

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA MARIBOR

DIPLOMSKO DELO

**CEMENTNA STABILIZACIJA
NA PRIMERU AC LENDAVA - PINCE**

Kandidat: Boštjan Majhen

Študent študija ob delu

Številka indeksa: 11190122717

Program: gradbeništvo

Mentor: Bojan Dapčević, uni.dipl.inž.gr.

Maribor, september 2009

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKE NALOGE

Podpisan Boštjan Majhen, št. indeksa 11190122717, rojen dne 28.11.1976 v Ptuj, izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: Cementna stabilizacija na primeru AC Lendava-Pince, ki sem jo napisal pod mentorstvom g .Bojana Dapčević.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predložena diplomska naloga izključno rezultat mojega dela;
- sem poskrbela, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia;
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne – kaznivo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah; UL št. 16/2007; (v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom VSŠ Academia skladno z njenimi pravili;
- skladno z 32. členom ZASP dovoljujem VSŠ Academia objavo diplomske naloge na spletnem portalu šole.

Maribor, september 2009

Podpis študenta:

ZAHVALA

V začetku svojega diplomskega dela se zahvaljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor, ki mi je pomagala na poti do diplome.

Nadalje se zahvaljujem ravnateljici g. Mirjani Ivanuša Bezjak za podporo in strokovno pomoč pri nastajanju tega diplomskega dela. Prav tako gre zahvala mentorju g. Bojanu Dapčević za pomoč in usmeritve pri zasnovi in nastajanju diplomskega dela, lektorici Anji Tikvič ter ženi in sinu za strpnost v času nastajanja diplomskega dela.

POVZETEK

V diplomskem delu raziskujem izvedbo voziščne konstrukcije na AC Lendava – Pince, sklop A. Za optimalno izdelavo nasipa, posteljice, nevezane nosilne plasti, cemente stabilizacije in asfaltov obravnavam fizikalne in kemijske lastnosti, vrste materialov in izvedbo del. Podrobno in natančno je opredeljena cementna stabilizacija, ki se uporablja kot vezana spodnja nosilna plast v območju najbolj obremenjenih delov voziščne konstrukcije ali pa kot način izboljšanja določenih pomanjkljivih značilnosti razpoložljive zmesi kamnitih zrn lokalnega izvora. Delo vsebuje podatke o sestavnih delih voziščne konstrukcije in laboratorijske raziskave kot pomemben dejavnik pri gradnji in izdelavi cementne stabilizacije.

Ključne besede: gradbeništvo, voziščna konstrukcija, nasip, posteljica, tampon, nevezana nosilna plast, asfalti, zmesi kamnitih zrn, stabilizirana mešanica, enosne tlačne trdnosti.

ZUSAMMENFASSUNG

In meiner Diplomarbeit erforsche ich die Umsetzung von Fahrbahnkonstruktion auf der Autobahn Lendava-Pince, Autobahnabschnitt A.

Zur Optimierung des Ausbaus von Deichen, Bettschicht, ungebundenen Tragschichten, Zementstabilisierung und Asphalt werden physikalische und chemische Eigenschaften, Materialtypen wie auch Durchführung von Ausbauarbeiten behandelt.

Detailliert und definiert wird die Zementstabilisierung, die als untere Bindungstragschicht im Bereich der meist belasteten Teile von Fahrbahnkonstruktion oder zur Verbesserung der festgelegten Mängel in der lokal verfügbaren Korn-/Sandsteinmischung verwendet wird.

Diese Arbeit beinhaltet Daten über die Zusammensetzung der einzelnen Teile von der Fahrbahnkonstruktion und deren Laboruntersuchungen als ein wichtiger Faktor im Bau und Einbau von Zementstabilisierung.

Schlüsselwörter: Bauwesen, Fahrbahnkonstruktion, Autobahndeich, Bettschicht, ungebundene Tragschicht, Asphalt, Sandsteinmischung, Zementstabilisierung

KAZALO VSEBINE:

1 UVOD.....	9
1 UVOD.....	9
1.1 OPREDELITEV OBRAVNAVANE ZADEVE	9
1.2 NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE DIPLOMSKEGA DELA.....	9
1.3 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	10
1.4 PREDVIDENE METODE RAZISKOVANJA	10
2 POMEN IZRAZOV	12
3 ELEMENTI, KI SESTAVLJAJO VOZIŠČNO KONSTRUKCIJO AC.....	16
3.1 UVOD.....	16
3.2 NASIPI	19
3.2.1 Materiali za nasip	19
3.2.2 Izvedba	20
3.3 POSTELJICA.....	21
3.3.1 Splošno.....	21
3.3.2 Materiali za posteljico	22
3.3.3 Izvedba	24
3.4 NEVEZANA NOSILNA PLAST (TAMPON).....	25
3.4.1 Splošno.....	25
3.4.2 Materiali za vezano nosilno plast.....	25
3.4.3 Izvedba	29
3.5 CEMENTNA STABILIZACIJA	31
3.5.1 Splošno.....	31
3.6 ASFALT.....	32
3.6.1 Splošno.....	32
3.6.2 Materiali v asfaltu.....	32
3.6.3 Izvedba	34
4 VRSTE STABILIZIRANIH ZMESI KAMNITIH ZRN IN RAZLIKE MED NJIMI.....	36
4.1 MATERIALI.....	37
4.1.1 Zmes kamnitih zrn	37
4.1.2 Veziva.....	38
4.2 SESTAVA STABILIZIRANE ZMESI.....	39
4.2.1 Z organskimi vezivi	39
4.3 PROIZVODNJA IN VGRAJEVANJE STABILIZIRANIH PLASTI Z ORGANSKIMI VEZIVI	41
4.4 ZNAČILNOSTI STABILIZIRANIH PLASTI	43
5 CEMENTNA STABILIZACIJA.....	45
5.1 MATERIALI.....	46
5.1.1 Pridobivanje stabilizirane zmesi.....	46
5.1.2 Sestava zmesi	47
5.1.3 Vrste zmesi zrn	48
5.1.4 Lastnosti zmesi kamnitih zrn	48
5.1.5 Fizikalne lastnosti mešanice	49
5.1.6 Kemijske lastnosti cementa in vode.....	52
5.2 KAKOVOST IZVEDENIH DEL.....	52
5.2.1 Tehnološki elaborat	53
5.2.2 Zahteve pri izvedbi.....	54
5.2.3 Meritve.....	55
5.2.4 Zgoščenost vgrajene mešanice in enosna tlačna trdnost	55
5.2.5 Ravnost, višina in debelina	56
5.2.6 Nega vgrajene cementne stabilizacije.....	56

5.2.7 Potrebna mehanizacija	57
5.3 PREVERJANJE KAKOVOSTI IZVEDBE CEMENTNE STABILIZACIJE	58
5.3.1 Notranja kontrola.....	58
5.3.2 Zunanja kontrola.....	59
6 POSTOPKI IZVEDBE CEMENTNE STABILIZACIJE	60
6.1 OPIS POSTOPKOV VGRAJEVANJA STABILIZIRANE MEŠANICE	60
6.1.1 Izvedba s cementom stabilizirane nosilne plasti drobljenca (»in situ«).....	62
6.2 PRIPRAVA IN UREDITEV MESTA VGRAJEVANJA	63
6.3 VAROVANJE OKOLJA.....	64
7 REZULTATI LABORATORIJSKIH PREISKAV CEMENTNE STABILIZACIJE NA OBRAVNAVANEM ODSEKU	65
8 TERMINSKI PLAN IZVEDBE VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE NA AC LENDAVALA – PINCE.....	71
8.1 TERMINSKI PLAN	71
8.2 GANTOGRAM (PLAN DELA IN MEHANIZACIJE).....	71
8.3 FINANČNI PLAN ZA MEHANIZACIJO IN DELOVNO SILO	72
8.3.1 Finančni plan delovne sile	72
8.3.2 Finančni plan mehanizacije	72
9 ZAKLJUČEK.....	72
10 LITERATURA IN VIRI.....	75

KAZALO SLIK:

SLIKA 1: ZNAČILNA UTRDITEV SODOBNEGA VOZIŠČA	17
SLIKA 2: NORMALNI PREČNI PROFIL OBRAVNAVANEGA ODSEKA AC V NASIPU.....	18
SLIKA 3: OBMOČJE SESTAVE ZMESI KAMNITIH ZRN 0/22 MM ZA NEVEZANE NOSILNE PLASTI.....	27
SLIKA 4: OBMOČJE SESTAVE ZMESI KAMNITIH ZRN 0/31 MM ZA NEVEZANE NOSILNE PLASTI.....	28
SLIKA 5: OBMOČJE SESTAVE ZMESI KAMNITIH ZRN 0/45 MM ZA NEVEZANE NOSILNE PLASTI.....	28
SLIKA 6: RAZNOS OBREMENITVE V VOZIŠČNI KONSTRUKCIJI Z VEZANO IN NEVEZANO NOSILNO PLASTJO.....	36
SLIKA 7: PRENOS VERTIKALNIH OBREMENITEV NA STIKU VEZANE IN NEVEZANE PLASTI	37
SLIKA 11: RAZDELILNIK ALI FINIŠER, SLIKA 12: GUMI VALJAR.....	61
SLIKA 13: POSIP S CEMENTOM, SLIKA 14: REZKALNIK ALI FREZA.....	63
SLIKA 15: POBRIZG Z BITUMENSKO EMULZIJO, SLIKA 16: MERITVE Z IZOTOPSKO SONDO	63
SLIKA 17: ZRNAVOSTNA SESTAVA VZORCA, ODVZETEGA NA LOKACIJI A	67
SLIKA 20: ZRNAVOSTNA SESTAVA VZORCA, ODVZETEGA NA LOKACIJI B	69
SLIKA 21: PODATKI O PREIZKUŠANCIH OB ZGOŠČANJU VZORCA IZ LOKACIJE B	70
SLIKA 22: PODATKI O ENOSNI TLAČNI TRDNOSTI PREIZKUŠANCEV VZORCA IZ LOKACIJE B	70

KAZALO TABEL:

TABELA 1: ZAHTEVANE VRED.I ZGOŠČENOSTI IN NOSILNOSTI ZA NASIPNO PLAST $\leq 0,5$ M PLANUMA POD POSTELJICO ...	21
TABELA 2: DEBELINA ZGOŠČENE NEVEZANE NOSILNE PLASTI V ODVISNOSTI OD MAKSIMALNEGA ZRNA V ZMESI	30
TABELA 3: ZAHTEVANE VREDNOSTI DEFORMACIJSKIH MODULOV NA NEVEZANIH NOSILNIH PLASTEh.....	31
TABELA 4: PODROČJE UPORABE ASFALJNIH ZMESI ZA VEZANE SPODNJE	41
TABELA 5: MEJNE PROJEKTNE DEBELINE PLASTI POSAMEZNIH ZRNAVOSTI ASFALJNIH ZMESI.....	41
TABELA 6: POGOJENE MEJNE VREDNOSTI PRESEJKOV ZMESI KAMNITIH ZRN.....	47
TABELA 7: ZAHTEVANE LASTNOSTI ZMESI KAMNITIH ZRN ZA CEMENTNO STABILIZACIJO	48
TABELA 8: ZAHTEVANE LASTNOSTI CEMENTA ZA STABILIZIRANJE ZMESI KAMNITIH ZRN ZA NOSILNE PLASTI	52
TABELA 9: ZAHTEVANE LASTNOSTI VODE ZA S CEMENTOM STABILIZIRANE ZMESI KAMNITIH ZRN ZA NOSILNE PLASTI	52
TABELA 10: ZBIRNIK REZULTATOV LABORATORIJSKIH PREISKAV NA LOKACIJI A IN B	66

1 UVOD

1.1 Opredelitev obravnavane zadeve

Diplomsko delo obravnava značilnosti uporabljenih materialov spodnjega ustroja in dela voziščne konstrukcije za avtocestni odsek Lendava – Pince, sklop A. Obravnava kakovostne zahteve materialov in izvedbo vgrajenih nasipov, kamnite posteljice, ki zaključuje planum spodnjega ustroja, nevezane nosilne plasti (tampona) in cementne stabilizacije, ki sta del voziščne konstrukcije.

V Prekmurju je najprimernejši za vgradnjo v kamnito posteljico in nevezano nosilno plast murški prod. Za te materiale je značilno, da se za kamnito posteljico lahko uporablja že naravno pridobljen prod iz gramoznice, kjer je dovolj kvaliteten; za tampone ter cementne stabilizacije pa delno drobljeni prod.

V območju voznega in prehitevalnega pasu, kjer je obremenitev največja, se izvaja stabilizacija nevezane nosilne plasti s hidravličnimi vezivi (cementna stabilizacija) ali z bitumenskimi vezivi. V nadaljevanju bom predstavil značilnosti, načine vgradnje vseh štirih plasti utrditve sodobnega vozišča in podrobno predstavil pogoje za vgradnjo in izvedbo cementne stabilizacije, ki je v Sloveniji najpogosteje uporabljeni postopek stabilizacije kamnitih zmesi zrn.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve diplomskega dela

Namen diplomske naloge je, da na podlagi zbrane literature in veljavne tehnične regulative pri izgradnji AC s tega področja podrobno predstavimo posamezen obravnavani sklop značilne utrditve sodobnega vozišča ter vse njegove značilnosti, vrste uporabljenih materialov in kakovost izvedbe.

Posebej in podrobneje bo predstavljena cementna stabilizacija kot utrditev za najbolj obremenjena območja avtocest.

Cilji tega diplomskega dela so predvsem:

- podrobno predstaviti cementno stabilizacijo kot enega izmed najpogostejše uporabljenih postopkov in način stabiliziranja kamnitih zmesi zrn v Sloveniji,
- ugotoviti, kje so vzroki za občasno slabšo kvaliteto priprave in izvedbe,
- primerjati in ugotoviti prednosti posameznega postopka mešanja,
- dati predloge za izboljševanje postopka stabiliziranja.

Osnovna trditev te diplomske naloge je, da je cementna stabilizacija pomemben in nepogrešljiv del zelo obremenjenih voziščnih konstrukcij ter s kvalitetno predpripravo mešanice in kasnejšo izvedbo pripomore k trajnejši izvedbi celotnega vozišča.

1.3 Predpostavke in omejitve

Z diplomsko nalogo bom predvsem poglobil znanje o posameznih delih voziščne konstrukcije in le-to predstavil širši slovenski javnosti. Pri tem bom lahko svoje znanje s pridom uporabil pri svojem delu v podjetju. Pričakujemo tudi realne rezultate raziskave, ker je to področje zelo občutljivo in ker si vsi želimo dobrega poslovanja v podjetju.

Omejitve so lahko predvsem pri tem, da se na SV Slovenije v pretežni meri uporablja pri gradnji vozišča naravno pridobljeni material (prod) in mi je manj poznan kamnolomski drobljenec, ki ga uporabljajo drugje po Sloveniji.

1.4 Predvidene metode raziskovanja

V diplomskem delu bom raziskoval izvedbo voziščne konstrukcije na AC Lendava – Pince. Pri cementni stabilizaciji bom obravnaval fizikalne in kemijske lastnosti različnih materialov in preverjal kakovost izvedenih del. Podrobneje bom opredelil tehnologijo vgradnje cementne stabilizacije kot del voziščne konstrukcije. Opisal bom tudi postopke izvedbe nasipov, izdelave kamnite posteljice, tampona in asfalta.

Delo vsebuje pregled zbrane literature, veljavne tehnične regulative, zbiranje podatkov iz laboratorijskih preiskav in terminski plan izvedbe kot pomemben dejavnik pri gradnji cementne stabilizacije.

Raziskava bo potekala tudi na dveh postopkih vgrajevanja cementne stabilizacije. To sta postopek vgrajevanja s frezo in finiŕerjem.

2 POMEN IZRAZOV

Asfaltna zmes je zmes kamnitih zrn polnila, drobljenega peska in drobirja, bitumenskega veziva in potrebnih dodatkov, proizvedena po hladnem ali vročem postopku.

Deformacijski modul je parameter, ki ponazarja deformabilnost vgrajenega materiala in je določen na osnovi nagiba krivulje obremenitev/posedek pri tlačnem preskusu z obremenilno ploščo.

Delež zrn pomeni delež zrn določenega območja velikosti v zmesi (v m.-%).

Delovni stik je zaradi pogojev dela narejeno vzdolžno ali prečno stikovanje enake asfaltne zmesi.

Dinamični deformacijski modul je značilna vrednost za deformabilnost materiala pri definirani sunkoviti obremenitvi krožne plošče s padajočo utežjo, določeno na osnovi izmerjene amplitude posedka plošče s.

Drobir pomeni popolnoma drobljena zrna velikosti nad 2 mm do 63 mm, ki imajo najmanj 90 % lomljenih ploskev.

Drobljeni pesek je zmes kamnitih zrn velikosti do 2 mm (fini) oziroma do 4 mm (grobi), ki imajo vse ploskve lomljene.

Drobljeno zrno je tisto, ki ima najmanj 50% lomljenih ploskev.

Enakozrnata zmes zrn sestoji iz kamnitih zrn zelo podobne velikosti (enega razreda).

Hidravlično vezivo je vezivo, ki se zaradi reakcije z vodo strdi na zraku kot tudi pod vodo in je potem obstojno v vodi.

Institucija je strokovna organizacija, imenovana od naročnika, ki pri gradnji izvaja zunanjo kontrolo in druge naloge v zvezi z ugotavljanjem skladnosti in prevzemanjem gradbenih proizvodov.

Inženir je od naročnika izbrana strokovna organizacija, ki izvaja nadzor nad kakovostjo gradbenih proizvodov in izvedenih del ter nad izvajanjem del po projektni dokumentaciji, na podlagi katere je bilo izdano gradbeno dovoljenje.

Kamniti material je nevezljiv material iz kamnitih zrn, katerih mehanske, kemijske in mineraloške lastnosti se pod vplivom delovanja vode, zraka in/ali temperaturnih sprememb s časom ne spreminjajo oziroma se menjajo v mejah, ki še označujejo mehansko obstojnost materiala; kamniti materiali so lahko iz naravne ali umetne kamnine.

Kohezija pomeni medsebojno učinkovanje delcev materiala, ki vpliva na konsistenco, viskoznost, elastičnost in togost.

Mešanica je vgradljiva sestava zmesi kamnitih zrn, hidravličnega veziva (cementa) in vode, ki je po vezanju ni mogoče razstaviti na osnovne materiale.

Nadgradnja je vgraditev dodatne plasti na (poškodovano) obstoječo voziščno konstrukcijo, po potrebi delno odrezkano, tako da je nova površina vozišča višja od prvotne.

Notranja (tekoča) kontrola so dejavnosti izvajalca del, namenjene obvladanju in ugotavljanju skladnosti proizvoda.

Okroglo zrno je tisto, ki ima najmanj 50 % površine zaobljene.

Pesek je zmes kamnitih zrn v območju velikosti na spodnji meji 0 mm, 0,063 ali 0,09 mm in na zgornji meji 2 ali 4 mm.

Planum pomeni površino plasti z določenimi predpisanimi značilnostmi kakovosti (višine, ravnosti, zgoščenosti in nosilnosti).

Podlaga je območje pod plastjo ali slojem, ki ga gradimo.

Podmerno zrno je zrno v skupini (frakcij), ki pri sejanju pade skozi najmanjše sito, s katerim je označena spodnja meja zrnivosti.

Popolnoma drobljeno zrno je tisto, ki ima najmanj 90 % lomljenih ploskev.

Postopek mešanja na mestu vgraditve (»in-situ«) je postopek za izboljšanje, utrditev ali stabiliziranje materiala, pri katerem pelje mešalnik po pripravljeni plasti materiala ter dvigne in premeša z vezivom in potrebno vodo.

Rezkalnik je stroj z na vrtečem valju nameščenimi orodji za rezkanje (odkop) vezanih materialov.

Sestava zmesi kamnitih zrn pomeni v razrede porazdeljeno zmes kamnitih zrn, ponazorjeno s krivuljo v ustreznem diagramu.

Skupina zrn (frakcija) pomeni v obratu proizvedena zmes kamnitih zrn vseh velikosti med spodnjo in zgornjo (nazivno) mejno velikostjo, s katerima je označena, vključno z določeno dopustno količino podmernih in nadmernih zrn; skupine zrn (frakcije) so razvrščene v osnovne in vmesne; delež podmernih in nadmernih zrn določa kakovost skupine zrn.

Struktura je sestava glede na velikosti, oblike in razmerja sestavin in njihove medsebojne povezanosti.

Tekstura (zlog) je lastnost površine kamnitih zrn oziroma plasti, določene z zgradbo, razvrstitvijo, velikostjo, deležem in značilnostmi mineralov v zrnju oziroma zrn v plasti.

Ugotavljanje skladnosti je postopek, s katerim institucija preveri, če obstaja zadostna verjetnost, da nedvoumno opredeljena storitev ustreza zahtevam v pogodbeni dokumentaciji.

Vezana nosilna plast je zmes ali mešanica kamnitih materialov enakomerne zrnivosti v voziščni konstrukciji vezanih s hidravličnim ali bitumenskim vezivom.

Vgraditev po vročem postopku pomeni vgraditev asfaltne zmesi, proizvedene v obratu za pripravo zmesi v vročem stanju, ki v odvisnosti od vrste asfaltne zmesi in

3 ELEMENTI, KI SESTAVLJAJO VOZIŠČNO KONSTRUKCIJO AC

3.1 Uvod

Sodobna cestogradnja temelji v veliki meri na izkustvenih znanjih, ki jih je pridobila na podlagi izkušenj iz tehnologije materialov, gradbenih strojev, prevoznih sredstev in drugega. Vse to skupaj velja tudi za izvedbo voziščne konstrukcije.

Ob izrazu voziščna konstrukcija lahko podamo naslednjo definicijo: »**Voziščna konstrukcija** je del utrditve prometne površine, ki sestoji iz ene ali več nosilnih plasti in obrabne plasti. Prevzema in prenaša prometne obremenitve na posteljico in/ali podlago (nasip, temeljna tla) ter preprečuje pronicanje vode do podlage.

Časovni razvoj je v cestno gradbeno prakso prinesel naslednje osnovne vrste vozišč:

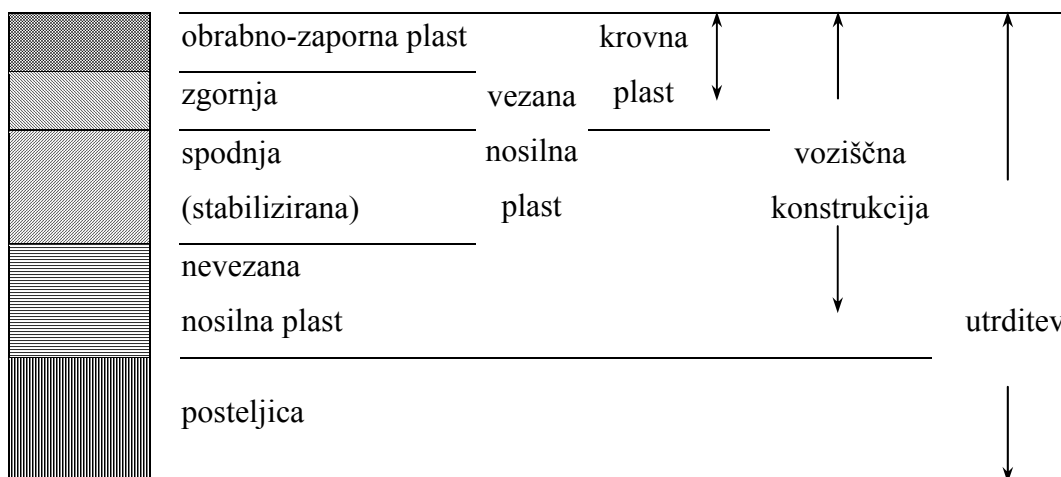
- makadamsko,
- tlakovano,
- asfaltno in
- cementno-betonsko.

Ker se v takšnih ali drugačnih pogledih makadamska in tlakovana vozišča pri novogradnjah le redko uporabljajo, imajo vodilno vlogo na tem področju predvsem asfaltna in cementno-betonska vozišča, ki zadostijo vsem pogojem sodobnega prometa (velika prometna obremenitev in drugi vplivi).

Voziščna konstrukcija je pri prometnicah gradbena konstrukcija, pri kateri uporabljamo posebej prirejene izbrane materiale, da bi zagotovili izpolnjevanje kvalitete, vzdržljivosti in trajnosti te konstrukcije. Temu primerne so tudi cene teh materialov, ki so bistveno (tudi po 10x) večje od cen materialov za nasipe in posteljico. Zato je treba to konstrukcijo načrtovati skrbno in v zadostnih debelinah, ker bi nam preskromne dimenzije voziščne konstrukcije propadle zelo hitro. Propadanje namreč ni linearno. Iz tega tudi sledi, da je treba vzdrževanje

voziščne konstrukcije izvajati sproti in natančno, ker samo s tem preprečimo progresivno propadanje te konstrukcije.

Skozi dolgo dobo razvoja voziščne konstrukcije in utrditve se je izoblikovala naslednja utrditev sodobnega vozišča (sl. 1, ki je danes tudi največkrat v uporabi):



*Slika 1: Značilna utrditev sodobnega vozišča
Vir: Lasten vir*

Odsek AC Lendava – Pince, sklop A, poteka v relativno morfološko in geološko enostavnem prostoru, v katerem ni bilo pričakovati posebnih inženirsko-geoloških problemov v zvezi z nosilnostjo geološke sredine. Obravnavana trasa avtoceste A5 je vezana na potek po skrajnem severovzhodnem obrobju Prekmurja, kjer obširne ravnine neopazno do zelo položno in tudi strmo prehajajo v gričevnat do planotast svet Dolgovaških, Lendavskih in Čentibskih gor. Avtocesta tega odseka poteka praktično po ravnem terenu na obrobju Prekmurskega polja.

Na odseku AC Lendava – Pince je bila na podlagi dimenzioniranja voziščne konstrukcije za traso avtoceste predlagana sledeča sestava voziščne konstrukcije:

- 21 cm vezane nosilne in obrabne asfaltne plasti (4+8+9),
- 35 cm nevezane nosilne plasti (tamponski drobljenec TD 32), ki je na območju voznega pasu stabilizirana s cementom v debelini 20 cm,
- 20 cm kamnite posteljice (separiran prod), ki je vgrajena na kamniti nasip min. debeline 50 cm.

3.2 Nasipi

»*Nasip* je del cestnega telesa med posteljico in temeljnimi tlemi, umetno zgrajen iz zemljin in/ali kamnin tako visoko nad površino terena, da sta obe brežini ob robu cestišča nagnjeni navzdol.«¹

Namen nasipa je zagotavljati dobro podlago posteljici in hkrati povečati nosilnost podlage. Najpogosteje se nasipe, če je to iz geološko-geomehanskih pogojev mogoče, gradi iz materiala, ki se ga pridobi na trasi (masna bilanca). Kjer to ni mogoče, je potrebno ves nasipni material pripeljati iz stranskega odvzema (kamnolomi ali gramoznice). Zaradi nižinskega sveta je celotni potek tega dela avtoceste, priključka Lendava in deviacij projektiran na nasipih, ki so v povprečju visoki okrog 3 m. Na večjo višino (6–8 m) se povišajo deli deviacij in priključkov ob raznih križanjih z železniško progo. Vsi nasipi so zgrajeni s prodnatim materialom, ki je pripeljan iz bližnjih gramoznic (Petišovci, Ivanjci in Dobrovnik). V vseh primerih se je za gradnjo nasipov uporabljal nesepariran prod. Za nasipe je potrebno upoštevati nekaj osnovnih zahtev in pogojev, ki bodo predstavljeni v nadaljevanju.

3.2.1 Materiali za nasip

Nevezani zrnati (gramozni–peščeni) in kamniti mešani materiali za nasipe morajo izpolnjevati naslednje pogoje:

- premer največjega zrna v kamnitem materialu za nasipe ne sme biti večji od dveh tretjin debeline plasti (debelina plasti ustreza 1,5-kratnemu premeru največjega zrna), vendar ne večji od 300 mm (10 m-% v celokupni masi materiala ima lahko premer zrn od 300 do 400 mm), če s projektom ni določeno drugače.

Od zgornjih pogojev se lahko odstopa le, če se z dokaznim vgrajevanjem ugotovi zahtevane lastnosti vgrajene plasti. Za kamnite materiale, ki vsebujejo zrna nad 63 mm, je potrebno s predhodnimi preiskavami ugotoviti:

¹ [1], str. 16

- gostoto vgrajene plasti materiala ustrezne debeline (z nadomestno metodo preiskave), ki bo uporabljena kot osnova pri nadaljnjih meritvah zgoščenosti vgrajenega materiala na površini plasti in optimalno vlažnost materiala,
- kamniti material za izdelavo nasipov mora biti iz kamnin, obstojnih pri atmosferskih vplivih; te pogoje morajo izpolnjevati tudi mešani materiali.

Če so kamnine vgrajene v nasipe do globine zmrzovanja, smejo vsebovati v neugodnih hidroloških pogojih (nivo talne vode ali možnost kapilarnega dviga vode v območje zmrzovanja):

- če je $U \geq 15$ 5m.-% zrn velikosti do 0,063 mm;
- če je $U \leq 6$ 15m.-% zrn velikosti do 0,063 mm.

Če kamnine za nasipe niso odporne proti preperevanju, jih je potrebno takoj po vgraditvi primerno zaščititi proti vremenskim vplivom.

3.2.2 Izvedba

Planum oz. podlaga, na katero gradimo nasip, je praviloma planum naravnih temeljnih tal, ki mora imeti za dobro in čim hitrejšo odvodnjavanje primeren nagib (iz vezljive zemljine 4 do 10 %). Ureditev planuma temeljnih tal vključuje:

- pripravo temeljnih tal po izvršenem površinskem izkopu plodne zemlje ali širokem izkopu v zemljini ali kamnini za vgrajevanje nasipov, ki obsega:
 - grobo planiranje in zgoščevanje površinske plasti temeljnih tal ter
 - vzdrževanje temeljnih tal do nadgradnje.

Zemljine in kamnine v temeljnih tleh morajo omogočiti takšno zgostitev, da bodo temeljna tla sposobna prevzeti vse obremenitve, predvidene s projektom in da sčasoma zaradi biokemičnih procesov ne spremenijo svojih fizikalno-mehanskih lastnosti v tolikšni meri, da bi škodljivo vplivale na stabilnost. Če obstaja nevarnost, da se bodo v materialu, vgrajenem v nasip, zaradi vtiskanja neustreznih vezljivih zemljin iz podlage pod prometom poslabšale lastnosti, ga je

potrebno pred vgrajevanjem zaščititi z ustrezno ločilno plastjo (ločilna geosintetika) ali izvesti poglobitev in nadomestitev nenosilne zemljine z ustrezno debelino kamnitega materiala.

Navoz nasipnega material mora potekati tako, da vozila neposredno ne vozijo po planumu temeljnih tal, ampak vozijo po že razprostrti plasti tega materiala. Izbira (nosilnost) vozil za navoz nasipnega materiala mora biti prilagojena debelini nasipne plasti (raznos obremenitve) in kakovosti podlage pod prvo nasipno plastjo. Zemljine za vgrajevanje v nasipe morajo biti dobavljene na gradbišče z ustrezno vlago, ki je potrebna za optimalno vgrajevanje. Med vgrajevanjem lahko vlaga odstopa od optimalne do ± 2 m.-%.

Razprostiranje nasipnih plasti mora praviloma potekati z grederjem ali buldozerjem. Način zgoščevanja razprostrte nasipne plasti material je odvisen od načina vgrajevanja in podlage, na katero se plast vgrajuje. Pri izbiri sredstev za zgoščanje imajo prednost tista, ki z vgrajenim merilnikom omogočajo stalno kontrolo dosežene zgoščenosti. V načrtovani profil razprostrto plast nasipnega materiala je potrebno zgostiti enakomerno po vsej širini. V zadnjo nasipno plast ($\leq 0,5$ m planuma pod posteljico) vgrajeni materiali morajo ustrezati zahtevam v Tabeli 1.

Vrsta materiala	Zahtevana zgoščenost		Zahtevane vrednosti deformacijskih modulov na planumu pod posteljico		
	po SPP	po MPP	Ev ₂ [MN/m ²]]	Ev ₂ /Ev ₁ [MN/m ²]]	E _{vd} [MN/m ²]]
- vezljiva zemljina	95 %		≥ 15	$\leq 2,2$	≥ 7
- izboljšana in utrjena zemljina	95 %		≥ 20	$\leq 2,2$	≥ 10
- stabilizirana zemljina	95 %		≥ 30	$\leq 2,2$	≥ 15
- zrnata kamnina		95 %	≥ 60	$\leq 2,2$	≥ 25

Tabela 1: Zahtevane vrednosti zgoščenosti in nosilnosti za nasipno plast $\leq 0,5$ m planuma pod posteljico
Vir: TSC

3.3 Posteljica

3.3.1 Splošno

Namen izgradnje posteljice pod voziščno konstrukcijo je zagotovitev primerne in trajne nosilne podlage, po potrebi tudi zaščita vgrajenih materialov pred škodljivimi učinki mraza.

Pogojene lastnosti posteljice lahko zagotovimo z ustreznimi gradbeno-tehničnimi ukrepi: uporabo primernih materialov oziroma njihovim izboljšanjem, utrditvijo ali stabiliziranjem, v enaki meri pa tudi z ureditvijo odvodnjavanja². Za posteljico so uporabne tudi primerne vezljive zemljine, predvsem in najpogosteje so v uporabi kamenine. V nadaljevanju diplomskega dela se bomo predvsem posvetili obravnavi uporabe materiala za posteljico iz kamenin.

V posteljico vgrajeni material mora biti prostorsko stabilen in obstojen v vodi. Primerna vlažnost materiala mora omogočiti doseganje predpisane zgoščenosti. Za naveden material lahko uporabimo naslednjo definicijo: »**Kamnita posteljica** (ang. mineral capping layer, nem. verfestigter Unterbau) je vrhnja plast nasipa ali temeljnih tal, ki je sestavljena iz mehansko stabilizirane naravne, mešane ali drobljene zmesi kamnitih zrn³.

3.3.2 Materiali za posteljico

V kamnito posteljico so lahko vgrajene zmesi zrn, ki so po nastanku iz:

- naravnih zrn,
- drobljenih kamnin,
- mešanih naravnih in drobljenih zrn ter
- sekundarne surovine.

Naravne zmesi zrn vsebujejo zrna z bolj ali manj zaobljenimi robovi in konicami in so nastale pri razpadanju masivnih kamnin zaradi delovanja sil vode, temperature in vetra. V pretežni meri so naplavine rek ali odkladnine ledenikov (prodišča, gramoznice) ali so odložene ob vznožjih kamnitih pobočij. Pridobivati jih je mogoče z izkopom.

² [1], str. 260

³ [2] str. 4

Drobljene zmesi zrn z ostrimi robovi in konicami ter bolj ali manj hrapavimi prelomnimi ploskvami so proizvedene v drobilnicah z drobljenjem odstreljenih kamnin, grobih naravnih zrn ali sekundarnih surovin ali pa bolj grobih, že predhodno zdrobljenih zrn.

Mešane zmesi zrn so proizvedene z delnim drobljenjem naravnih zrn ali z mešanjem posameznih deležev naravnih in umetnih zrn.

Sekundarne surovine so praviloma drobljeni odpadni produkti iz jeklarske in kemične industrije in drobljeni gradbeni odpadki.

Sestava zmesi zrn za kamnito posteljico mora zagotavljati homogeno nosilnost vgrajene plasti in po potrebi varnost proti zamrznitvi. Ustrezati mora zahtevam, opredeljenim v SIST EN 933. Zmes zrn za kamnito posteljico mora biti pridobljena na način, da je zagotovljena konstantna in sledljiva kakovost. Prostorska porazdelitev zrn različnih nazivnih velikosti mora biti enakomerna (homogenost zmesi kamnitih zrn). V osnovi je sestava zmesi zrn pogojena z:

- dobro stopnjevano zrnnavostjo: količnik neenakomernosti zrnnavosti U mora biti večji od 5 (zaželjene vrednosti $8 \leq U \leq 50$),
- deležem zrn velikosti do 0,063 mm (ki ne smejo biti plastična): kategorija
 - o f_5 (do 5 m.-%) na deponiji in
 - o f_8 (do 8 m.-%) v vgrajeni plasti,
- če je zmes vgrajena do globine zmrzovanja in znaša količnik $U \geq 15$, ter
- z največjim zrnom, ki ne sme presegati polovice debeline vgrajene plasti kamnite posteljice, vendar praviloma ne sme biti večje od 125 mm.

Za kamnito posteljico so primerni vsi naravni materiali, ki po klasifikaciji USCS ustrezajo vrsti GW, GP, GM, to so dobro građuirani, slabo građuirani ali meljasto peščeni prodi, drobljenci, mešane zmesi zrn in zmesi zrn iz sekundarnih surovin.

V zmesi za kamnito posteljico morajo biti zrna iz mehansko in prostorsko obstojne ter na vplive vode in mraza odporne kamnine. Ustreznost zrn za kamnito posteljico je treba določiti z makroskopskim mineraloško-petrografskim pregledom.

V zmesi zrn za kamnito posteljico ne sme biti škodljivih primesi humusnih ali organskih snovi.

V zmesi prisotne humusne ali organske snovi smejo obarvati 3 %-no raztopino natrijevega luga

največ temno rumeno. Primesi trdnih, litificiranih premogovih delcev se ne štejejo kot humusne snovi, čeprav se standardna raztopina luga temno obarva.

3.3.3 Izvedba

Zmes kamnitih zrn, namenjena za vgraditev v kamnito posteljico, mora biti dobavljena na gradbišče z ustreznim deležem vode za optimalno vgrajevanje. Če se pri vgrajevanju ugotovi, da je zmes kamnitih zrn premalo vlažna, se lahko zmesi doda vodo pred zgoščevanjem, vendar samo z rošenjem, da se prepreči izpiranje finih delcev oziroma razmočenje vezljivih zemljin v temeljnih tleh. Optimalna vlažnost materiala med vgrajevanjem se regulira z dodajanjem vode iz avtocisterne. Med vgrajevanjem lahko delež vlage v zmesi kamnitih zrn odstopa od optimalne do ± 2 m.-%. Pri dobavi na gradbišče morajo biti izpolnjene zahteve za sestavo in enakomernost zmesi kamnitih zrn. Razprostiranje zmesi kamnitih zrn v posteljico mora praviloma potekati z grederjem in/ali buldozerjem.

V načrtovani profil razprostrto zmes kamnitih zrn je potrebno zgostiti z ustreznimi zgoščevalnimi sredstvi po vsej širini plasti. Pri izbiri sredstev za zgoščevanje imajo prednost tista, ki z vgrajeno merilno opremo omogočajo stalno kontrolo dosežene zgoščenosti. Zgoščevati je potrebno pričeti od zunanjih robov plasti proti sredini in od nižjega roba plasti proti višjemu. Za zagotovitev ustrezne zgoščenosti in nosilnosti po vsej projektirani širini plasti je potrebno le-to na vsakem robu razširiti za projektirano debelino plasti + 10 cm.

Kakovost izvedenih del pri vgradnji kamnite posteljice preverjamo tako, da opravljamo meritve in kontrole zgoščenosti, nosilnosti, ravnosti, višine in nagiba na planumu izvedene plasti.

Zgoščenost v kamnito posteljico vgrajene zmesi zrn mora znašati v povprečju najmanj 98 % glede na največjo gostoto zmesi zrn po modificiranem postopku po Proctorju, opredeljenem v SIST EN 13286. Spodnja mejna vrednost zgoščenosti lahko od povprečja odstopa največ 3 %.

Nosilnost na planumu kamnite posteljice je mogoče izmeriti po:

- postopku s krožno obremenilno ploščo in statičnim obremenjevanjem za določitev vrednosti deformacijskih modulov E_{v1} in E_{v2} (obremenjevanje praviloma po stopnjah 0,06 do 0,07 MN/m²) in/ali
- po postopku s krožno obremenilno ploščo in padajočo lahko utežjo oziroma dinamičnim obremenjevanjem za določitev vrednosti dinamičnega deformacijskega modula E_{vd} .

Postopka meritev sta podrobno opredeljena v TSC 06.720 Meritve in preiskave, Deformacijski moduli vgrajenih materialov. Nosilnost oziroma vrednosti deformacijskih modulov, dosežene na planumu kamnite posteljice, morajo znašati:

- $E_{v2} > 80 \text{ MN/m}^2$ in $E_{v2} / E_{v1} < 3$ oziroma
- $E_{vd} > 40 \text{ MN/m}^2$.

Minimalna dosežena vrednost deformacijskega modula je lahko do 20 % manjša od zahtevane vrednosti.

3.4 Nevezana nosilna plast (Tampon)

3.4.1 Splošno

Izraz nevezana nosilna plast lahko definiramo kot: »**Nevezana nosilna plast** (ang. subbase, nem. untere Tragschicht) je praviloma najnižja nosilna plast v voziščni konstrukciji, ki je mehansko stabilizirana in sestavljena iz zmesi naravnih, drobljenih ali mešanih kamnitih zrn⁴.«

3.4.2 Materiali za nevezano nosilno plast

V nevezane nosilne plasti so lahko vgrajene zmesi kamnitih zrn, ki so po nastanku:

- naravne,
- drobljene ali
- mešane.

⁴ [3], str. 4

Naravne zmesi zrn vsebujejo zrna z bolj ali manj zaobljenimi robovi in konicami in so nastale pri razpadanju masivnih kamnin zaradi delovanja sil vode, temperature in vetra. V pretežni meri so naplavine rek ali odkladnine ledenikov (gramoznice) ali so odložene ob vznožjih kamnitih pobočij (melišča). Pridobivanje je možno z izkopom.

Drobljene zmesi zrn z ostrimi robovi in konicami ter bolj ali manj hrapavimi prelomnimi ploskvami so praviloma proizvedene v drobilnicah s predrabljanjem odstreljenih kamnin, grobih naravnih zrn ali sekundarnih surovin ali grobejših, že predhodno zdrobljenih zrn.

Mešane zmesi zrn so proizvedene z delnim drobljenjem naravnih zrn ali z mešanjem posameznih deležev naravnih, drobljenih in/ali umetnih zrn.

Lastnosti zmesi kamnitih zrn za opredelitev kakovosti so podrobno opredeljene v SIST EN 13242. Sestava zmesi kamnitih zrn za nevezane nosilne plasti mora biti prilagojena predvideni prometni obremenitvi ter lastnostim surovine. Sestava zmesi kamnitih zrn mora biti grafično prikazana v diagramu kot presejek (ostanek) skozi sito (v m.-%), v odvisnosti od velikosti stranice kvadratne odprtine sita (v mm).

Za vgradnjo v nevezano nosilno plast mora biti sestava zmesi kamnitih zrn takšna, da leži njena presejna krivulja med mejnima krivuljama, ki sta določeni odvisno od velikosti zrn v zmesi za tri značilne vrste zmesi kamnitih zrn:

- zmes kamnitih zrn nazivne velikosti 0/22 mm (vsebuje zrna velikosti 0 do 31 mm (slika 3),
- zmes kamnitih zrn nazivne velikosti 0/31 mm (vsebuje zrna velikosti 0 do 45 mm (slika 4),
- zmes kamnitih zrn nazivne velikosti 0/45 mm (vsebuje zrna velikosti 0 do 63 mm (slika 5).

Delež drobljenih zrn v zmesih za nevezane plasti mora biti določen (v sklopu dimenzioniranja voziščne konstrukcije) glede na razvrstitev v SIST EN 13242 v kategorijo C (glede na rezultate raziskovalne naloge je minimalen kriterij za delež drobljenih zrn za težko prometno obremenitev $C_{70/10}$). Delež drobljenih zrn na odseku AC Lendava – Pince je bil zaradi težav pri drobljenju murskih prodov in dobavi ustreznih količin nevezane nosilne plasti spremenjen, in

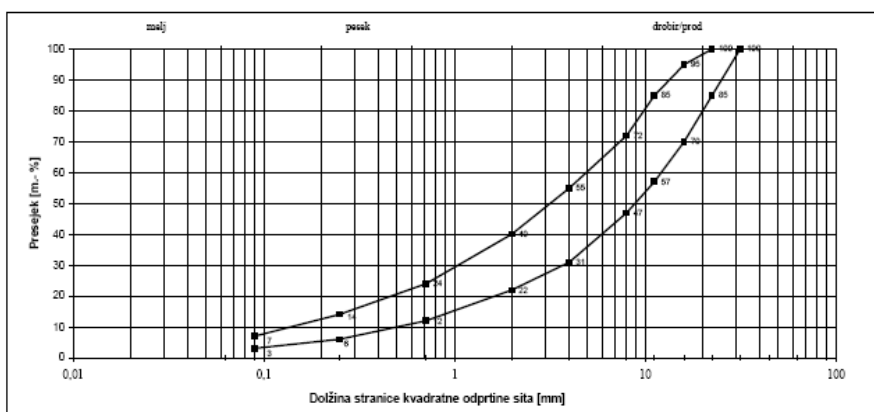
sicer na min. 50 m.% delež drobljenih zrn in največ 30 m.% deležem popolnoma okroglih zrn ob pogoju, da sta bila v debelini 25 cm v celoti stabilizirana tako vozni kot prehitevalni pas.

Delež finih delcev v zmesih kamnitih zrn za nevezane nosilne plasti mora ustrezati zahtevam v SIST EN 13242 za kategorijo f_5 na deponiji ali kategorijo f_8 v vgrajenem stanju (oceno neškodljivosti finih delcev lahko določimo tudi s preiskavo metilen modro (MB), ki bo podrobno obdelana v dodatku produktnega standarda SIST EN 13242 – trenutno velja okrožnica DARS-a št. 402.26/07-AL-158). Oblika grobih zrn (nad 4 mm) v zmesi kamnitih zrn za nevezane nosilne plasti mora ustrezati zahtevam v SIST EN 13242 za kategorijo modula oblike zrn SI20. Ekvivalent peska mora ustrezati zahtevam v SIST EN 13242 za kategorijo SE60 za težko in kategorijo SE50 za lažje prometne obremenitve. Kakovost grobih zrn mora ustrezati zahtevam v SIST EN 13242 za kategoriji G in GT.

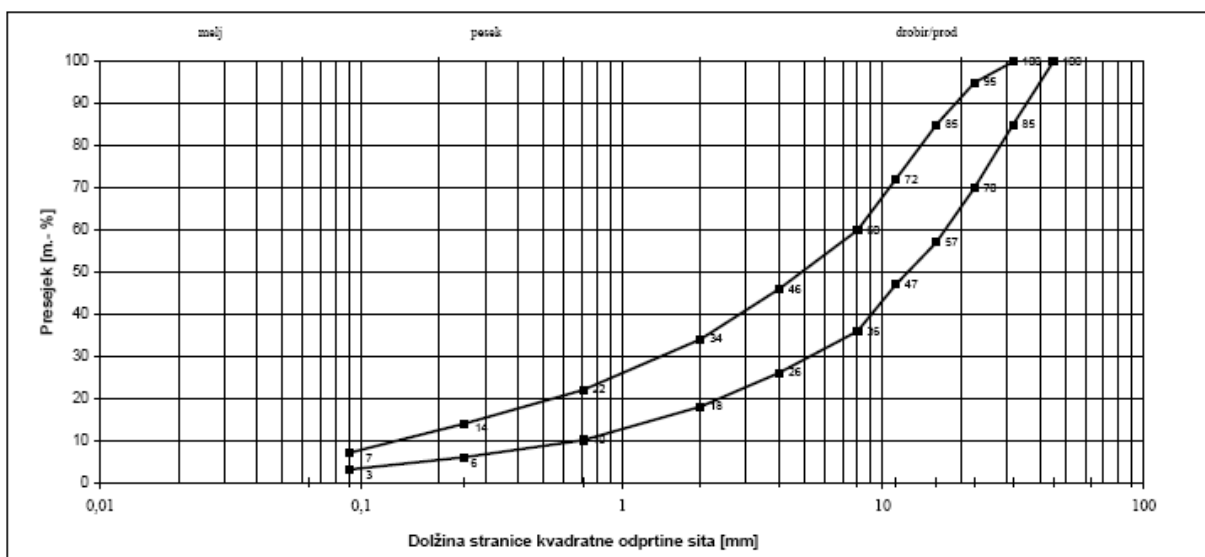
Odpornost grobih zrn v zmesih za nevezane nosilne plasti proti drobljenju mora ustrezati zahtevam v SIST EN 13242:

- za težko prometno obremenitev kategoriji LA30,
- za srednjo in lahko prometno obremenitev kategoriji LA35.

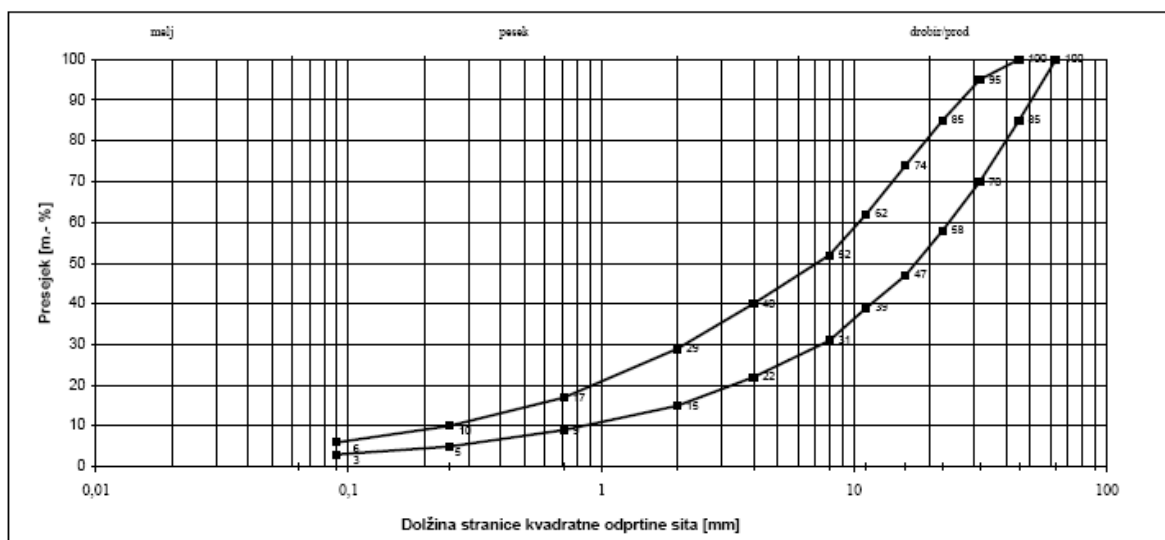
Območje sestave zmesi kamnitih zrn 0/22mm, 0/32mm in 0/45 mm so predstavljene na spodnjih slikah. Najpogosteje se za vgradnjo v nevezano nosilno plast v AC uporablja zrnava 0/32 mm, ki je bila predpisana tudi s strani projektanta trase AC Lendava – Pince.



Slika 3: Območje sestave zmesi kamnitih zrn 0/22 mm za nevezane nosilne plasti
Vir: zavod za gradbeništvo Slovenije



Slika 4: Območje sestave zmesi kamnitih zrn 0/31 mm za nevezane nosilne plasti
Vir: zavod za gradbeništvo Slovenije



Slika 5: Območje sestave zmesi kamnitih zrn 0/45 mm za nevezane nosilne plasti
Vir: zavod za gradbeništvo Slovenije

Delež organskih primesi v zmesih kamnitih zrn za nevezane nosilne plasti mora ustrezati zahtevam v SIST EN 13242 (obarvanje največ temno rumeno). Odpornost kamnitih zrn proti zmrzovanju in tajanju mora za nevezane nosilne plasti ustrezati zahtevam za kategorijo NS10.

3.4.3 Izvedba

Zmes kamnitih zrn mora biti pridobljena na način, da je zagotovljena njena konstantna kakovost. Prostorska porazdelitev zrn različnih nazivnih velikosti mora biti enakomerna (homogenost zmesi kamnitih zrn). Zmes kamnitih zrn mora biti pripravljena na način, da je zagotovljen optimalni delež in enakomerna porazdelitev vlage v zmesi, da bo mogoče zmes kamnitih zrn optimalno vgraditi.

Podlaga voziščni konstrukciji in s tem tamponski plasti, ki praviloma predstavlja najnižjo plast v voziščni konstrukciji, je kamnita posteljica. Kamnita posteljica mora zagotoviti primerno in trajno nosilnost ter po potrebi zaščititi pod njo vgrajene materiale pred škodljivimi učinki mraza. Planum kamnite posteljice mora biti pripravljen in prevzet s strani inženirja v skladu z zahtevami v TSC 06.100.

V primeru razprostiranja oziroma vgrajevanja s finišejem je pogojen navoz zmesi kamnitih zrn za nevezano nosilno plast po prevzetem planumu posteljice. Če vgrajevanje ne poteka s finišejem, se navoz zmesi kamnitih zrn za nevezano nosilno plast ne sme vršiti po pripravljenem in prevzetem planumu posteljice, temveč le po že razprostrti zmesi kamnitih zrn za nevezano nosilno plast. Zmes kamnitih zrn se lahko ob transportu in praznjenju vozil razmeša, zato je vozila potrebno prazniti s počasnim zvrčanjem nazaj ali vstran, ob počasnem premikanju vozila naprej. Dovoz tampona se vrši s kamioni oz. avtovlačilci prekucniki po že nasipani tamponski plasti. V nobenem primeru ni dovoljeno voziti oziroma manipulirati z mehanizacijo po že prevzeti površini gramozne posteljice, ampak samo po splaniranem tamponu.

Če se pri vgrajevanju ugotovi, da je vlage v zmesi kamnitih zrn premalo, se lahko zmesi doda vodo pred zgoščevanjem nevezane nosilne plasti, vendar samo z rošenjem, da se prepreči izpiranje finih delcev in razmešanje zmesi (segregacija). Med vgrajevanjem lahko vlaga odstopa od optimalne do ± 2 m.-%. Zahteve za sestavo in enakomernost zmesi kamnitih zrn morajo biti pri dobavi na gradbišče izpolnjene. Razprostiranje zmesi kamnitih zrn za nevezano nosilno plast mora praviloma potekati s finišejem, le izjemoma lahko tudi z grederjem ali buldozerjem.

Debelina tamponske plasti v zgoščenem stanju je v odvisnosti od maksimalnega zrna v zmesi določena v Tabeli 2.

Velikost zrn v zmesi (mm)	Debelina plasti (cm)
do 22	≥ 12
do 31	≥ 15
do 45	≥ 20

Tabela 2: Debelina zgoščene nevezane nosilne plasti v odvisnosti od maksimalnega zrna v zmesi
Vir: TSC

V načrtovani profil razprostrto zmes kamnitih zrn je potrebno zgostiti z ustreznimi zgoščevalnimi sredstvi po vsej širini plasti. Pri izbiri sredstev za zgoščanje imajo prednost tista, ki z vgrajenim merilnikom omogočajo stalno kontrolo dosežene zgoščenosti. Zgoščevati je potrebno pričeti od zunanjih robov plasti proti sredini in od nižjega roba plasti proti višjemu. Za zagotovitev ustrezne zgoščenosti in nosilnosti po vsej projektirani širini plasti je potrebno le-to na vsakem robu razširiti za projektirano debelino plasti + 10 cm. Po zaključku zgoščevanja je potrebno izmeriti zgoščenost in nosilnost tamponskega sloja skladno s programom povprečne pogostnosti notranje in zunanje kontrole in z zahtevami v tehničnih specifikacijah.

Zgoščenost zmesi kamnitih zrn v nevezani nosilni in obrabni plasti je treba praviloma določiti z neporušnim hitrim postopkom meritve gostote in vlage z izotopskim merilnikom, kot je določen v TSC 06.711. Zgoščenost v nevezano nosilno in obrabno plast vgrajene zmesi kamnitih zrn mora znašati v povprečju najmanj 98 % glede na gostoto zmesi po modificiranem Proctorjevem postopku (SIST EN 13286-2). Spodnja mejna vrednost zgoščenosti lahko od povprečja odstopa za največ 3 %.

Nosilnost nevezane nosilne plasti je mogoče izmeriti po:

- postopku s krožno obremenilno ploščo in statičnim obremenjevanjem za določitev vrednosti deformacijskih modulov E_{v1} in E_{v2} (obremenjevanje praviloma po stopnjah 0.07 MN/m^2) in/ali
- po postopku s krožno obremenilno ploščo in padajočo lahko utežjo oziroma dinamičnim obremenjevanjem za določitev vrednosti dinamičnega deformacijskega modula E_{vd} .

V Tabeli 3 navedeno razmerje deformacijskih modulov E_{v2}/E_{v1} ni merodajno za oceno nosilnosti plasti, če znaša vrednost E_{v1} več kot 50 % zahtevane vrednosti E_{v2} . Minimalna dosežena vrednost deformacijskega modula je lahko do 20 % manjša od zahtevane vrednosti.

Vrsta zmesi kamnitih zrn	Prometna obremenitev					
	težka			srednja ali lahka		
	Zahtevane vrednosti					
	E_{v2} (MN/m ²)	E_{v2}/E_{v1}	E_{vd} (MN/m ²)	E_{v2} (MN/m ²)	E_{v2}/E_{v1}	E_{vd} (MN/m ²)
- naravna	≥ 100	≤ 2,2	≥ 45	≥ 90	≤ 2,4	≥ 40
-drobljena ali mešana	≥ 120	≤ 2,0	≥ 55	≥ 100	≤ 2,2	≥ 45

Tabela 3: Zahtevane vrednosti deformacijskih modulov na nevezanih nosilnih plasteh
Vir: TSC

3.5 Cementna stabilizacija

3.5.1 Splošno

Cementna stabilizacija je postopek, pri katerem se z izbrano vrsto in količino veziva (cementa) izboljša določene pomanjkljive značilnosti razpoložljive zmesi kamnitih zrn lokalnega izvora (nevezane nosilne plasti iz delno drobljenega murskega proda). Na obravnavnem odseku se je

cementna stabilizacija izvedla tako na prehitevalnem kot voznem pasu. Večina jo je bilo izvedena po postopku na mestu vgrajevanja (»in-situ«). V nadaljevanju diplomskega dela bom podrobno predstavil ta postopek in vse njegove značilnosti v točki 5.

3.6 Asfalt

3.6.1 Splošno

Asfalt je kompleksna zmes kamnitega agregata, bitumna in zraka. V glavnem se ga proizvaja v asfaltnih bazah, nahaja pa se tudi v naravi. Najpogosteje se asfalt uporablja za zaključne plasti voziščne konstrukcije, tako da lahko govorimo o asfaltnih voziščih.

Asfaltno vozišče je vozna površina z obrabno plastjo iz asfaltne zmesi, ki je – kot vemo – le zaključni in vrhnji sloj voziščne konstrukcije. Uporaba asfaltnih vozišč je v primerjavi z drugimi vrstami neprimerno večja in zaseda v cestogradnji posebno mesto. Nosilne plasti voziščne konstrukcije so bodisi iz asfaltnih zmesi, bodisi iz cementnega betona ali pa so pripravljene na drug ustrezen način.

3.6.2 Materiali v asfaltu

❖ Kamniti material

Služi kot ogrodje, nosilni element v asfaltu. Odporen mora biti proti drobljenju, zmrzovanju in taljenju; če pa je vgrajen v obrabno plast, mora biti odporen tudi na obrabo in zaglajevanje. V največji meri se za asfaltne plasti uporabljajo sedimentne kamnine (apnenec, dolomit), redkeje pa lapor, peščenjak ali konglomerat; predvsem za obrabne plasti pa magmatske (silikatne) kamnine (diabaz, keratofir), ki so trajnejše, trše in bolj obstojne na obruš. Zmesi kamnitih zrn so lahko naravne (prodec), drobljene ali mešane, vendar so primernejše drobljene. Kamnine, ki so primerne za asfaltne zmesi, morajo imeti ustrezno:

- *mineraloško sestavo* (petrografska sestava, vsebnost gline, oprijemljivost z bitumnom, odpornost proti vročini),
- *prostorninske lastnosti* (pore v kamnini, navidezno specifično gostoto, kapilarnost, delež drobljenih zrn, razmerje med najmanjšo in največjo dimenzijo zrn) in

- *mehanske lastnosti* (elastičnost, trdnost, obrus, specifično toploto, toplotno prevodnost, toplotno razteznost in polirnost).

Zmes kamnitih zrn sestavimo v skladu s predpisanim območjem sestave zmesi, ki je odvisna od vrste asfalta in jo izberemo glede na prometno obremenitev in predvideno debelino plasti. Najpogostejše so v uporabi naslednje zmesi zrn: polnilo karbonatnega porekla do 0,063 mm in frakcije 0/2 mm, 0/4 mm, 2/4 mm, 4/8 mm, 8/11 mm, 8/16 mm, 16/22 mm in 16/32 mm.

❖ Vezivo

Vezivo med seboj poveže delce kamnitega materiala. Osnovno vezivo v asfaltu je bitumen, ki je industrijski proizvod, pridobljen s frakcionirano destilacijo izbranih naft. Je temna, težko hlapljiva zmes pretežno organskih snovi, katerih visoko elastične lastnosti se s temperaturo spreminjajo. Njegove značilne lastnosti izhajajo iz koloidnega sistema, pri katerem je disperzna faza (asfalten) porazdeljena v zvezni – tekoči (koherentni) fazi iz olj z visokim vreliščem (malten) v stabilnem ravnotežju. Poglavitne lastnosti bitumnov so taljivost, neprepustnost in prožnost.

Največ bitumna se uporablja za proizvodnjo asfaltnih zmesi v cestogradnji, uporablja pa se ga tudi v visokogradnji pri gradnji železnic, letališč idr. Uporabljamo naslednje vrste veziv:

- Standardne cestogradbene bitumne v osmih vrstah (B20/30, ..., B160/220), kjer številki pomenita območje penetracije. Za manj obremenjena, bolj elastična vozišča uporabljamo bitumen z večjo penetracijo (višji številki), za močno obremenjena pa z manjšo penetracijo (nižji številki).
- Trde cestogradbene bitumne (tipi 1, 2, 3 in 4), ki so trši od bitumna B 20/30.
- S polimeri modificirane bitumne PmB 1 do 10, kjer višja številka označuje večjo penetracijo. Cestogradbenemu bitumnu se dodajo polimeri (elastomeri, termoelasti, duoplasti,...), ki povišajo zmečiče po PK, povečajo odpornost proti staranju in elastičnost ter povečajo odpornost proti delovanju vode.
- Hladna bitumenska veziva, katerih značilnost je začasno zmanjšana viskoznost in jih uporabljamo za predhodne pobrizge in za izdelavo površinskih ter tankoplastnih prevlek.

❖ Dodatki

Z njimi izboljšamo lastnosti asfaltnih zmesi. S polnili (predvsem s kameno moko iz karbonatnih kamnin, frakcije 0/0,09 mm, izjemoma do 0,071, ki je dodamo od 5 do 12 m.-%) zapolnimo votline v zmesi, izboljšamo granulometrično sestavo zmesi in zmanjšamo porabo bitumna. Lahko pa dodajamo tudi razne odpadne materiale (guma, steklo, elektrofitrski pepel ...), vlakna (celuloza), dope (apno, amini ...), oksidante in antioksidante. Asfaltne zmesi lahko ojačamo tudi z armaturo iz jekla, PP, PE in steklenih vlaken.

3.6.3 Izvedba

Asfaltne zmesi, vgrajene v voziščne konstrukcije, morajo biti sposobne prevzeti specifične obremenitve in imeti druge lastnosti, pogojene za posamezne plasti. Sodobna voziščna konstrukcija iz asfaltnih plasti je sestavljena tako, da so spodnje nosilne plasti iz razmeroma grobozrnate asfaltne zmesi z večjim deležem votlin in manjšim deležem veziva, tako da so deformacijsko veliko bolj odporne. Zaporedje plasti je tako, da se togost od zgoraj navzdol zmanjšuje, vodoprepustnost pa od zgoraj navzdol narašča (glej sliko 3.1). V splošnem je mogoče deliti asfaltne zmesi po njihovih značilnostih na več načinov:

- po temperaturi priprave in vgrajevanja jih delimo na asfaltne zmesi, proizvedene po vročem, toplem ali hladnem postopku;
- po načinu vgrajevanja na valjane in lite asfalte;
- po načinu priprave na postopke s pobrizgom veziva, ki mu sledi nanos kamnitih zrn in mešanje na mestu vgradnje ter postopke s predhodnim mešanjem vseh komponent asfaltne zmesi;
- po namenu uporabe na asfaltne zmesi za nosilne plasti in asfaltne zmesi za obrabne in/ali zaporne plasti.

Najpogosteje so v Sloveniji v cestogradnji (tudi na obravnavanem odseku) uporabljene asfaltne zmesi, ki so proizvedene s predhodnim mešanjem na asfaltnih bazah po vročem postopku, vgrajene s finišejem in valjanjem. Za nosilne asfaltne plasti se uporabljajo t.i. spodnje in zgornje bitumizirane nosilne plasti (bitumizirani drobirji), za katere se uporabljata kartici AC base (BSNP) in AC bin (prej BZNP). Za obrabno zaporne plasti se najpogosteje uporabljajo

bitumenski betoni (kratica AC surf, prej BB) in drobir z bitumenskim mastiksom (kratica SMA, prej DBM).

Na odseku AC Lendava – Pince je bila v območju voznega in prehitevalnega pasu uporabljena sledeča sestava asfaltnih plasti:

- 4 cm DBM 11s (vezivo: PmB tip III); (SMA 11PmB45/80-65, A1),
- 8 cm BD 22s (vezivo: PmB tip II); (AC 22 base PmB45/80-50, A1) in
- 9 cm BD 32s (vezivo: BIT 60); (AC 32 base B50/70, A1).

Pri izvedbi oz. vgrajevanju asfaltnih plasti je potrebno zagotoviti čisto površino podlage, ki je predhodno pobrizgana z ustreznim vezivom (nestabilno kationsko emulzijo, 0,3 do 0,5 kg/m²). To vezivo mora biti pred pričetkom vgrajevanja asfaltnih plasti ustrezno posušeno. Pri tem moramo upoštevati, da je podlaga lahko:

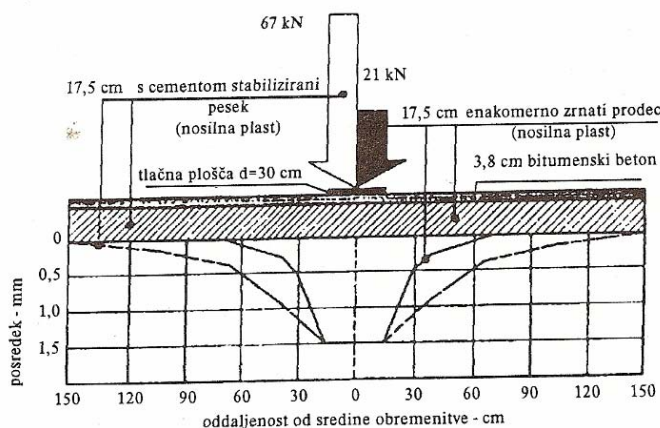
- hrapava ali gladka,
- zaprta (gosta) ali odprta (porozna),
- ravna ali neravna,
- suha ali mokra,
- čista ali onesnažena,
- nevezana ali vezana,
- obstoječa ali nova itn.

Vgrajevalni učinek finišerja pri razprostiranju asfaltnih zmesi mora zagotoviti najmanj 85 % stopnjo zgostitve. Z naslednjo plastjo se lahko nadgrajuje oz se lahko pripusti promet, ko se je spodnja asfaltna zmes v sredini plasti ohladila na približno 20°C do 25°C. Vgrajevanje se lahko izvaja le v suhem vremenu in pri temperaturi zraka +5°C. Dodatno zgostitev asfaltne zmesi za finišerji je treba do zahtevane stopnje zgostitve (praviloma najmanj 97 % oziroma 98%) zagotoviti z ustreznimi valjarji. Potrebno je vseskozi paziti na temperaturo pripeljane asfaltne zmesi, ki ne sme odstopati od zahtevanih vrednosti pri vgrajevanju za posamezno plast.

4 VRSTE STABILIZIRANIH ZMESI KAMNITIH ZRN IN RAZLIKE MED NJIMI

Tako naravne kot tudi drobljene zmesi zrn ne vsebujejo vedno primernega deleža posameznih zrnivosti za določene namene. Občasno takšne zmesi vsebujejo tudi škodljive primesi. Najpogosteje takšne težave trajno odpravimo z dodatkom bolj ali manj ustreznega veziva.

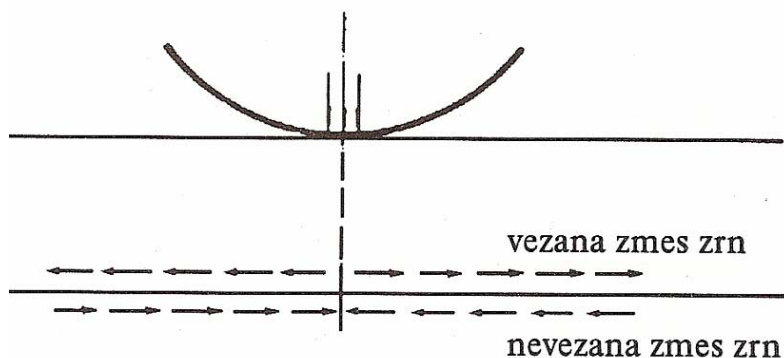
Pogosto imamo težave tudi z veliko prometno obremenitvijo, ki bi debelino asfaltnih plasti v voziščni konstrukciji povečevala v neekonomične rešitve. V takšnih primerih se v zmesi kamnitih zrn pod asfaltnimi plastmi pojavljajo tudi večje specifične obremenitve na posamezna zrna v zmesi ali mešanici. Za zmanjšanje le-teh je potrebno tej zmesi dodati vezivo, kajti na ta način dobimo večje stične površine. Občasno nam to omogoča tudi uporabo zmesi zrn iz kamnin, ki so lahko nekoliko slabše kakovosti. Vezana zmes kamnitih zrn zagotavlja tudi povečan raznos obremenitev v odnosu na nevezano in s tem večjo sposobnost premostitve morebitnih lokalnih slabših mest (slika 6).



Slika 6: Raznos obremenitve v voziščni konstrukciji z vezano in nevezano nosilno plastjo
Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije

Stabilizirane (vezane) plasti so bolj nosilne in toge, imajo večji raznos obtežbe ter lahko prevzemajo tudi manjše natezne napetosti. Prezem manjših nateznih napetosti v vezani plasti pa pogojuje tlačna obremenitev materiala v podložni nevezani plasti. Takšno obremenitev je plast sposobna prevzeti brez škodljivih posledic (slika 7). S stabiliziranjem torej izboljšamo pomanjkljive značilnosti razpoložljive zmesi kamnitih zrn lokalnega izvora (kot npr. manj

drobljeni murski prodi). Morebitne večje ali manjše izboljšanje drugih mehanskih značilnosti tako obdelanega material je popolnoma drugotnega pomena, je pa seveda dobrodošlo.



*Slika 7: Prenos vertikalnih obremenitev na stiku vezane in nevezane plasti
Vir: TSC*

4.1 Materiali

4.1.1 Zmes kamnitih zrn

Pri uporabi naravnih in občasno tudi pri drobljenih zmesi zrn je največji problem praviloma v prekomernem deležu drobnih zrn, ki so občutljiva na delovanje mraza. Takšna zmes na mrazu prostorsko ni stabilna, če se lahko navzame vode oz. prihaja v stik z vodo. Kadar ta del voziščne konstrukcije nastopa v coni zmrzovanja, jo je potrebno z dodatkom veziva izboljšati (stabilizirati). Vsaka zmes kamnitih zrn pa ni primerna oz. dodatek veziva ne bi imel pozitivnih učinkov.

Za ustrezno stabiliziranje zmesi zrn z večjim deležem drobnih zrn bi bila potrebna že razmeroma velika količina veziva, ki bi pogojevala neželene lastnosti takšne zmesi oziroma mešanice (npr. prekomerno preoblikovanost pri uporabi bituminoznih veziv ali prekomerno trdnost pri uporabi anorganskih veziv). Za zmes zrn, ki naj bi se stabilizirala, je zelo pomembno, kakšen delež finih delcev le-ta vsebuje. Stabilizirajo se le zmesi zrn, ki ne vsebujejo primesi, ki bi pogojevale uporabo dodatnega veziva.

4.1.2 Veziva

Za stabiliziranje zmesi kamnitih zrn, katerih sestava je nekoliko pomanjkljiva, sta uporabni predvsem naslednji dve skupini veziv:

- organska: - bituminozna
 - naravni asfalt
- anorganska: - cement
 - apno

Praviloma zadostuje za stabiliziranje zrn že razmeroma majhna količina veziva, ki je tudi cenovno ugodna. Izbira veziva je odvisna od namena uporabe tako izboljšane zmesi zrn.

Za organska veziva je značilno, da je uporaba za stabiliziranje nekoliko omejena. Problematična je predvsem zagotovitev dobrega oprijema veziva na onesnažena drobna zrna (prah), ki se pojavljajo v teh kamnitih zmesih zrn, primernih za stabiliziranje. Na ta način je pogojena tudi priprava takšnih mešanic predvsem v stabilnih mešalnih obratih po vročem postopku, kar podraži pripravo. Določene cenovne ovire nastopajo tudi zato, ker naša država ni bogata z nahajališči nafte in se bitumenska veziva namenja predvsem za zgornje dele voziščne konstrukcije.

Za anorganska veziva (predvsem razpoložljive kvalitetne cemente) pa je običajno največji problem, kako dovolj enakomerno vmešati razmeroma majhno količino veziva v pomanjkljivo sestavljeno zmes zrn, da bi bila zagotovljena potrebna majhna trdnost mešanice. Za takšno mešanico iščemo torej sestavljena (kompleksna) veziva, t.j. zmesi cementa in elektrofiltrskega pepela, ki bi v bistveno večji količini od samega cementa zagotovila enakomernejšo mešanico z majhno trdnostjo. Količina cementa mora biti v dopustnih mejah, saj bi prevelika količina negativno vplivala na vgrajeno plast s povečanjem trdnosti. Takšna zmes lahko prevzame večje natezne napetosti in pri krčenju že vgrajene plasti nastane manj razpok, ki pa so širše in jih nadgrajeni material ni vedno sposoben brez reflektiranja prevzeti. Najbolje je, da v vgrajeni plasti nastanejo lasaste razpokice, ki si jih najbolj želimo, le-te pa pomenijo manjšo trdnost.

4.2 Sestava stabilizirane zmesi

Sestavo stabilizirane zmesi moramo predhodno preveriti in določiti ustrezne količine veziva s t.i. predhodnimi sestavami. Na eni strani so torej značilne lastnosti zmesi kamnitih zrn in veziva in na drugi zahtevane lastnosti stabilizirane zmesi oziroma mešanice.

Za sestavo z vezivi stabiliziranih zmesi kamnitih zrn so se v praksi uveljavili predvsem empirični postopki. Pri tem razpoložljiva sestava zmesi kamnitih zrn ostane taka oz. nespremenjena, razen če spremeni dodano vezivo.

Za zagotovitev dovolj širokega območja preverjenih in pogojenih lastnosti stabilizirane zmesi oziroma mešanice od dodanega veziva je potrebno v laboratoriju pripraviti 5 različnih sestav s podobno sestavo zmesi zrn, ki se razlikujejo le v količini dodanega veziva. Te količine morajo biti prilagojene proizvodnji in tehnologiji priprave z vezivi stabiliziranih zmesi ali mešanic. Na podlagi petih laboratorijskih sestav se s pomočjo krivulj določi optimalno količino veziva.

Vsi detajlni podatki, značilnosti ter ostale zahteve za z anorganskimi vezivi (cementom) stabilizirane zmesi kamnitih zrn (cementna stabilizacija) bodo predstavljeni v 5. poglavju. V nadaljevanju bom na kratko predstavil le še z organskimi vezivi stabilizirane zmesi kamnitih zrn.

4.2.1 Z organskimi vezivi

V tem primeru najpogosteje uporabljamo bituminozna veziva. Sestavo stabilizirane zmesi kamnitih zrn določimo pri predhodnem empiričnem postopku po Marshallu. V določenih primerih, ko je zmes kamnitih zrn pomanjkljiva, jo lahko v postopku stabiliziranja tudi popravimo. Najpogosteje takšno zmes pripravimo po vročem postopku.

Na ustrezno temperaturo segretim najmanj petim vzorcem zmesi kamnitih zrn (zrnivosti do 22 mm) je treba dodati in enakomerno vmešati izbrane količine bituminoznega veziva za posamezne sestave stabilizirane zmesi.

Povprečna informativna količina dodanega cestogradbenega bitumna za stabiliziranje zmesi zrn znaša 3 do 3,5%-m. Po že prej omenjenem empiričnem postopku se najmanj trije preizkušanci pripravijo v laboratoriju in nato se ugotavljajo značilnosti pripravljene stabilizirane zmesi, ki so določene v tehnični regulativi (TSC 06:330). Ob tem preverimo tudi mehanske lastnosti, t.j. stabilnost in tečenje po Marshallu.

Ugotovljene lastnosti vnesemo v diagrame v odvisnosti od deleža bituminoznega veziva v zmesi in nato določimo optimalno količino veziva za proizvodnjo stabilizirane zmesi. Večji delež veziva je torej prej škodljiv kot premajhen, zato je vsako odstopanje bolj ali manj nevarno.

Pri določitvi količine organskega veziva moramo biti torej natančnejši kot pri anorganskem vezivu. Organsko vezivo mora zagotoviti zlepljenje zrn, ne pa da stike med njimi »maže« (ob preveliki količini).

Najpogosteje se z bitumenskimi vezivi stabilizirane zmesi zrn (po vročem postopku) vgrajuje v vezane spodnje nosilne plasti voziščne konstrukcije.

Glede na velikost največjih zrn v asfaltni zmesi se za z bitumenskimi vezivi (po vročem postopku) vezane spodnje nosilne plasti (BSNP – bitumenizirana spodnja nosilna plast) uporabljajo naslednje vrste asfaltnih zmesi:

- nazivne zrnivosti 16 mm: BSNP 16
- nazivne zrnivosti 22 mm: BSNP 22
- nazivne zrnivosti 32 mm: BSNP 32

Uporaba posameznih vrst asfaltnih zmesi za vezane spodnje nosilne plasti (BSNP) je za posamezne skupine prometnih obremenitev opredeljena v tabeli 4.

Pogojene debeline asfaltnih plasti v vezanih spodnjih nosilnih plasteh so opredeljene v tabeli 4.

Skupina prometne obremenitve	Vrsta asfaltne zmesi		
	BSNP 16	BSNP 22	BSNP 32
- izredno težka (IT)	-	+	+
- zelo težka (ZT)	-	+	+
- težka (T)	-	+	+
- srednja (S)	+	+	+
- lahka (L)	+	+	-
- zelo lahka (ZL)	+	+	-

Tabela 4: Področje uporabe asfaltnih zmesi za vezane spodnje nosilne plasti v odvisnosti od prometne obremenitve

Vir: TSC

Projektna debelina plasti	Enote mere	Vrsta asfaltne zmesi		
		BSNP 16	BSNP 22	BSNP 32
- najmanj	mm	60	80	100
- največ	mm	90	120	180

Tabela 5: Mejne projektne debeline plasti posameznih zrnivosti asfaltnih zmesi

Vir: TSC

4.3 Proizvodnja in vgrajevanje stabiliziranih plasti z organskimi vezivi

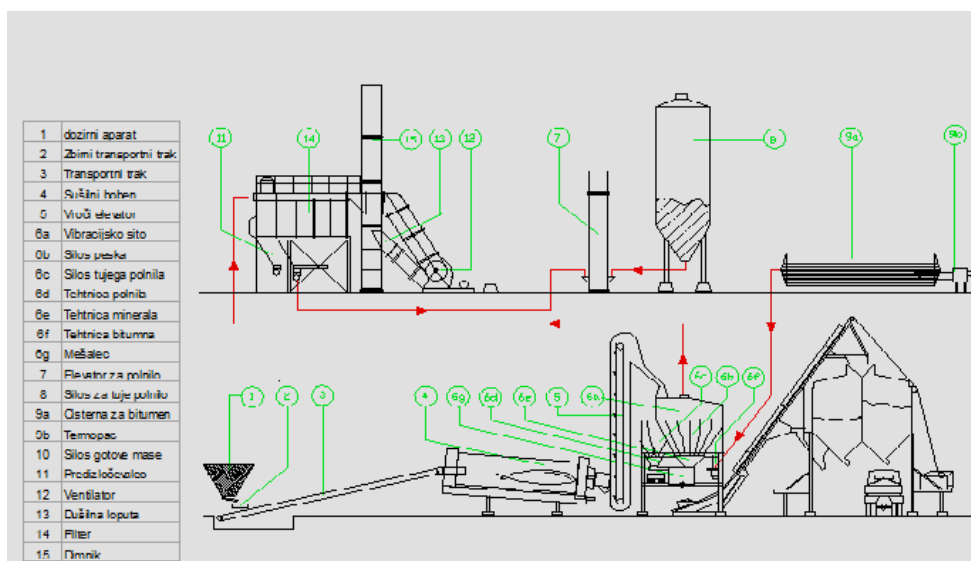
Postopke za proizvodnjo stabiliziranih zmesi in mešanic lahko razvrstimo

- glede na mesto priprave
 - v stabilni (centralni) mešalni napravi (ang. mix in plant) in
 - na mestu vgrajevanja (ang. mix in place),
- glede na način priprave
 - v šaržni (diskontinuirni) postopek in
 - v kontinuirni postopek.

Najkvalitetnejšo proizvodnjo stabiliziranih zmesi je mogoče zagotoviti v stabilni mešalni napravi s šaržnim postopkom. Bistveno slabša je kakovost stabilizirane zmesi s postopkom mešanja na mestu vgrajevanja, ki pa je kontinuiran.

Stabilizacijske mešanice z organskimi vezivi lahko pripravimo tudi po hladnem postopku, ki jo pripravimo z mobilnim strojem na mestu vgrajevanja. Hladno bitumensko vezivo dodajamo v postopku mešanja z napravami, ki so sicer namenjen za doziranje vode pri proizvodnji stabilizirane zmesi z anorganskimi vezivi.

Proizvodnja z bitumenskimi vezivi stabiliziranih zmesi po vročem postopku pa je mogoča le v posebnih stabilnih obratih (stalnih ali mobilnih asfaltnih bazah).



Slika 8: Shematski prikaz asfaltne baze

Vir: TSC

Za proizvodnjo stabilizacijske zmesi je treba praviloma uporabiti mešalne naprave s šaržnim postopkom, pri katerem mora biti zagotovljena točna odmera količine frakcij kamene moke, vročih frakcij kamnitih zrn in bitumna, in sicer s tehtanjem. Bitumen je dovoljeno odmerjati tudi po prostornini, pri čemer je potrebno upoštevati spremembo prostornine (in s tem prostorske mase) v odvisnosti od temperature.

Mešalne naprave s kontinuiranim načinom mešanja (bobenske mešalnike) je dovoljeno uporabiti za proizvodnjo stabilizacijskih mešanic za vezane spodnje nosilne plasti, če se pri dokazni proizvodnji dokaže skladnost kakovosti proizvedene zmesi z zahtevano. Čas mešanja in drugi vplivi na kakovost obvijanja zrn z vezivom oziroma razdelitev veziva v zmesi morajo biti tako naravnani, da je zagotovljena homogena stabilizacijska mešanica.

Proizvodne kapacitete asfaltne mešalne naprave, transportnih sredstev ter vgrajevalne mehanizacije morajo biti medsebojno usklajene.

Vgrajevanje asfaltne zmesi za vezane spodnje nosilne plasti (stabilizacijske mešanice po vročem postopku) mora praviloma potekati strojno s finišerjem, ki poleg razprostiranja vrši tudi delno zgoščanje asfaltne zmesi. Stopnja zgostitve, ki jo finišer (razdelilnik asfaltne zmesi) mora doseči, je najmanj 85 % referenčne gostote laboratorijskega preizkušanca. Pri vgrajevanju asfaltne zmesi je treba zagotoviti odvzem iz koša finišerja, ki omogoča ustrezno enakomerno sestavo in kakovost razprostrte asfaltne zmesi. Izjemoma je dovoljeno tudi ročno vgrajevanje asfaltne zmesi, če zaradi omejenega prostora uporaba strojev ni mogoča.

Sredstva za zgostitev razprostrte plasti morajo biti prilagojena vrsti zmesi in debelini razprostrte plasti, da ne bi poškodovala skeleta zrn.

Asfaltno zmes je dovoljeno vgrajevati samo v ustreznih vremenskih razmerah. Temperatura zraka in podlage mora biti najmanj 0°C. Izjemoma je dovoljena vgradnja asfaltne zmesi na suho in nezmrzjeno podlago v nevetrovnem vremenu pri temperaturah do –3°C.

Če dopuščajo pogoji dela, je treba vgrajevati asfaltno zmes za vezane spodnje nosilne plasti naenkrat v vsej širini vozišča. Če se uporablja za vgraditev več finišerjev z zamikom, razlika v kakovosti vgrajene asfaltne zmesi na območju stika ne sme biti opazna.

Na vgrajeno plast z organskimi vezivi stabilizirano zmes kamnitih zrn je dovoljeno pripustiti promet ali nadgrajevati naslednjo plast šele, ko se je zmes ohladila na primerno temperaturo.

Pri vgrajevanju stabilizirane zmesi kamnitih zrn v več plasteh morajo biti vzdolžni stiki med seboj zamaknjeni najmanj za 10 cm, prečni (delovni) stiki pa najmanj za 50 cm.

4.4 Značilnosti stabiliziranih plasti

Pri odpravi pomanjkljivosti lokalnih sicer neuporabnih ali neustreznih (v našem primeru premalo drobljenih) zmesi kamnitih zrn z vmešavanjem veziva je praviloma gospodaren ukrep.

Ker dodajamo manjšo količino veziva z vgrajeno stabilizirano plastjo ne moremo nadomeščati asfaltne zmesi ali cementno betonske mešanice, ki nastopajo v nosilnih in obrabnih plasteh voziščne konstrukcije. Takšne mešanice namreč ne zagotavljajo vseh ustreznih lastnosti, kot jih imajo prej omenjene plasti v voziščni konstrukciji.

V našem primeru le izboljšamo in korigiramo zmesi kamnitih zrn, ki bi bile pogosto neuporabne, ali pa zagotavljamo potrebne pogoje glede nosilnosti na določenih delih vozišča (vozni pas na AC je bolj obremenjen). V Sloveniji zaradi naravnih danosti in zaradi ugodnih ekonomskih pogojev najpogosteje uporabljamo anorganska veziva (cement) za stabiliziranje kamnitih zmesi zrn.

5 CEMENTNA STABILIZACIJA

Stabiliziranje je postopek, pri katerem se z vmešavanjem veziva (in vode) v obstoječ material in s primerno zgostitvijo pripravljene zmesi ali mešanice trajno poveča odpornost vgrajene plasti proti vplivom prometnih obremenitev ter proti škodljivim klimatskim in hidrološkim vplivom.⁵

Izraz cementna stabilizacija bi lahko opredelili z naslednjo definicijo: *Cementana stabilizacija* je zmes ali mešanica kamnitih materialov enakomerne zrnivosti v voziščni konstrukciji vezanih s hidravličnim vezivom (cementom) z dodatkom vode. Ponavadi se ta plast voziščne konstrukcije nahaja v območju vezane spodnje nosilne plasti (glej sliko 3.1).

Z gostoto prometa in vedno večjimi obremenitvami na naših cestah se zahtevajo takšne izvedbe voziščnih konstrukcij, ki lahko prevzamejo statične in dinamične obremenitve in jih brez posledic prenašajo na nasipe in temeljna tla. S stabiliziranjem kamnitega materiala s cementom se doseže izboljšane strižne karakteristike mešanega materiala (mešanice) in s tem njegovo boljšo sposobnost prevzemanja prometne obremenitve.

Predpisane zahteve za spodnje nosilne plasti (trdnost, gostota, vlaga, zrnavost ...) lahko izboljšamo s stabiliziranjem. S pomočjo stabiliziranja nosilne plasti voziščne konstrukcije zagotovimo materialu, ki ga stabiliziramo, zahtevane lastnosti za vse razrede prometnih obremenitev. Medtem ko so takšne stabilizirane nosilne plasti primerne kot spodnje vezane nosilne plasti predvsem v voziščnih konstrukcijah za težje prometne obremenitve (vozni pasovi na AC), so v voziščnih konstrukcijah za lažje prometne obremenitve lahko vgrajene kot edina vezana nosilna plast.

Pri postopku stabilizacije skušamo doseči, da v materialu ne pride do sprememb v smislu fizikalnih lastnosti in granulacije, ki bi nastali kot posledica utrujenosti oziroma notranje porušitve zaradi prometne obremenitve in vplivov okolja. S stabiliziranjem materiala spremenimo mehanske, fizikalne in kemične lastnosti ter z njim dosežemo večjo trdnost,

⁵ [6], str. 4

manjšo podajnost, zgostitev in odpornost materiala proti zunanjim vplivom in še posebej proti negativnim vplivom vode in vremena.

Vezivo (cement), ki se uporablja za izdelavo stabilizacije, spremeni fizikalne, mehanske in kemične lastnosti materialu (naravni in predelani kamniti material) tako, da se bistveno razlikuje od prvotnega. Tako dosežemo večjo gostoto, tlačno trdnost, togost in s tem večjo obstojnost voziščne konstrukcije.

5.1 Materiali

Stabilizirane (vezane) spodnje nosilne plasti s hidravličnimi vezivi (cementom) – cementna stabilizacija – sestavljajo trije osnovni materiali:

- zmesi kamnitih zrn različnih vrst, naravno in umetno pridobljene;
- hidravlično vezivo (cement): čisti portland cement, portland cement z dodatkom pucolana in/ali žindre in metalurški cement. Uporabna so tudi sestavljena (kompleksna) veziva – npr. cement z dodatkom elektrofiltrskega pepela in apna;
- voda: praviloma je uporabna vsaka naravna pitna voda.

5.1.1 Pridobivanje stabilizirane zmesi

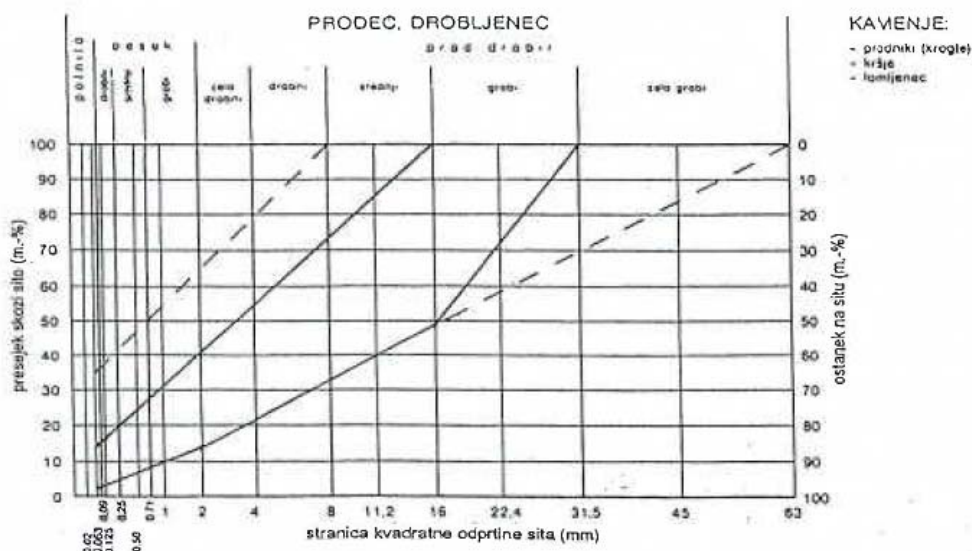
Stabilizacijsko mešanico zmesi kamnitih zrn, cementa in vode je mogoče pripraviti z ustreznim tehnološkim postopkom mešanja na dva načina:

- v centralnem obratu (mix-in-plant) – v betonarni, kjer se mešanica proizvede podobno kot beton, a se pri tem uporabi ustrezno nevezano nosilno plast kot zmes kamnitih,
- na mestu vgrajevanja (mix-in-place oz. in-situ), kar je trenutno najpogosteje uporabljeni postopek pri gradnji AC, ko s posebnim reciklatorjem/stabilizatorjem ob dodajanju vode vmešamo cement v pripravljeno tamponsko plast.

Pri obeh tehnoloških postopkih mora biti mešanje strojno. Zmogljivost opreme za mešanje mora omogočiti enakomerno proizvodnjo potrebne količine homogene mešanice zmesi kamnitih zrn, cementa in vode, ki bo imela po strditvi zahtevane lastnosti.

5.1.2 Sestava zmesi zrn

Za cementno stabilizacijo so primerne vse vrste zmesi kamnitih zrn, ki so navedene pod točko 5.1.3. V zmesi kamnitih zrn je lahko delež zrn velikosti do 0,063 mm, največ (na deponiji) 15 m.-%. Če je ta delež večji, je potrebno preveriti uporabnost zmesi kamnitih zrn s preskusom odpornosti stabilizacijske mešanice proti zmrzovanju in taljenju. Pogojene mejne vrednosti presejkov zmesi kamnitih zrn za nosilne plasti v cementni stabilizaciji so opredeljene na sliki 10 in v Tabeli 6.



Slika 9: Območje sestave zmesi kamnitih zrn za nosilne plasti cementne stabilizacije
Vir: TSC

Sito mm	Mejne vrednosti presejkov		
	od	do (m.-%)	izjemoma do *
0,063	2	15	35
0,25	5	20	42
1,0	10	32	54
2,0	14	42	65
4,0	22	55	78
8,0	33	74	100
16,0	48	100	100
31,5	100	100	100
63,0	100	-	-

* Dopustno samo, če je preverjena uporabnost zmesi kamnitih zrn s preskusom odpornosti stabilizacijske mešanice proti zmrzovanju in tajanju

Tabela 6: Pogojene mejne vrednosti presejkov zmesi kamnitih zrn
Vir: TSC

5.1.3 Vrste zmesi zrn

Za cementno stabilizacijo so uporabne vse vrste kamnitih zmesi zrn, in sicer:

- zmesi zaobljenih zrn,
- zmesi drobljenih zrn iz naravnih in/ali umetnih kamnin ali zelo grobih zaobljenih zrn,
- recikliranih zmesi in
- mešane zmesi zrn.

Na odseku AC Beltinci – Pince je bila na podlagi 3. sklepa 4. sestance »Komisije za murske prode (KPM) predlagana uporaba zmesi kamnitih zrn iz delno drobljenega proda z najmanj 50% drobljenimi zmesi zrn in manj kot 30 % okroglih zmesi zrn. Takšna mešana zmes kamnitih zrn se je stabilizirala tako na območju voznega kot prehitevalnega pasu, saj so bili člani komisije mnenja, da se bodo le na ta način izboljšale pomanjkljive značilnosti zmesi kamnitih zrn iz tega območja. Glavni viri pridobivanja zmesi kamnitih zrn so bile lokalne gramoznice (Dobrovnik, Babinci, Krapje ...), ki so z drobljenjem murskega proda pridobivale zmesi kamnitih zrn za nevezane nosilne plasti.

5.1.4 Lastnosti zmesi kamnitih zrn

Zmes kamnitih zrn za cementno stabilizacijo mora ustrezati naslednjim zahtevam, ki so navedene v Tabeli 7.

Lastnosti kamnitega materiala	Enota mere	Zahtevana vrednost
- tlačna trdnost kamnine zrn, najmanj	MN/m ²	100
- odpornost zrn proti drobljenju, določena po ustreznem postopku Los Angeles:		
- na cestah z zelo težko in težko prometno obremenitvijo, največ	m.-%	30
- na cestah s srednjo ali lažjo prometno obremenitvijo, največ	m.-%	40
- odpornost zrn proti učinkom zmrzovanja, določena s 5 cikli kristalizacijskega preskusa z natrijevim sulfatom, izguba največ	m.-%	10
- vsebnost slabo oblikovanih zrn, določena po postopku I : d ≥ 3 : 1, največ	m.-%	35
- delež zrn velikosti do 0,063 mm, največ (na deponiji)	m.-%	15*

Če je ta delež večji, je treba preveriti uporabnost zmesi kamnitih zrn s preskusom odpornosti stabilizacijske mešanice proti zmrzovanju in tajanju

Tabela 7: Zahtevane lastnosti zmesi kamnitih zrn za cementno stabilizacijo
Vir: TSC

Pred pričetkom del je potrebno pregledati vsako zmes kamnitih zrn, predvideno za uporabo v spodnjo nevezano nosilno plast. V zmesi kamnitih zrn ne smejo biti prisotne primesi ter prevelik delež zrn velikosti pod 0,063 mm, ki bi škodljivo vplival na kasnejšo stabilizirano zmes. Hkrati morajo biti ti deleži v mejah, da se bo proizvedena stabilizacijska mešanica v celoti izpolnjevala in služila svojemu namenu.

Velikost kamnitih zrn v zmesi je praviloma omejena na 32 mm. Vse večja oz. prekomerna zrna je potrebno iz zmesi izločiti še pred pripravo stabilizacijske mešanice.

5.1.5 Fizikalne lastnosti mešanice

Pred izvajanjem del mora izvajalec (zanj notranja kontrola) zagotoviti predhodno (laboratorijsko) sestavo stabilizacijske mešanice iz zmesi zrn, cementa in vode, ki bodo kasneje uporabljeni za vezano nosilno plast. Za vse uporabljene materiale mora izvajalec predložiti certifikate deklariranih lastnosti osnovnih materialov za načrtovani namen uporabe.

Za vsako vrsto zmesi kamnitih zrn je potrebno pripraviti ločeno laboratorijsko sestavo stabilizacijske mešanice, razen če so se v roku manj kot enega leta vsi materiali že uporabili v stabilizacijski mešanici. S predhodno sestavo se preveri naslednje fizikalne lastnosti mešanice:

- vrsto in sestavo zmesi kamnitih zrn,
- laboratorijsko sestavo mešanice,
- optimalno vlažnost in največjo prostorsko maso mešanice,
- enosno tlačno trdnost mešanice po 7. dneh in vremensko obstojnost,
- odpornost mešanice proti zmrzovanju in taljenju ter
- optimalno količino (in vrsto) hidravličnega veziva (cementa).

Za laboratorijsko sestavo s cementom stabilizirane mešanice se pripravi 5 serij mešanic zmesi kamnitih zrn in veziva s po najmanj tremi preizkušanci. Deleže cementa se prilagodi sestavi kamnitih zrn (priporočljiva razlika med deleži je od 0,3 m.-% do 0,5 m.-%). Približna srednja vrednost za srednje zrnato kamnito zmes znaša približno 2 m.-%. Mešanica naj se pripravi z ustrežno mešalno napravo in celoten postopek je potrebno zaključiti pred hidratacijo veziva. Če

se lastnosti zmesi kamnitih zrn ali veziva cementa bistveno spreminjajo, da vplivajo na stabilizacijsko mešanico, je potrebno ves postopek ponoviti.

Optimalno vlažnost in največjo prostorsko maso mešanice je potrebno določiti po ustreznem modificiranem postopku po Proctorju. Količina veziva in zmesi kamnitih zrn morata ustrezati srednji količini, ki je bila uporabljena v laboratorijskih preiskavah.

Enoosno tlačno trdnost se določi na najmanj treh standardnih preizkušancih (valjaste oblike) za vsako stabilizacijsko mešanico posebej. Pripravljeni morajo biti z optimalno količino vode in zgoščen po standardnem postopku po Proctorju do povprečno 100 %-ne in najmanj 97 %-ne zgoščenosti. Preskus se izvaja na preizkušancih, ki so bili 7 dni v vlažni komori (s 100 %-no vlago in na temperaturi približno 20°C, pred preskusom pa 4 ure potopljene v vodi). Povprečna enoosna tlačna trdnost treh valjastih preizkušancev za določitev predhodne sestave mešanice mora praviloma znašati po sedmih dneh 3,5 MN/m², najmanjša posamična vrednost 2,5 MN/m², priporočena največja vrednost pa ne več kot 4,5 MN/m².

Vremenska obstojnost cementne stabilizacije je določena z razmerjem tlačnih trdnosti mokre in suhe mešanice po sedmih dneh, in mora znašati $\geq 0,7$.

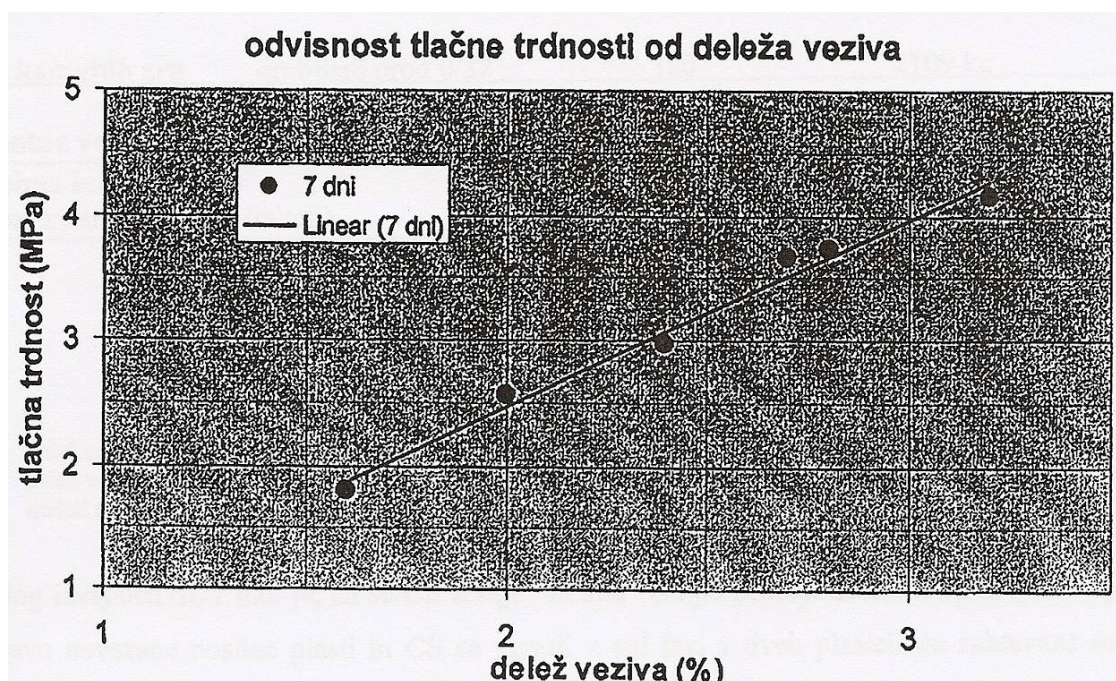
Odpornost mešanice proti zmrzovanju in taljenju je potrebno preveriti:

- če zmes kamnitega materiala vsebuje
 - več kot 15 m.-% zrn manjših od 0,063 mm in/ali
 - več kot 10 m.-% krhkih zrn ali
- če je bilo s predhodno laboratorijsko sestavo mešanice ugotovljeno, da je potrebna količina dodanega veziva (cementa) manjša od 2 .-%.

Preskus se izvrši z najmanj po tremi preizkušanci v treh serijah z različnim deležem veziva. Preizkušanci morajo biti pripravljeni z optimalno količino vode in zgoščen po standardnem postopku po Proctorju do najmanj 100 %-ne zgoščenosti. Po standardnem postopku se nato preizkušance po 7-dnevem ležanju v vlažni komori izpostavi 12 ciklom zmrzovanja in taljenja. Nato se jim določi enoosno tlačno trdnost.

Razmerje povprečnih vrednosti enosnih tlačnih trdnosti preizkušancev, izpostavljenosti zmrzovanju in taljenju ter preizkušancev, izpostavljenih po enakem času vzdrževanja samo po postopku za določitev osnovne enosne tlačne trdnosti, je označeno kot količnik odpornosti mešanice proti zmrzovanju. Ta količnik mora znašati najmanj 0,7.

Optimalno količino cementa v stabilizacijski mešanici je treba za zahtevano enosno tlačno trdnost določiti s konstrukcijo diagrama odvisnosti pri preskusih ugotovljenih enosnih tlačnih trdnosti cementne stabilizacije od deleža vsebovanega hidravličnega veziva.



*Slika 10: Grafični prikaz odvisnosti enosne tlačne trdnosti pri starosti 7 dni od deleža veziva
Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije*

Najmanjša priporočena količina dodanega cementa za pripravo mešanice je 50 kg/m^3 zmesi kamnitih zrn.

Uporaba manjše količine je dopustna, če je predhodno dokazano enakomerno vmešavanje veziva v zmes kamnitih zrn in zagotovljena pogojena minimalna enosna tlačna trdnost oziroma odpornost stabilizacijske mešanice proti zmrzovanju.

5.1.6 Kemijske lastnosti cementa in vode

Lastnosti *cementa* za stabilizacijske zmesi, ki so uporabljene v vezane spodnje nosilne plasti, morajo ustrezati zahtevam, ki so razvidne iz Tabele 8.

Lastnosti cementa	Enota mere	Zahtevana vrednost
- finost mletja (ostanek na situ 0,09 mm), največ	m.-%	10
- specifična površina po Blaineu, najmanj	m ² /kg	240
- čas vezanja:		
- začetek, ne prej	h	1
- konec, ne pozneje	h	10
- potrebna voda za standardno konsistenco, največ	m.-%	31

Tabela 8: Zahtevane lastnosti cementa za stabiliziranje zmesi kamnitih zrn za nosilne plasti

Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije

Voda za pripravo stabilizacijskih mešanic za cementno stabilizacijo mora ustrezati pogojem in zahtevam, ki so navedene v Tabeli 9.

Lastnosti vode	Enota mere	Zahtevana vrednost
- vrednost pH, najmanj	-	6
- vsebnost sulfatov (SO ₄), največ	mg/l	2700
- vsebnost klorovih ionov, največ	mg/l	300
- vsebnost soli (suhi ostanek), največ	mg/l	500

Tabela 9: Zahtevane lastnosti vode za s cementom stabilizirane zmesi kamnitih zrn za nosilne plasti

Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije

5.2 Kakovost izvedenih del

Pred pričetkom obratovanja strojev in naprav, od katerih je odvisna kakovost cementne stabilizacije, je potrebno preveriti njihovo ustreznost za zagotovitev enakomerne kakovosti po

zahtevah, ki jih predpisuje tehnična regulativa in naročnik. Ravno tako mora tudi za vse materiale, ki jih bo izvajalec uporabil pri cementi stabilizaciji, predhodno predložiti vso potrebno dokumentacijo (certifikati, izjave o skladnosti ...). Vse organizacijske zadeve in natančna navodila o poteku del ter o pripravi predhodnih preiskav je potrebno zajeti v tehnološki elaborat izvedbe del za cementno stabilizacijo.

5.2.1 Tehnološki elaborat

Tehnološki elaborat za izvedbo cementne stabilizacije je sicer sestavni del Tehno-ekonomskega elaborata za izvajanje vozične konstrukcije. V ožjem smislu diplomskega dela bo na kratko predstavljen le tehnični del z opisom tehnologije izvedbe cementne stabilizacije za odsek AC Lendava – Pince, sklop A.

Izvajalec del je dolžan najmanj 7 dni pred pričetkom izvedbe del predložiti nadzornemu organu (inženirju) in njegovim strokovnim službam tehnološki elaborat, v katerem so natančno opredeljene sledeče vsebine:

- predhodna sestava stabilizacijske mešanice,
- dokazila o kakovosti vseh materialov,
- način vgrajevanja,
- program notranje in zunanje kontrole,
- preverjena strojna oprema (mehanizacija), ki po zmogljivosti ustreza zahtevam projekta in tehnične specifikacije,
- shema organizacije gradbišča.

S predhodno sestavo mora izvajalec predložiti tudi vsa ustrezna dokazila o izvoru in kakovosti vseh osnovnih materialov, ki jih bo uporabljal pri postopku cementne stabilizacije.

Po potrjenem tehnološkem elaboratu s strani nadzornega organa (inženirja) mora izvajalec z **dokaznim vgrajevanjem** (testno polje) dokazati, da je s predvidenimi osnovnimi materiali in izbranim postopkom mešanja in vgrajevanja mogoče doseči zahtevano kakovost, ki v osnovi ne odstopa od rezultatov preiskav predhodne potrjene sestave.

Pri dokaznem vgrajevanju, kot tudi pri kasnejšem rednem izvajanju stabilizirane zmesi kamnitih zrn s hidravličnim vezivom, mora biti prisotna pooblaščen institucija v sklopu zunanje kontrole, ki z ustreznimi preiskavami na odvzetih vzorcih preveri kakovost izvedbe, kar je najrealnejše merilo za ugotovitev kvalitete izvedenega stabiliziranja.

Med izvedbo testnega polja se kontrolira:

- homogenost mešanice;
- vlažnost mešanice;
- določitev števila prehodov komprimacijskih sredstev (valjar);
- količina dodanega veziva na betonarni;
- odvzem vzorcev iz testnega polja za določanje granulometrične analize, enosnih tlačnih trdnosti in vremenske obstojnosti;
- negovanje stabilizacijske mešanice;

Izvajalec lahko prične redno izvajanje cementne stabilizacije, ko dobi potrjeno ustreznost rezultatov preveritve dokazne izvedbe.

5.2.2 Zahteve pri izvedbi

Ne glede na vrsto prometne obremenitve in ostalih značilnosti voziščne konstrukcije mora biti kakovost cementne stabilizacije vseskozi dosežena v enaki meri. Za dosego ustrezne kvalitete morajo biti izpolnjene naslednje zahteve:

- delež cementa v mešanici se lahko razlikuje od določenega na osnovi predhodne sestave za največ 10 % (relativno),
- delež vode v vgrajeni cementi stabilizaciji je lahko 1,5 m.-% večji od optimalnega, določenega po modificiranem postopku po Proctorju pri predhodni sestavi.

Ostali pogoji pri izvedbi vgrajevanja so še:

- izvajati pri temperaturi nad 5°C in v vremenu brez padavin;
- stabilizirana plast mora biti izvedena s primernim prečnim in vzdolžnim nagibom;
- nega stabilizirane plasti po zgostitvi mora biti najmanj sedem dni;

- po stabilizirani plasti ni dovoljeno voziti najmanj sedem dni;
- minimalna debelina stabilizirane plasti mora biti najmanj 2,5-kratni premer največjega zrna agregata;
- debeline pod 15 cm niso priporočljive;
- stabilizirana plast mora segati najmanj 20 cm izven zunanjega roba nadgradnje plasti.

5.2.3 Meritve

Za kontrolo kakovosti vgrajene plasti cementne stabilizacije se izvaja kontrole zgoščenosti vgrajene plasti, enosno tlačno trdnost, višino, ravnost in debelino plasti. Osnova za preverjanje kakovosti izvršene cementne stabilizacije je opredeljena z rezultati predhodnih preiskav, projektantskih pogojev ter vrednostmi, ki so bile predmet tehnične specifikacije. Kontrolo kakovosti se praviloma izvede z notranjimi in zunanjimi preskusi.

5.2.4 Zgoščenost vgrajene mešanice in enosna tlačna trdnost

Glede na predhodno sestavo stabilizirane mešanice po Proctorjevem postopku mora *zgoščenost* vgrajene mešanice znašati:

- | | |
|--------------------------|--------------|
| • povprečno | 97 % po MPP |
| • spodnja mejna vrednost | 94 % po MPP |
| • zgornja mejna vrednost | 100 % po MPP |

Meritve zgoščenosti opravimo z ustrezno umerjenimi izotopskimi sondami za merjenje gostote in vlažnosti po TSC 06.711.

Tlačna trdnost preizkušancev stabilizirane mešanice vgrajene v spodnjo nosilno plast mora praviloma znašati po sedmih dneh:

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| • povprečno | 3,5 MN/m ² |
| • spodnja mejna vrednost | 2,5 MN/m ² |

- zgornja mejna vrednost $4,5 \text{ MN/m}^2$

Na podlagi odvzetih vzorcev na terenu nato v laboratoriju pripravimo preizkušance po postopku, kot je opisan za pripravo vzorcev in nato izvedemo preskuse tlačnih trdnosti po standardnem postopku.

5.2.5 Ravnost, višina in debelina

Odstopanje planuma vgrajene plasti cementne stabilizacije po položeni 4 m letvi lahko znaša največ 15 mm.

Višina vgrajene plasti sme od načrtovane nivelete odstopati največ $\pm 15 \text{ mm}$.

Debelina zgrajene cementne stabilizacije lahko odstopa največ $\pm 10 \%$, samo na posameznem mestu je lahko do 30 mm manjša od načrtovane.

5.2.6 Nega vgrajene cementne stabilizacije

Za preprečitev prehitrega izsuševanja zmesi in s tem doseganja dovolj dolgega časa za vezavo cementa se na izdelano plast cementne stabilizacije izvede pobrizg z nestabilno bitumensko emulzijo (najpogostejše uporabljen postopek), pri kateri se mora doseči neprekinjen film bitumna. Pobrizg ne sme biti manjši od $0,8 \text{ kg/m}^2$. Vgrajeno plast je mogoče tudi najmanj tri dni negovati z vlaženjem.

Pred prehitrim izsuševanjem vgrajene plasti se lahko zaščitimo še:

- s pobrizgom z ustrezno nestabilno bitumensko emulzijo in takojšnjim posipom z drobirjem zrnivosti 2/4 mm, če mora biti zagotovljena takojšnja prevoznost zgrajene plasti – pri tem je potrebno posuti drobir z valjanjem vtisniti v podlago;
- s prekritjem z materialom, ki zadržuje vodo (juta, polst) ali
- s prekritjem s folijo, ki preprečuje izhlapevanje vode.

Nega ni potrebna, če se takoj po vgradnji cementne stabilizacije nadaljuje z nadgradnjo (izvedbo naslednje plasti voziščne konstrukcije). To je mogoče, če na planumu cementne stabilizacije ne nastanejo vtiski ali se plast prekomerno ne preoblikuje.

Pri delu v zimskih razmerah je potrebno zagotoviti, da vgrajena zmes doseže potrebno enoosno tlačno trdnost pred zmrzovanjem, ali pa jo pred mrazom zaščitimo s takojšnjo nadgradnjo.

Gradbiščni promet praviloma lahko pripustimo potem, ko je razpadla bitumenska emulzija. Ostali promet (javni) pa je mogoče pripustiti šele potem, ko vgrajena plast doseže zahtevano enoosno tlačno trdnost, t.j. praviloma najmanj sedem dni po vgraditvi.

5.2.7 Potrebna mehanizacija

V skladu z zahtevami in navodili tehnične specifikacije je potrebno na gradbišču zagotoviti ustrezno mehanizacijo, ki bo sposobna zagotoviti kontinuirano, enakomerno, homogeno in stalno kakovostno izvedbo. V času dokazne proizvodnje oz. vgrajevanja na testnem polju mora sodelovati enaka oprema in mehanizacija, ki bo nato redno izvajala cementno stabilizacijo. V nasprotnem primeru je potrebno dokazno vgrajevanje ponoviti.

Na gradbišču za vgradnjo po »in-situ« postopku je potrebna naslednja mehanizacija:

- *Vozila:*
 - samohodni stroj (kamion) za pobrizg bitumenske emulzije in
 - avtocisterna za vodo.
- *Stroji:*
 - greder,
 - valjar na gumi kolesih,
 - vibracijski valjar,
 - reciklator / stabilizator,
 - traktor za vleko posipalca in
 - posipalec za cement.

Pri postopku »mix in plant« pa je potrebna naslednja mehanizacija:

- *Vozila:*
 - samohodni stroj (kamion) za pobrizg bitumenske emulzije,
 - kamioni prekucniki.
- *Stroji:*
 - finišer,
 - valjar na gumi kolesih,
 - vibracijski valjar.

5.3 Preverjanje kakovosti izvedbe cementne stabilizacije

Osnovne zahteve za kontrolo kakovosti so podane s tehnično specifikacijo oz. veljavno tehnično regulativo, ki jo predpiše naročnik v svojih razpisnih pogojih.

Praviloma se kakovost izvedene cementne stabilizacije preveri z notranjimi in zunanjimi preskusi.

5.3.1 Notranja kontrola

Notranjo (lastno) kontrolo mora izvajalec del izvesti sam ali po njegovem naročilu pooblaščen institucija, da se ugotovi, ali kakovost uporabljenih osnovnih materialov, proizvedene cementne stabilizacije in izvršenega dela ustreza pogojem, določenim v pogodbi. Kontrola se izvaja po minimalnem obsegu preiskav materiala in vgrajene plasti, ki je predpisana s tehnično regulativo. Le-ta se mora izvajati redno in stalno ter mora biti v pomoč izvajalcu. Po določenem dogovoru mu pripravlja predhodne preskuse in sledi poteku del.

Če se ugotovi, da rezultati notranjih preskusov v večji meri odstopajo, je potrebno minimalni obseg notranjih preskusov povečati. Vseskozi mora notranja kontrola o svojih ugotovitvah in rezultatih poročati inženirju in zunanji kontroli ter v primeru odstopanja ustrezno ukrepati. Stroški notranje kontrole bremenijo izvajalca.

5.3.2 Zunanja kontrola

Zunanjo kontrolo praviloma izvaja naročnik del ali po njegovem naročilu pooblaščen inštitucija. Obseg preiskav je določen s pogodbo, ki je pripravljena v skladu z minimalnimi obsegi preiskav in preskusov, ki so določeni v tehnični regulativi za posamezen sklop ali del, na katerega se kontrola nanaša. Poleg tega mora zunanja kontrola preverjati pravilnost delovanja notranje kontrole izvajalca del.

Obseg zunanjih preskusov in pregledov je praviloma v razmerju 1:4 s preskusi in pregledi notranje kontrole. Po preskusu obeh kontrol in po pozitivnih rezultatih obeh se lahko nadaljuje z deli. Na koncu del notranja kontrola posreduje zunanji kontroli poročilo o izvedenih preskusih, ta pa pripravi končno poročilo o izvedeni kontroli vgrajevanja in preskušanih materialih. Stroški zunanjih preskusov praviloma bremenijo naročnika. Rezultati zunanjih preskusov so osnova za oceno kakovosti del.

6 POSTOPKI IZVEDBE CEMENTNE STABILIZACIJE

Pri obeh tehnoloških postopkih priprave in vgrajevanja stabilizirane mešanice je bistvena zahteva, da mešanje veziva in dodanega kamnitega materiala ter vode poteka **strojno**, ker se edino tako lahko doseže čim boljšo homogenost stabilizirane mešanice.

Med postopki vgrajevanja je potrebno upoštevati naslednje:

- posamezne faze dela si morajo slediti čim hitreje,
- vlažna stabilizirana zmes ne sme ležati nepremešana nikoli več kot tri četrt ure,
- pri počasnejšem mešanju (zaradi morebitnih okvar) mora biti zgoščevanje boljše.

Pred vgrajevanjem stabilizacijske mešanice je potrebno temeljito poznavanje specifičnih lastnosti in učinkov posameznih veziv, prav tako pa tudi poznavanje vrste materiala in njegovega obnašanja v različnih pogojih. Zavedati se je treba, da se postopka stabiliziranja zaradi cenenosti ne sme podcenjevati, kajti z majhnimi količinami veziva je potrebno doseči zahtevane trdnosti in stabilnosti.

6.1 Opis postopkov vgrajevanja stabilizirane mešanice

Mix-in-plant je postopek, kjer se v stacionarni mešalni napravi, t.j. betonarni, strojno zmeša zmes kamnitih zrn, veziva in vode. Postopek mešanja mora biti izveden v šaržnem ali pretočnem mešalniku. Neposredno na betonarni se kontrolira homogenost, količina dodanega veziva in pa vlažnost mešanice, ki pa mora biti nekoliko nad optimalno, da bi bila vezivu po vgraditvi zagotovljena še potrebna voda za vezanje. Nato se z vozili za prevoz stabilizirane mešanice, ki so opremljeni s ponjavami, da je mešanica zaščitena pred zunanjimi vplivi, prepelje na mesto vgraditve.

Polaganje se vrši z razdelilnikom ali finišejem, da se zmanjša nevarnost segregiranja, ki mora zagotoviti najmanj 80%-no zgoščenost. S finišejem se doseže v največji meri tudi zahtevano ravnost in debelino plasti. Če se cementno stabilizacijo vgrajuje v dveh plasteh, potem se lahko prvo plast (spodnjo) razprostre tudi z grederjem ali buldozerjem. Pri vgrajevanju cementne

stabilizacije v dveh plasteh morajo biti vzdolžni stiki na plasteh med seboj zamaknjeni za najmanj 20 cm, prečni (delovni) stiki pa za najmanj 50 cm.

Dokončna zgoščenost se nato doseže s potrebnim številom prehodov valjanja (komprimiranja), da se doseže čim enakomernejša zgoščenost po celi širini. Zagotoviti je potrebno tudi zgoščenost ob robu vgrajene plasti, ki včasih predstavlja največji problem pri vgrajevanju.

Kontrola zgoščenosti in vlage se meri po neporušnem postopku z izotopsko sondo po končanem zgoščevanju z valjarjem na poljubno določenih mestih. Najmanj sedem dni po izvršenem stabiliziranju je potrebno vgrajeno plast ustrezno negovati z vlaženjem ali pa z ustreznim postopkom zaščititi pred izsuševanjem (pobrizg), da se tako v plasti vzdržuje potrebna vlaga za hidratacijo.



*Slika 81: Razdelilnik ali finiŝer
Vir: lasten vir*



*Slika 92: Gumi valjar
Vir: lasten vir*

Mix-in-place (»in-situ«) postopek meŝanja in polaganja stabilizirane meŝanice na mestu vgrajevanja se je razvil iz predpostavke, da je stacionarna meŝalna naprava (betonarna) preveč oddaljena od načrtovanega mesta vgrajevanja.

Ta tehnoloŝki postopek omogoča meŝanje in vgrajevanje na mestu vgrajevanja (trasa), s tem pa je omogočeno, da si faze dela sledijo hitreje, kar pri zelo oddaljenih betonarnah ni mogoče, saj bi se že med transportom z vozili začela faza vezanja, zaradi tega pa bi bila onemogočena zahtevana kvaliteta vgraditve in zgoščevanja.

6.1.1 Izvedba s cementom stabilizirane nosilne plasti drobljenca (»in situ«)

Na obravnavanem odseku AC Lendava – Pince, sklop A se je pretežni del vgrajevanja cementne stabilizacije izvedel po postopku na mestu vgrajevanja (»in-situ«). Zaradi spremenjenih pogojev in izvedbe voziščne konstrukcije, ko izvajalci niso bili sposobni pridobiti zadostne količine delno drobljenega murskega proda z min. 70 % deležem drobljenih zrn ($C_{70/10}$), se je v nevezano nosilno plast vgrajeval delno drobljeni murski prod z min. 30 % ($C_{50/30}$) deležem drobljenih zrn. Zaradi slabše kakovosti vgrajenega delno drobljenega proda v nevezano nosilno plast je bil sprejet pogoj, da se poveča debelina cementne stabilizacije iz 20 na 25 cm in izvede stabiliziranje zmesi kamnitih zrn na voznem in prehitevalnem pasu.

Zaradi kratkih rokov izgradnje je bil uporabljen način priprave mešanice na mestu vgradnje s posebnimi stroji – frezami. Postopek je v nadaljevanju podrobno predstavljen.

Na že pripravljen tamponski sloj iz drobljenca, ki je zgoščen, utrjen in prevzet s strani notranje in zunanje kontrole, se s strojem za posip cementa izvede doziranje (posip) potrebne količine veziva (cementa). Posip mora biti izveden enakomerno in po celi širini v enaki količini (debelini), kot je bilo določeno s predhodnimi preskusi. Zatem se po razprostrtem vezivu zapelje rezkalnik ali freza, ki po celotni debelini (25 cm) tamponskega sloja premeša zmes kamnitih zrn, veziva in vode, ki jo kontrolirano dodaja glede na optimalno vlažnost mešanice. Prvi prehod rezkalnika pa naj bi se izvedel po razprostrtem vezivu brez dodajanja vode, zaradi lažje zagotovitve optimalnega deleža vode pri nadaljnjem vgrajevanju – to pa zato, ker je vlažnost tamponskega sloja različna glede na vremenske pogoje in čas izvedbe vgrajevanja.

Med mešanjem materiala se preko razpršilnih šob na mletvenem bobnu dovaja voda, ki je potrebna za doseganje optimalne vlažnosti. Potrebno količino vode se določi s predhodnimi preskusi merjenja vlage na vgrajenem tamponskem sloju tako, da se ugotovi razliko med optimalno vlago po Proctorju predhodnih preskusov in naravno vlažnostjo vgrajenega materiala. Voda se na stroj dovaja preko cisterne za vodo, ki jo stroj potiska pred sabo.

Rezkalnik izvaja mešanje v zaporednih pasovih s preklopi, širokimi najmanj 20 cm. Nadaljnje faze zgoščevanja in kontrole kvalitete vgrajevanja so identične kot pri polaganju stabilizirane mešanice z razdelilnikom ali finišejem.



Slika 103: Posip s cementom
Vir: lasten vir



Slika 114: Rezkalnik ali freza
Vir: lasten vir



Slika 125: Pobrizg z bitumensko emulzijo
Vir: lasten vir



Slika 136: Meritve z izotopsko sondo
Vir: lasten vir

6.2 Priprava in ureditev mesta vgrajevanja

Pred pričetkom vgrajevanja cementne stabilizacije je potrebno zagotoviti, da je nevezana nosilna plast pripravljena in urejena v skladu z zahtevami iz projekta, posebnimi tehničnimi pogoji in tehnično specifikacijo za nevezano nosilno plast (zadostna zgoščenost, nosilnost, ravnost ...). Preveriti je potrebno morebitna šibka mesta in določiti potrebne ukrepe za odpravo le-teh.

Vsako odstopanje od kvalitete vgrajene spodnje nevezane nosilne plasti je potrebno predhodno sanirati. Vgradnja cementne stabilizacije se lahko prične le z odobritvijo nadzornega inženirja, ko so odpravljene vse pomanjkljivosti. Pred začetkom del mora imeti izvajalec na gradbišču

vso potrebno mehanizacijo in zadostne količine materiala, da se lahko zagotovi nemotena in kontinuirana vgradnja.

Oba postopka vgradnje zahtevata svoj pristop dela, ki se v zaključni fazi (zgoščevanje) ne razlikujeta bistveno. Glede na izkušnje, ki jih imam, lahko ocenim, da je postopek mešanja v betonarni in vgradnja že utečen postopek in se na ta način zagotavlja razmeroma homogena stabilizacijska mešanica. Občasno prihaja pri tem postopku do slabše zgoščenosti vgrajene stabilizacijske mešanice ob robovih in prekomernega doziranja cementa v betonarni, ki ima lahko za posledico preveliko togost.

Postopek mešanja »in-situ« s posebnimi frezami se je pokazal za učinkovit, cenovno ugoden in hiter postopek izvedbe. Nekoliko se pri tem pojavljajo težave z doseganjem homogenosti vgrajene stabilizacijske mešanice, tako v prečni kot vzdolžni smeri. Predvsem se ta pojav izrazito pojavlja pri vgradnji poleti in v suhem obdobju, ko se vlaga v nevezani nosilni plasti zelo hitro znižuje (suši). Ob izvedbi so opažene težave zagotavljanja homogene vgradnje, ki se kažejo v pasovih različne vlažnosti, zgoščenosti in segregacije materiala. Največkrat je bilo to opaženo predvsem pri uporabi reciklatorja firme Wirtgen in zelo malokrat pri uporabi freze Bomag. To je zagotovo posledica malo slabšega vzdrževanja stroja, predvsem območja za dozacijo vode (»šobe«). Delno se je ta zadeva odpravila tudi s predhodnim dobrim navlaženjem nevezane nosilne plasti v celotni globini in skrbnejšo izvedbo vgrajevanja (grederiranje in zgoščanje).

6.3 Varovanje okolja

Izvajalec del mora poskrbeti tudi za ustrezno varovanje okolja in okolice. Posebni ukrepi za varovanje okolja za ta dela sicer niso predvideni, vendar je potrebno poskrbeti, da se izključi vsakršna možnost, ki bil lahko škodljivo vplivala na okolje in zdravje ljudi (razlitje nafte, olja ...). Dela je potrebno izvajati v nevetrovnem vremenu, saj bi lahko veter odnašal cement v bližnjo okolico.

7 REZULTATI LABORATORIJSKIH PREISKAV CEMENTNE STABILIZACIJE NA OBRAVNAVANEM ODSEKU

Na obravnavanem odseku AC Lendava – Pince, sklop A je naročnikovo – zunanjo kontrolo izvajala pooblaščen inštitucija ZAG Slovenije. Pri izvedbi cementne stabilizacije so bili v skladu s programom povprečne pogostosti preiskav za cementno stabilizacijo štirikrat odvzeti vzorci pripravljene stabilizacijske mešanice. V laboratoriju so bile nato izvedene preiskave:

- določitev naravne vlažnosti W (%); SIST-TS CEN/TS 17892

Vlažnost vzorca je določena s sušenjem v sušilniku pri $T = 100\text{--}105\text{ }^{\circ}\text{C}$ najmanj 24 ur.

- določitev zrnastostne sestave (C_u , C_c), SIST EN 933-1

Zrnastostna sestava materiala nad $0,063\text{ mm}$ je določena s sejanjem na s standardom določenih sitih, delci pod $0,063\text{ mm}$ pa s sedimentacijsko metodo z areometrom.

- enoosna tlačna trdnost q_u (kN/m^2), JUS U.B1.030

Enoosna tlačna trdnost je določena z merjenjem trdnosti materiala pri osni vertikalni kompresiji, z omogočenim bočnim širjenjem materiala. Vse enoosne tlačne trdnosti so bile določene na preizkušancih v obliki valja. Iz deformacijske krivulje se izračuna module elastičnosti E , kot povprečne module elastičnosti, po priporočilih ISRM.

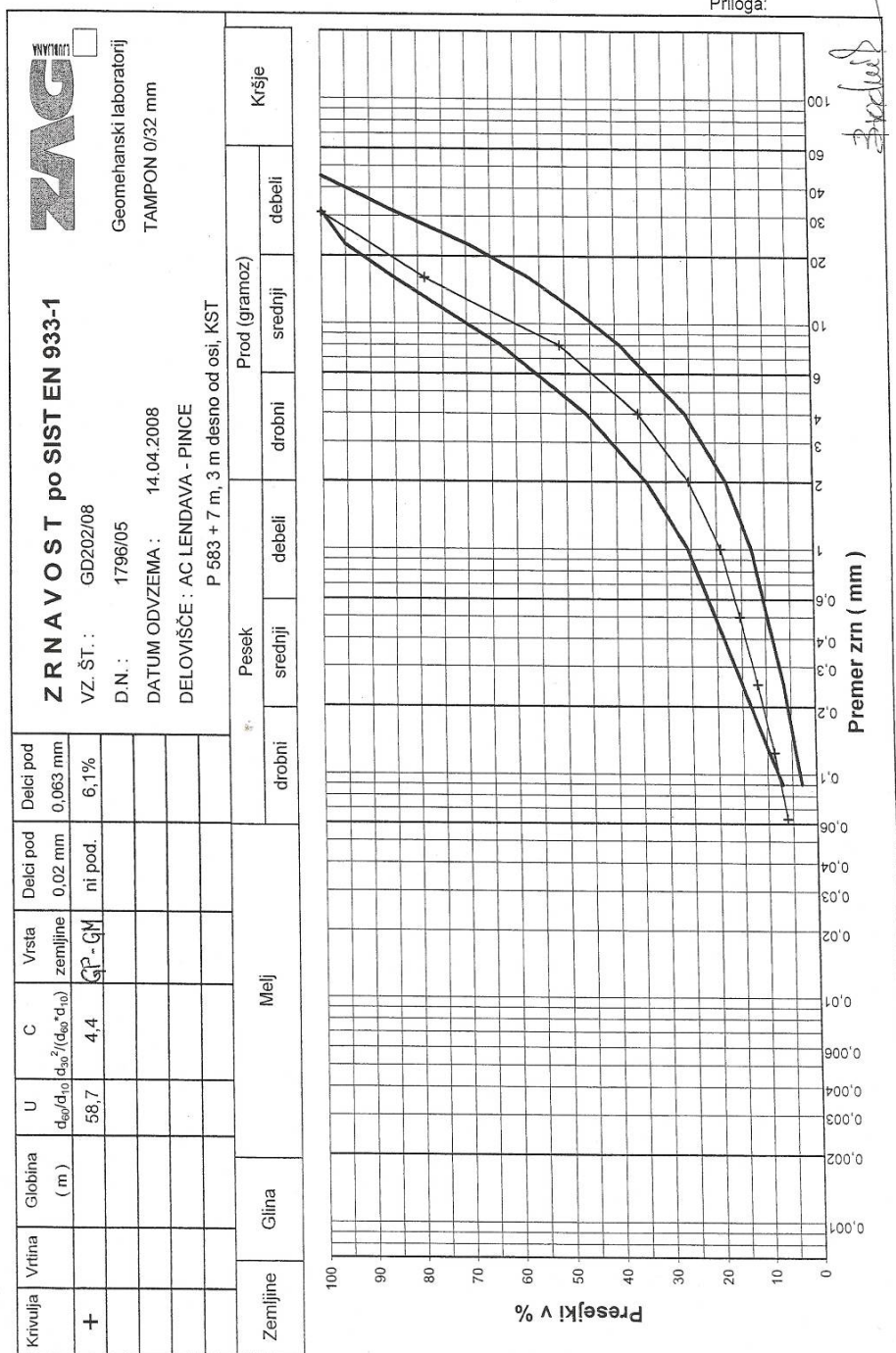
V nadaljevanju so prikazani rezultati laboratorijskih raziskav na dveh lokacijah, in sicer:

- Lokacija A: Trasa P583+7m; 3mL od osi AC;
- lokacija B: Trasa P288, leva stran od osi AC.

Najprej je v tabeli predstavljen zbirnik rezultatov preiskav in nato še grafični prikaz zrnastosti za oba primera ter zbirno tabela laboratorijskih preiskav enoosne tlačne trdnosti za vsako območje posebej.

Zap. št.	Datum odvzema	Lokacija	Vrsta materiala	Klasifikacija U.S.C.S.	Zrnastost			Zgoščenost mešanice			Tlačne trdnosti, vremenska obstojnost, po 7 dneh			OPOMBE
					U	C	<0,063 mm	W	$\rho_{d\ mpp}$	$\rho_{d\ 3*75}$	Tlačna trdnost 7d (MPa)	Tlačna trdnost 7d (MPa)	R (qM/qS) 7d	
							%	%	kg/m ³	kg/m ³				
1	14.4.2008 GD 202/08	TRASA P 583+7m, 3m desno od os AC (izvajalec SCT)	drobljen prod + cement	GP-GM	58,7	4,4	6,1	5,05	2357	2252	4,2 namočen 4h	4,4 suh	0,9	USTREZA
2	19.06.2008 GD363/08	TRASA P288, LEVA STRAN, celotna širina (izvajalec SCT za CPL)	drobljen prod + cement	GP-GM	43,47	6,0	5,3	4,83	2322	2241	3,02 namočen 4h	4,4 suh	0,7	USTREZA

Tabela 10: Zbirnik rezultatov laboratorijskih preiskav na lokaciji A in B
Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije



Slika 147: Zrnastostna sestava vzorca, odvzetega na lokaciji A
Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije



Vzorec št.: GD202/08

Delovišče: AC LENDA VA - PINCE

Mesto odvzema : P 583 + 7 m, 3 m desno od osi, KST

Vrsta materiala : drobljen prod + cement

Datum odvzema : 14.4.2008

Izvajalec : SCT

Naročnik : 710

D.N. : 1796/05

TABELA S PODATKI O PRESKUŠANCIH OB ZGOŠČEVANJU

Preskušane	Zgoščenost po	Teža valja in vl. mat. (g)	Teža valja (g)	Teža vlaž. materiala (g)	Volumen valja cm ³	Prost. masa mokra kg/m ³	Prost. masa suha kg/m ³
1	3*75	10731	4434	6297	2653	2374	2259
2	3*75	10586	4312	6274	2653	2365	2251
3	3*75	10536	4257	6279	2665	2356	2243
4	3*75	10520	4247	6273	2649	2368	2254
5	MPP	-	-	5508	2265	2432	2315

Vlažnost preskušancev ob zgoščevanju po 3*75 in MPP W = 5,05 %

Povprečna zgoščenost preskušancev po 3*75 $\rho_d = 2252 \text{ kg/m}^3$ 97,3%

Preiskušance izdelal :

dne : 14.4.08

Slika 18: Podatki o preizkušanih ob zgoščanju vzorca iz lokacije A
Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije

Geomehanski laboratorij
ZAG Ljubljana
Dimičeva 12

Vzorec številka : GD202/08

DATUM IZDELAVE PREIZKUŠANCEV: 14.4.2008

Delovišče : AC LENDA VA - PINCE

TLAČNE TRDNOSTI PO 7 DNEH: 21.4.2008

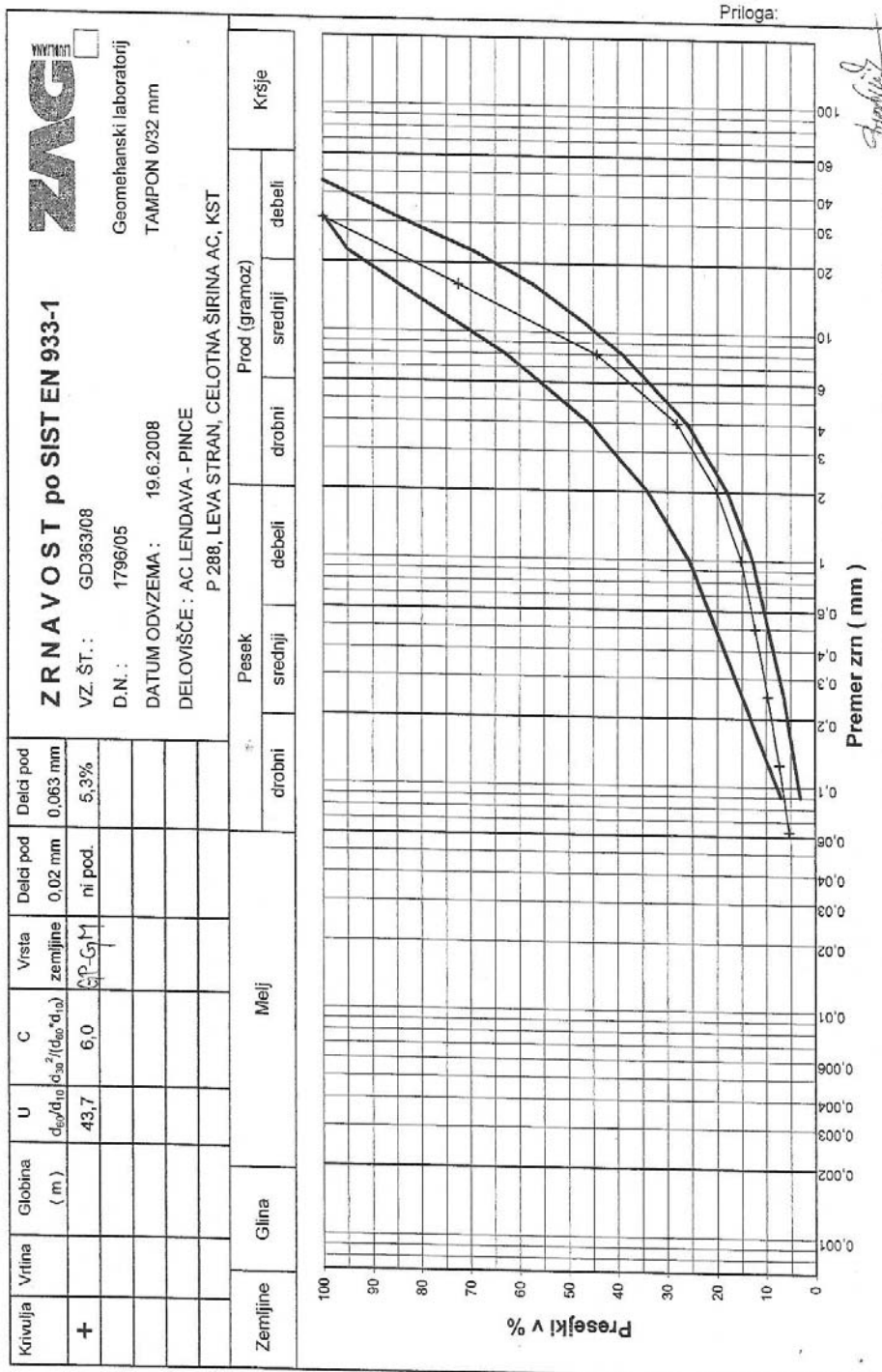
P 583 + 7 m, 3 m desno od osi, KST

VZOREC 7 DNI		VIŠINA VZORCA			PREMER	PLOSKEV	VOLUMEN	TEŽA VZ.		PROST. T.	SILA	qu
VALJ		v	v	v	2r	A	V	mokra		mokra		
ZGOŠČENO PO	V	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ³	g		kg/m ³	kN	kN/m ²
3*75 m	14	15,02	15,02	15,02	15,03	177,3	2664	6256	6293	2349	74	4172,96
3*75 m	19	15,02	15,02	15,02	15,00	176,6	2653	6256	6288	2358	73	4133,05
3*75 m	12	15,02	15,02	15,02	15,00	176,6	2653	6271	6300	2364	75	4246,28
3*75 s	33	15,02	15,02	15,02	14,99	176,4	2649	6263	-	2364	79	4478,72

(qu 3*75m / qu 3*75s) R7 = 0,9

Procedura

Slika 19: Podatki o enosni tlačni trdnosti preizkušancev vzorca iz lokacije A
Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije



Slika 150: Zrnavostna sestava vzorca, odvzetega na lokaciji B
Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije



Vzorec št.: GD363/08

Delovišče: AC LENDAVAL - PINCE

Mesto odvzema: P 288, leva stran, celotna širina AC, KST

Vrsta materiala: drobljen prod + cement

Datum odvzema: 19.6.2008

Izvajalec: CPL (SCT)

Naročnik: 710

D.N.: 1796/05

TABELA S PODATKI O PRESKUŠANCIH OB ZGOŠČEVANJU

Presku- šanec	Zgoščenost po	Teža valja in vl. mat. (g)	Teža valja (g)	Teža vlaž. materiala (g)	Volumen valja cm ³	Prost. masa mokra kg/m ³	Prost. masa suha kg/m ³
1	3*75	10629	4432	6197	2648	2340	2232
2	3*75	10458	4154	6304	2650	2379	2269
3	3*75	10445	4293	6152	2645	2326	2219
4	3*75	10456	4231	6225	2648	2351	2243
5	MPP	-	-	5405	2265	2386	2276

Vlažnost preskušancev ob zgoščevanju po 3*75 in MPP $W = 4,83$ %

Povprečna zgoščenost preskušancev po 3*75 $\rho_c = 2241$ kg/m³ 98,4%

Tehnika: ID 3050342

Proctor ID 5060802

Sušilnik ID 3130313

Preiskušance izdelal:

Pradnik

dne: 19.6.2008

Slika 161: Podatki o preizkušancih ob zgoščanju vzorca iz lokacije B
Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije

Geomehanski laboratorij
ZAG Ljubljana
Dimičeva 12

Vzorec številka : GD363/08

DATUM IZDELAVE PREIZKUŠANCEV: 19.6.2008

TLAČNE TRDNOSTI PO 7 DNEH: 26.6.2008

Delovišče : AC LENDAVAL - PINCE

P 288, LEVA STRAN, CELOTNA ŠIRINA AC, KST, -CPL (SCT)

VZOREC 7 DNI		VIŠINA VZORCA			PREMER	PLOŠKEV	VOLUMEN	TEŽA VZ.		PROST. T.	SILA	qu
VALJ		v	v	v	2r	A	V	mokra/namoč.		mokra		
ZGOŠČENO PO	V	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ³	g		kg/m ³	kN	kN/m ²
3*75 m	12	15,01	15,02	15,02	14,99	176,4	2648	6158	6218	2325	52	2948,02
3*75 m	20	15,01	15,02	15,02	14,98	176,2	2645	6129	6183	2317	53	3008,73
3*75 m	17	14,99	15,00	15,00	15,00	176,6	2648	6156	6210	2324	55	3113,94
3*75 s	35	15,02	15,03	15,03	14,99	176,4	2650	6290		2373	77	4365,34

(qu 3*75m / qu 3*75s) R₇ = 0,7

Pradnik

Slika 172: Podatki o enoosni tlačni trdnosti preizkušancev vzorca iz lokacije B
Vir: Zavod za gradbeništvo Slovenije

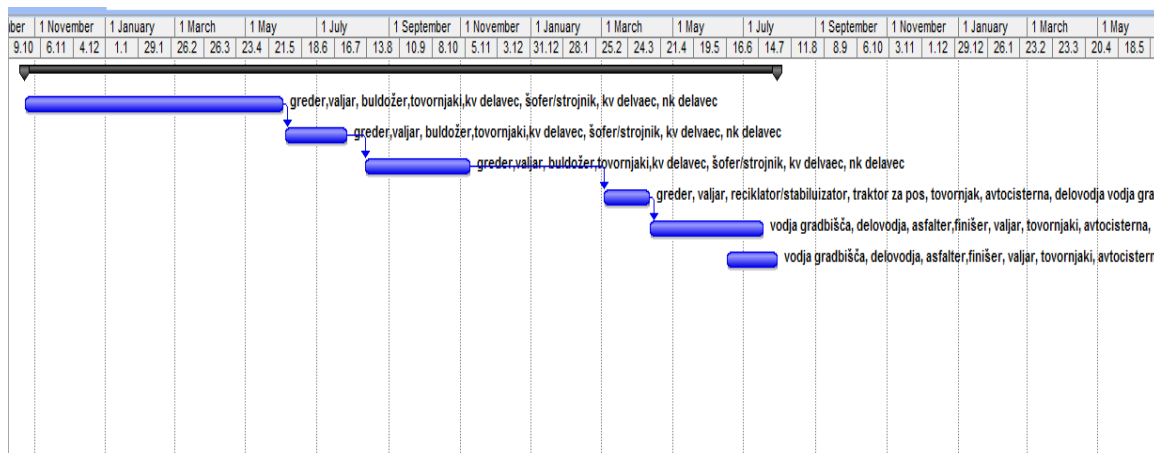
8 TERMINSKI PLAN IZVEDBE VOZIŠČNE KONSTRUKCIJE NA AC LENDAVA – PINCE

8.1 Terminski plan

	i	Task Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
1		VOZIŠČNA KONSTRUKCIJA	163 days	on 23.10.06	Tue 29.7.08		
2		nasipi	160 days	Mon 23.10.06	Fri 1.6.07		greder, valjar, buldožer, tovornjaki, kv delavec, šofer/strojniki, kv delavec, nk delavec
3		posteljica	39 days	Mon 4.6.07	Thu 26.7.07	2	greder, valjar, buldožer, tovornjaki, kv delavec, šofer/strojniki, kv delavec, nk delavec
4		tampon	65 days	Sat 11.8.07	Thu 8.11.07	3	greder, valjar, buldožer, tovornjaki, kv delavec, šofer/strojniki, kv delavec, nk delavec
5		cementna stabilizacija	29 days	Mon 3.3.08	Thu 10.4.08	4	greder, valjar, reciklator/stabilizator, traktor za pos, tovornjak, avtocisterna, delovodja vodja
6		asfalt-nosilna plast	70 days	Fri 11.4.08	Thu 17.7.08	5	vodja gradbišča, delovodja, asfalter, finišer, valjar, tovornjaki, avtocisterna,
7		asfalt obrabna plast	32 days	Mon 16.6.08	Tue 29.7.08		vodja gradbišča, delovodja, asfalter, finišer, valjar, tovornjaki, avtocisterna,

Vir: lasten vir

8.2 Gantogram (plan dela in mehanizacije)



Vir: lasten vir

8.3 Finančni plan za mehanizacijo in delovno silo

8.3.1 Finančni plan delovne sile

primer za november		št. Ur					skupaj ur	strošek
	urna postavka	št. Delavcev	3.11-8.11	11.11-16.11	19.11-24.11	27.11-30.11		
vodja gradbišča	12,00 €	1	40	40	40	32	152	1.824,00 €
delovodja	10,00 €	1	40	40	40	32	152	1.520,00 €
kv delavec	8,00 €	15	40	40	40	32	152	18.240,00 €
nk delavec	5,00 €	10	40	40	40	32	152	7.600,00 €
šofer/strojniki	8,00 €	25	40	40	40	32	152	30.400,00 €
asfalter	8,00 €	12						
							skupaj	59.584,00 €
strošek za celoten projekt								
	urna postavka	št. Mesecev	št. Delavci	strošek na me	skupni strošek na projekt			
vodja gradbišča	12,00 €	15	1	1.824,00 €	27.360,00 €			
delovodja	10,00 €	15	1	1.520,00 €	22.800,00 €			
kv delavec	8,00 €	15	15	18.240,00 €	273.600,00 €			
nk delavec	5,00 €	15	10	7.600,00 €	114.000,00 €			
šofer/strojniki	8,00 €	15	25	30.400,00 €	456.000,00 €			
asfalter	8,00 €	3,5	12	15.360,00 €	53.760,00 €			
				skupaj	947.520,00 €			

Vir: lasten vir

8.3.2 Finančni plan mehanizacij

mesečni primer	urna postavka	št. Komadov	font ur	strošek	
buldožer	45,00 €	3	160	21.600,00 €	
valjar	30,00 €	6	160	28.800,00 €	
kamion	25,00 €	15	160	60.000,00 €	
bager	35,00 €	4	160	22.400,00 €	
greder	55,00 €	1	160	8.800,00 €	
tarktor za vl....	25,00 €	1	160	4.000,00 €	
posipalec za cement	35,00 €	1	160	5.600,00 €	
reciklator/stabilizator	35,00 €	1	160	5.600,00 €	
avtocična za vodo	20,00 €	2	160	6.400,00 €	
finišer	120,00 €	2	160	38.400,00 €	
				skupaj	201.600,00 €
strošek za celoten projekt					
	urna postavka	št. Komadov	strošek	št. Mesecev	skupaj
buldožer	45,00 €	3	21.600,00 €	8	172.800,00 €
valjar	30,00 €	6	28.800,00 €	15	432.000,00 €
kamion	25,00 €	15	60.000,00 €	15	900.000,00 €
bager	35,00 €	4	22.400,00 €	15	336.000,00 €
greder	55,00 €	1	8.800,00 €	12	105.600,00 €
tarktor za vl....	25,00 €	1	4.000,00 €	1	4.000,00 €
posipalec za cement	35,00 €	1	5.600,00 €	1	5.600,00 €
reciklator/stabilizator	35,00 €	1	5.600,00 €	1	5.600,00 €
avtocična za vodo	20,00 €	2	6.400,00 €	15	96.000,00 €
finišer	120,00 €	2	38.400,00 €	3,5	134.400,00 €
				skupaj	2.192.000,00 €

vir: lasten vir

9 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu sem podrobno predstavil sedanje zahteve za sodobno voziščno utrditev, ki so bile upoštevane tudi pri načrtovanju avtocestnega odseka AC Lendava – Pince, sklop A. Ker gre za razmeroma enostaven odsek z geološko-geomehanskega stališča, naj bi ob upoštevanju sodobnih smernic za gradnjo cest, ki trenutno veljajo v naši državi, izvajalci del izvedli ustrezno in kvalitetno voziščno konstrukcijo, ki bi vsaj 20 let služila svojemu namenu.

Veliko naporov in energije se je vložilo v zagotavljanje ustreznih in kvalitetnih materialov za nasipe, kamnito posteljico, nevezano nosilno plast ter kasneje v izvedbo cementne stabilizacije.

Nekaj težav se pojavljalo pri izvedbi cementne stabilizacije na mestu vgradnje (»in-situ«), ker tam pogosto prihaja do nehomogene sestave prečno na vozni pas ter do pojavljanja večjih območij segregiranih mest. Temu problemu so zelo podvrženi predvsem drobljeni prodi. Največji problem je, da izvajalci pri vgradnji temu ne posvečajo zadostne pozornosti. V večjem delu se je ta problem odpravil z uporabo drugega reciklatorja /stabilizatorja – freze.

Na podlagi dosedanjih izkušenj in spremljanja gradnje odseka AC Lendava – Pince ugotavljam, da se pri vgrajevanju z rezkalnikom ali frezo v enem ali več prehodih ne more doseči tako dobre homogenosti stabilizirane mešanice kot pri izvedbi postopka z razdelilnikom ali finišejem. Do večjega odstopanja v kvaliteti prihaja tudi zaradi hitrosti izvedbe in stalnega menjavanja delovnih skupin, ki izvajajo cementno stabilizacijo. Seveda pa ima eden ali drugi postopek svoje prednosti in slabosti.

Glede na trenutni trend porasta prometa na naših cestah in s tem povezane prometne obremenitve bi bilo nujno razmišljati tudi o modifikaciji (povečanje oz. delni popravki) sodobne voziščne utrditve, in sicer:

- na SV Slovenije obvezna uporaba delno drobljene kamnite posteljice in ne samo separiranega proda,
- povečanje debeline asfaltne utrditve (večja debelina posameznih asfaltnih plasti).

To so predlogi, o katerih bi bilo modro premisliti, če bi želeli izvesti »trajno« voziščno konstrukcijo. Tehnološko je vse to mogoče izvesti že danes, a kaj, ko je vse to povezano z racionalno porabo finančnih sredstev, ki so trenutno najpomembnejši kriterij za izbiro materialov, potrebne debeline in vrsto voziščne konstrukcije. Iz tega lahko ugotovimo, da je izvedba cementne stabilizacije cenovno ugodnejša od bitumenske, saj pri vgradnji dosežemo ugodno razmerje med kakovostjo in ceno ter enostavnostjo izdelave, hkrati pa uporabimo cenovno ugodnejši in nam dostopnejši material.

Ob upoštevanju, da je stanje obrabne plasti voziščne konstrukcije odvisno razen od kvalitete nje same tudi od kvalitete in postopka vgradnje spodnjih nosilnih plasti in utrditve temeljnih tal, si težko predstavljamo solidno voziščno konstrukcijo, zgrajeno za največje prometne obremenitve brez stabilizirane spodnje nosilne plasti.

Spodnja vezana nosilna plast voziščne konstrukcije pomembno vpliva na trajnost ceste, zato si težko predstavljamo cesto, ki je zgrajena za najtežje prometne obremenitve, pa nima te plasti, stabilizirane s cementom.

10 LITERATURA IN VIRI

1. Geomehanski laboratorij: *Rezultati laboratorijskih preiskav*. Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana, 2008.
2. PGD projekt št. 511A: Ogizek D.: za AVTOCESTA A5, sklop A od km 4+480.00 do km 13+679.75. Lineal d.o.o., Maribor, 2005.
3. Terminološki slovar za cestogradnjo s prevodi izrazov v angleščini in nemščini. DRC: Žmavc J. Ljubljana, 1994.
4. TSC 05.413: *Izvedba nasipov, zasipov, klinov in glinastega naboja*. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za promet, Ljubljana, 2003.
5. TSC 06.100 : *Kamnita posteljica in povozni plato*. Republika Slovenija, Ministrstvo za promet, Ljubljana, 2003.
6. TSC 06.200 : *Nevezane nosilne in obrabne plasti*. Republika Slovenija, Ministrstvo za promet, Ljubljana, 2003.
7. TSC 06.330 : *Vezane spodnje nosilne plasti z bitumenskimi vezivi (po vročem postopku)*. Republika Slovenija, Ministrstvo za promet – Direkcija RS za ceste, Ljubljana, 2003.
8. TSC 06.320: *Vezane spodnje nosilne plasti s hidravličnimi vezivi*. Republika Slovenija, Ministrstvo za promet, Ljubljana, 2001.
9. TSC 06.320: *Tehnična specifikacija za javne ceste*, Republika Slovenija, Ministrstvo za promet – Direkcija RS za ceste, Ljubljana, 2001.
10. TSC 06.720: *Meritve in preiskave deformacijski moduli vgrajenih materialov*, Republika Slovenija, Ministrstvo za promet – Direkcija RS za ceste, Ljubljana, 2003.
11. TSC 06.711: *Meritve gostote in vlage – postopek z izotopskim merilnikom*, Republika Slovenija, Ministrstvo za promet – Direkcija RS za ceste, Ljubljana, 2003.
12. Voziščne konstrukcije: Žmavc J. DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, Ljubljana, 1997.

