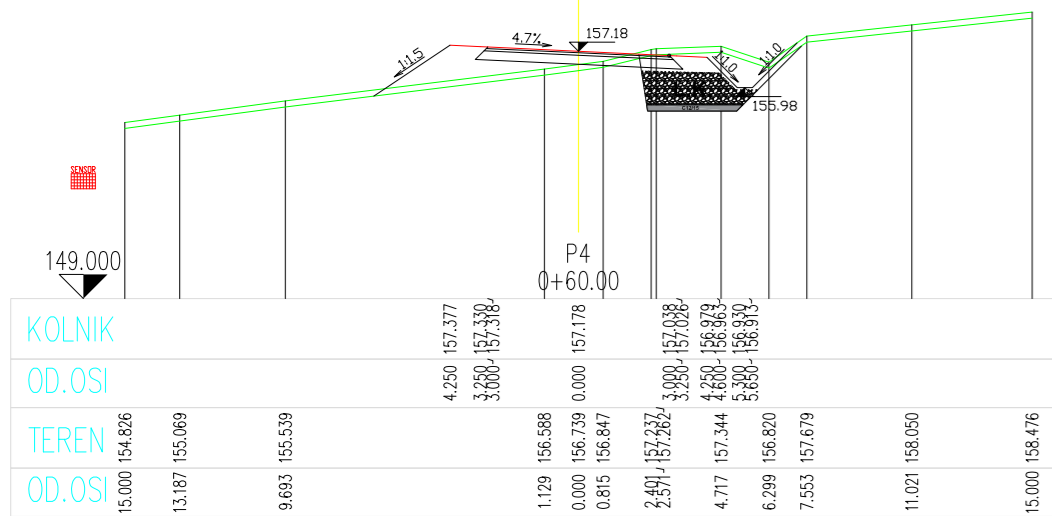
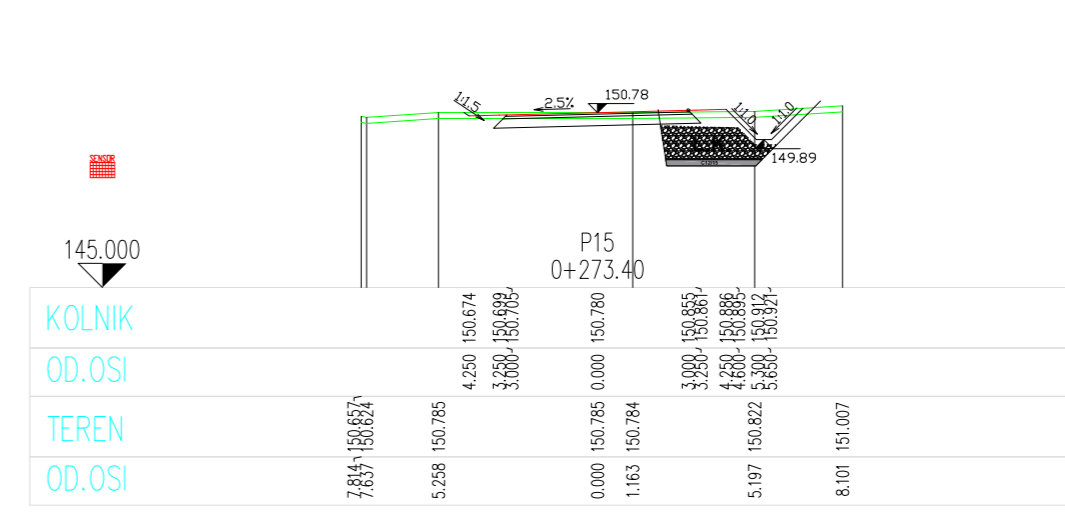
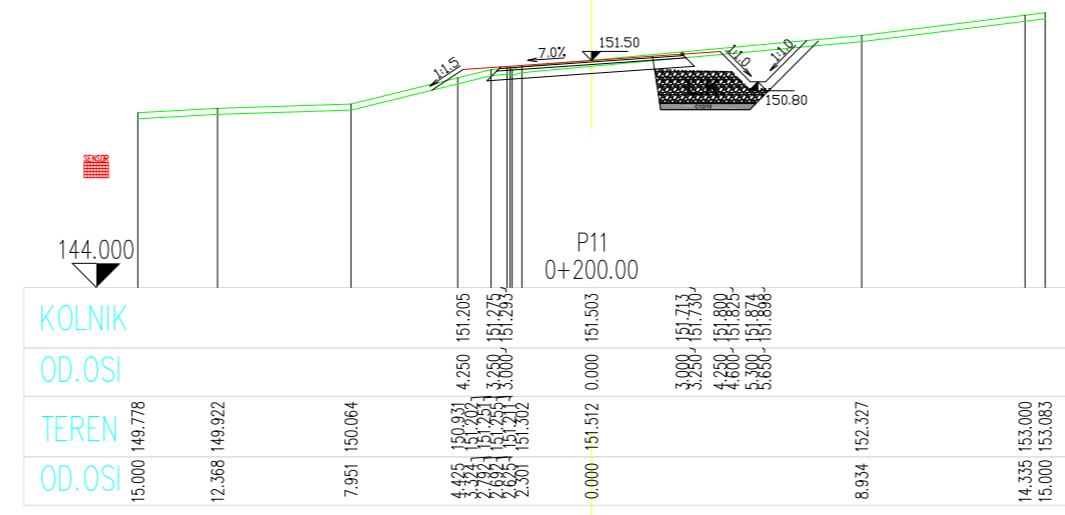
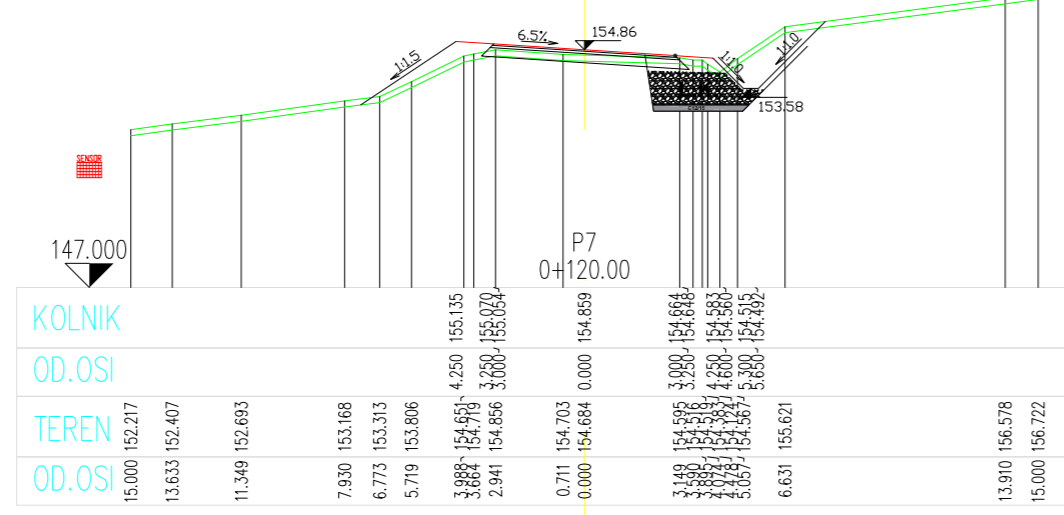
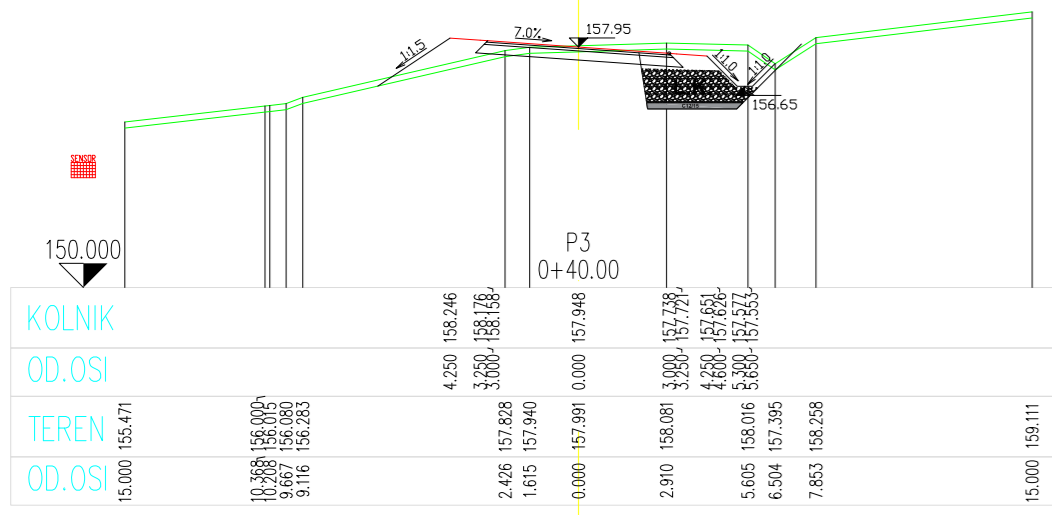
BR. TEH. DNEVNIKA:

Z.O.P.:

MAPA: **1**

BROJ PRILOGA: **PRILOG BROJ 5.1**

DATUM: **studeni, 2022.**



**DIPLOMSKI RAD**

LOKACIJA GRAĐEVINE:  
**Županijska cesta ŽC 3005**  
**Stacionaža: km 6+700**  
**Vukovo Selo, k.č.: 4113/1-cesta,**  
**k.o. Ladauč**  
**HTRS96/TM: E=437150; N=5085660**

SADRŽAJ NACRTA:

**KARAKTERISTISTIČNI**  
**POPREČNI PROFILI**

MENTOR: **Izv. prof. dr. sc. Milan Rezo**

IZRADIO:  
**Stipe Topić**  
1999/336D

NAZIV TEME:  
**Procesne radnje pri zemljanim**  
**radovima i proračun kolničke**  
**konstrukcije**

MJERILO: **M 1 : 250**

BR. TEH. DNEVNIKA:

Z.O.P.:

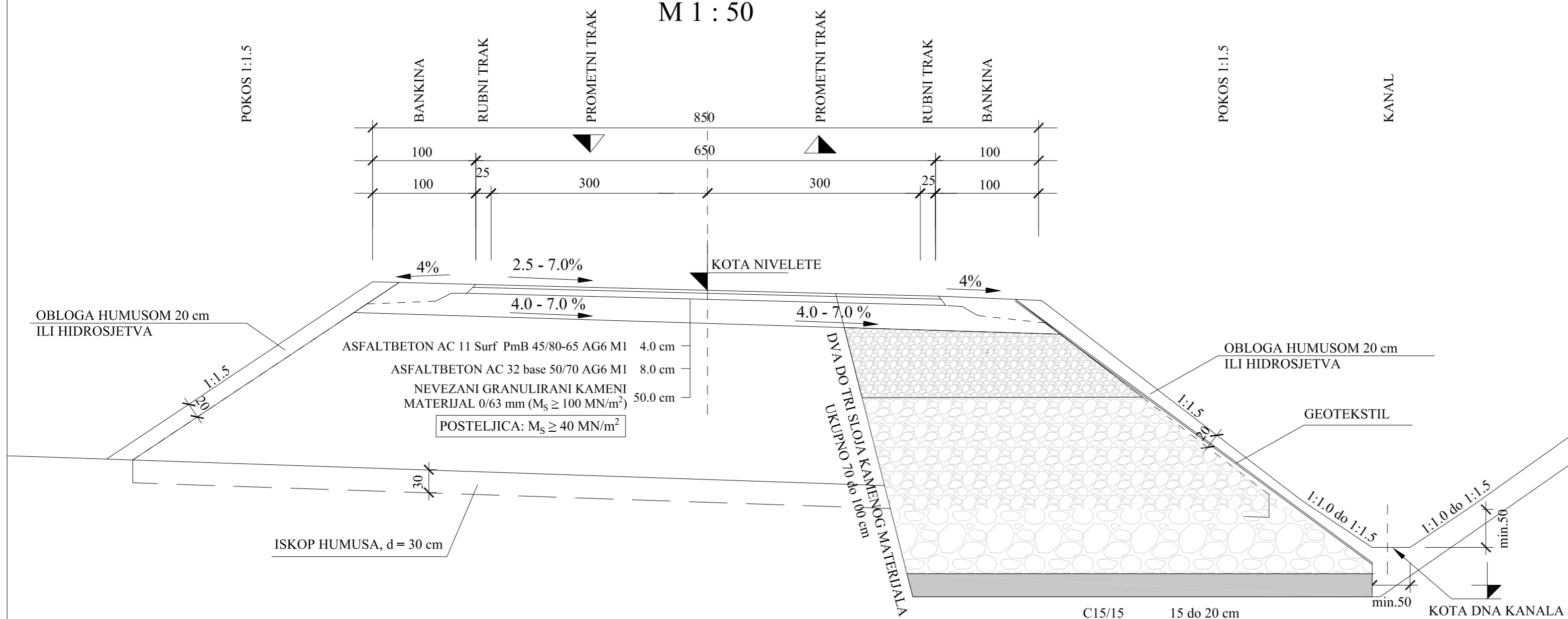
MAPA: **1**


BROJ PRILOGA: **PRILOG BROJ 5.2**

DATUM: **studeni, 2022.**

# NORMALNI POPREČNI PRESJEK, NASIP/ZASJEK

M 1 : 50



|  |  |        |         |
|--|--|--------|---------|
| IZMJENA:   | OPIS:  | DATUM: | POTPIS: |
|  <b>SVEUČILIŠTE SJEVER</b><br><b>Sveučilišni centar Varaždin</b><br>Jurja Križanića 31b, HR-42000 Varaždin  |  |        |         |
| <b>DIPLOMSKI RAD</b>   |  |        |         |
| LOKACIJA GRAĐEVINE:<br><b>Županijska cesta ŽC 3005</b><br><b>Stacionaža: km 6+700</b><br><b>Vukovo Selo, k.č.: 4113/1-cesta,</b><br><b>k.o. Laduč</b><br><b>HTRS96/TM: E=437150; N=5085660</b> |  |        |         |
| SADRŽAJ NACRTA:  |  |        |         |
| <b>NORMALNI PPREČNI PROFIL</b>   |  |        |         |
| MENTOR:  | <b>Izv. prof. dr. sc. Milan Rezo</b>   |        |         |
| IZRADIO:   | <b>Stipe Topić</b><br>1999/336D  |        |         |
| NAZIV TEME:  | <b>Procesne radnje pri zemljanim radovima i proračun kolničke konstrukcije</b> |        |         |
| MJERILO:   | <b>M 1 : 50</b>  |        |         |
| BR. TEH. DNEVNIKA:   |  |        |         |
| Z.O.P.:  |  |        |         |
| MAPA:  | <b>1</b>   |        |         |
| BROJ PRILOGA:  | <b>PRILOG BROJ 6</b>   |        |         |
| DATUM:   | <b>studeni, 2022.</b>  |        |         |

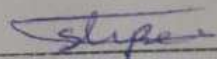


### IZJAVA O AUTORSTVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, STIPE TOPIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Procjene radnje pri zemljanim radovima i mikročim (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

  
(vlastoručni potpis)

Sukladno čl. 83. Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Sukladno čl. 111. Zakona o autorskom pravu i srodnim pravima student se ne može protiviti da se njegov završni rad stvoren na bilo kojem studiju na visokom učilištu učini dostupnim javnosti na odgovarajućoj javnoj mrežnoj bazi sveučilišne knjižnice, knjižnice sastavnice sveučilišta, knjižnice veleučilišta ili visoke škole i/ili na javnoj mrežnoj bazi završnih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice, sukladno zakonu kojim se uređuje znanstvena i umjetnička djelatnost i visoko obrazovanje.