

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidatka:

**LIDIJA AVSENIK**

**VAROVANJE ARHEOLOŠKIH NAJDIŠČ IN SITU S  
PREKRIVANJEM**

Diplomska naloga št.: **3212/KS**

**PROTECTION OF ARCHAEOLOGICAL SITES BY  
INTENTIONAL BURIAL**

Graduation thesis No.: **3212/KS**

**Mentor:**  
izr. prof. dr. Janko Logar

**Predsednik komisije:**  
doc. dr. Tomo Cerovšek

**Somentor:**  
doc. dr. Vlatko Bosiljkov

Ljubljana, 30. 3. 2012

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana Lidija Avsenik izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom: »Varovanje arheoloških najdišč in situ s prekrivanjem«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 6.3.2012

---

(podpis)

**BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

UDK:	624.131:902.2:004.056.5(043.2)
Avtor:	Lidija Avsenik
Mentor:	izr. prof. dr. Janko Logar
Somentor:	doc. dr. Vlatko Bosiljkov
Naslov:	Varovanje arheoloških najdišč in situ s prekrivanjem
Obseg in oprema:	152 str., 44 pregl., 117 sl., 45 en.
Ključne besede:	varovanje in situ, arheološka najdišča, prekrivanje, deformacije, zaščitni sloj, nasipni material, geosintetik

**Izvelek**

V diplomski nalogi sem preverjala vpliv prekrivanja kot način varovanja in situ na arheološke najdbe. Pri mnogih novogradnjah, še posebej pri gradnji prometnic, se je odkrilo veliko arheoloških najdišč. Njihovo ohranjanje je pomembno in po navodilih stroke je najbolj primeren način ohranjanje in situ. Ena izmed možnosti je prekrivanje, ki sem ga obravnavala v diplomskem delu. Z numeričnimi simulacijami sem izračunala deformacije, ki nastanejo v različnih temeljnih tleh in pod različno visokimi zaščitnimi sloji. Izračunala sem deformacije v glinenih in peščenih tleh, ki predstavljata dve zelo različni vrsti temeljnih tal, ki jih lahko najdemo v Sloveniji. Kot obtežbo sem upoštevala lastno težo nasipa, obtežbo minihidravličnega bagra, ki ga uporabljamo med gradnjo nasipa in obtežbo tovornjaka, ki ga upoštevam na že zgrajenem nasipu kot možno obliko kasnejše rabe. Z ukrepi, kot so: uporaba različnega nasipnega materiala in uporaba geosintetikov sem skušala zmanjšati deformacije, ki nastanejo, in tako zmanjšati možnosti poškodb arheoloških najdb. S primerjavo nastalih deformacij v temeljnih tleh sem določila višino, pri kateri bodo morebitne arheološke najdbe optimalno zaščitene pred poškodbami zaradi zaščitnega ukrepa. Predpostavila sem, da se bodo najdbe deformirale enako kot zemljina, v kateri se nahajajo. Na koncu diplomske naloge sem zapisala mejne vrednosti deformacij, ki jih materiali, ki sestavljajo artefakte, lahko prenesejo, ne da bi se poškodovali. Kot mejne deformacije sem določila elastične deformacije, saj so plastične že nepovratne, čemur pa se moramo izogniti.

---

**BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

UDC: 624.131:902.2:004.056.5(043.2)  
Author: Lidija Avsenik  
Supervisor: associate prof. Janko Logar, Ph. D.  
Co supervisor: assistant prof. Vlatko Bosiljkov, Ph. D.  
Title: Protection of Archaeological Sites by Intentional Burial  
Notes: 152 p., 44 tab., 117 fig., 45 eq.  
Key words: preserving in situ, archaeological sites, intentional site burial, deformations, embankment, fill materials, geosynthetics

**Abstract**

In my thesis I examined the effects of intentional site burial on archaeological sites as a mean of in situ protection. A significant number of archaeological sites has been found during the construction of new buildings and especially the construction of roads. Their conservation is important. Experts suggest that the most appropriate manner is in situ protection. One option is intentional site burial, which I discussed in the thesis. Using the finite element method, I calculated deformations that occur in different types of soil because of embankment, which is used for protection of archaeological sites. I calculated deformations in clay and sand, which represent two very different types of foundation soil that can be found in Slovenia. For the weight-load I took into account the embankment's own weight, the weight of the hydraulic excavator, which was used during the construction, and the weight of the truck which might be used after the archaeological site is cleared. I tried to reduce deformations with various measures, such as using different fill materials and the use of geosynthetics, in order to reduce the potential damage to archaeological sites. After the calculations, I determined the optimal height of embankment by comparison of deformation so that the potential archaeological sites would be perfectly protected from damage. I presumed that archaeological finds deform to the same extent as the surrounding soil. At the end of thesis I listed limit values that materials found in archaeological sites can withstand without damaging. For the limit values I used elastic deformations because plastic deformations are already irreversible, which is precisely what we must avoid.

## KAZALO VSEBINE

<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Splošno	1
1.2 Prekrivanje kot možna oblika varovanja	2
1.3 Zakonodaja v Sloveniji na področju varovanja kulturne dediščine	7
1.4 Namen in cilj	8
<b>2 ZAŠČITNI SLOJ ZA VAROVANJE ARHEOLOŠKIH NAJDB</b>	<b>10</b>
2.1 Preiskovanje temeljnih tal, v katerih je najdišče	10
2.2 Gradnja zaščitnega sloja	10
2.3 Zgoščevanje zemljin	12
2.4 Materiali za izgradnjo zaščitnega sloja	13
2.5 Ukrepi za zmanjšanje deformacij v temeljnih tleh	16
2.5.1 Nasipni materiali z majhno prostorninsko težo	16
2.5.2 Uporaba geosintetikov	16
2.6 Napetosti v temeljnih tleh zaradi zaščitnega sloja [14]	18
<b>3 RAČUNSKI MODELI</b>	<b>24</b>
3.1 Programska oprema Plaxis	24
3.2 Obtežbe in materialne karakteristike zemljin	25
3.3 Izbira materialnega modela	32
<b>4 DEFORMACIJE V TEMELJNIH TLEH</b>	<b>34</b>
4.1 Deformacije v glinenih temeljnih tleh	34
4.1.1 Uporaba običajnega nasipnega materiala	39
4.1.2 Uporaba nasipnega materiala z majhno prostorninsko težo	46
4.2 Deformacije v peščenih temeljnih tleh	54
4.2.1 Uporaba običajnega nasipnega materiala	54
4.2.2 Uporaba nasipnega materiala z majhno prostorninsko težo	61
<b>5 DOLOČITEV VIŠINE ZAŠČITNEGA SLOJA</b>	<b>70</b>
5.1 Mejne deformacije materialov	70
5.2 Višina zaščitnega sloja na glinenih temeljnih tleh	75
5.2.1 Uporaba običajnega nasipnega materiala	75
5.2.2 Uporaba nasipnega materiala z majhno prostorninsko težo	77
5.3 Višina zaščitnega sloja na peščenih temeljnih tleh	78

---

5.3.1 Uporaba običajnega nasipnega materiala	78
5.3.2 Uporaba nasipnega materiala z majhno prostorninsko težo	80
5.4 Primerjava deformacij pod optimalnim nasipom iz običajnega materiala in iz lažjega materiala	81
5.4.1 Primerjava deformacij v glinenih temeljnih tleh	82
5.4.2 Primerjava deformacij v peščenih temeljnih tleh	87
5.5 Uporaba geosintetika pod izbranimi optimalnimi višinami zaščitnega sloja	92
5.5.1 Uporaba geosintetika v glinenih temeljnih tleh	92
5.5.2 Uporaba geosintetika v peščenih temeljnih tleh	97
5.6 Primerjava deformacij pod izbranimi višinami zaščitnega sloja z uporabo geosintetika	103
5.7 Razpored deformacij po celotnih temeljnih tleh pri izbranih višinah zaščitnega sloja	115
5.7.1 Glinena temeljna tla, nasip 40 cm iz običajnega materiala	116
5.7.2 Glinena temeljna tla, nasip 80 cm iz materiala z majhno prostorninsko težo	118
5.7.3 Peščena temeljna tla, nasip 60 cm iz običajnega materiala	120
5.7.4 Peščena temeljna tla, nasip 40 cm iz material z majhno prostorninsko težo	122
5.8 Poškodbe najdb pod optimalnim zaščitnim nasipom	124
5.8.1 Poškodbe najdb v glinenih temeljnih tleh	125
5.8.2 Poškodbe najdb v peščenih temeljnih tleh	129
5.9 Vpliv togosti najdb	133
5.9.1 Vpliv togosti najdb v glinenih temeljnih tleh	134
5.9.2 Vpliv togosti najdb v peščenih temeljnih tleh	140
<b>6 ZAKLJUČEK</b>	<b>147</b>
<b>VIRI</b>	<b>149</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Model propadanja delov najdišča [3]	5
Preglednica 2: Materialne karakteristike glinenih temeljnih tal	29
Preglednica 3: Materialne karakteristike peščenih temeljnih tal	29
Preglednica 4: Materialne karakteristike prve plasti nasipa	30
Preglednica 5: Materialne karakteristike druge plasti nasipa	30
Preglednica 6: Materialne karakteristike nasipa	31
Preglednica 7: Materialne karakteristike prve plasti ekspandirane gline	31
Preglednica 8: Materialne karakteristike druge plasti ekspandirane gline	32
Preglednica 9: Materialne karakteristike ekspandirane gline	32
Preglednica 10: Uporaba HS in HS small modela pri glinenih temeljnih tleh brez nasipa	33
Preglednica 11: Uporaba HS in HS small modela pri peščenih temeljnih tleh brez nasipa	33
Preglednica 12: Volumske deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	40
Preglednica 13: Strižne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	41
Preglednica 14: Nateznih horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	43
Preglednica 15: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	44
Preglednica 16: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	46
Preglednica 17: Volumske deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	47
Preglednica 18: Strižne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	49
Preglednica 19: Natezne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	50
Preglednica 20: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	52
Preglednica 21: Vertikalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	53
Preglednica 22: Volumske deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	55
Preglednica 23: Strižne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	56
Preglednica 24: Natezne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	58
Preglednica 25: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	59
Preglednica 26: Vertikalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	61
Preglednica 27: Volumske deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	62
Preglednica 28: Strižne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	64
Preglednica 29: Natezne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	65
Preglednica 30: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	67
Preglednica 31: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje	68
Preglednica 32: Trdnosti in deformacije človeške stegenice v odvisnosti od starosti [23]	73
Preglednica 33: Mehanske lastnosti materialov [24]-[35]	74
Preglednica 34: Višina zaščitnega sloja iz običajnega materiala in globina najdbe, pri kateri so presežene mejne vrednosti deformacij v glinenih temeljnih tleh	76



---

Preglednica 35: Višina zaščitnega sloja iz lažjega materiala in globina najdbe, pri kateri so presežene mejne vrednosti deformacij v glinenih temeljnih tleh	78
Preglednica 36: Višina zaščitnega sloja iz običajnega materiala in globina najdbe, pri kateri so presežene mejne vrednosti deformacij v peščenih temeljnih tleh	80
Preglednica 37: Višina zaščitnega sloja iz lažjega materiala in globina najdbe, pri kateri so presežene mejne vrednosti deformacij v peščenih temeljnih tleh	81
Preglednica 38: Materialne karakteristike geosintetika 1	92
Preglednica 39: Materialne karakteristike geosintetika 2	92
Preglednica 40: Primerjava deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	104
Preglednica 41: Primerjava deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	105
Preglednica 42: Vrsta in smer deformacije, ki povzroča poškodbe najdb na različnih globinah v glinenih temeljnih tleh pod optimalno določenimi višinami nasipa v obravnavanih primerih	127
Preglednica 43: Vrsta in smer deformacije, ki povzroča poškodbe najdb na različnih globinah v peščenih temeljnih tleh pod optimalno določenimi višinami nasipa v obravnavanih primerih	131
Preglednica 44: Materialne karakteristike kamnitega nagrobnika	133

## KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski prikaz prekrivanja	1
Slika 2: Faktorji razpada in njihova relativna pomembnost (povzeto iz [4])	4
Slika 3: Prikaz zgoščevanja zemljine	11
Slika 4: Krivulja zgoščevanja	13
Slika 5: Materiali z majhno prostorninsko težo (LWA) v nasipu	16
Slika 6: Ločilni geosintetik preprečuje mešanje dveh vrst materialov in na dolgi rok ohranja kakovost in debelino vgrajene plasti iz kamnitega materiala	17
Slika 7: Primer diagrama totalnih in efektivnih vertikalnih napetosti v temeljnih tleh zaradi lastne teže tal	19
Slika 8: Primer diagrama efektivnih vertikalnih in vodoravnih napetosti v temeljnih tleh zaradi lastne teže tal	20
Slika 9: Obremenitev temeljnih tal s pasovno obtežbo	20
Slika 10: Smeri dodatnih glavnih napetosti v temeljnih tleh zaradi pasovne obremenitve	22
Slika 11: Obnašanje tal pri majhnih deformacijah [15]	25
Slika 12: Potek gradnje nasipa v treh horizontalnih korakih in delovanje obtežbe minihidravličnega bagra in tovornjaka	26
Slika 13: Minihidravlični bager CAT 301.6C [17]	26
Slika 14: Tovornjak JCB 714 [18]	27
Slika 15: Obtežba minihidravličnega bagra med gradnjo 20 cm nasipa [cm]	28
Slika 16: Obtežba tovornjaka na zgrajenem 20 cm nasipu [cm]	28
Slika 17: Volumske deformacije zaradi tovornjaka na nasipu in označen prerez A-A	35
Slika 18: Strižne deformacije zaradi tovornjaka na nasipu in označen prerez A-A	35
Slika 19: Horizontalne deformacije zaradi tovornjaka na nasipu in označen prerez A	36
Slika 20: Vertikalne deformacije zaradi tovornjaka na nasipu in označen prerez A-A	36
Slika 21: Pomiki zaradi tovornjaka na najvišjem nasipu	37
Slika 22: Horizontalne napetosti zaradi tovornjaka na nasipu	37
Slika 23: Vertikalne napetosti zaradi tovornjaka na nasipu	38
Slika 24: Strižne napetosti zaradi tovornjaka na nasipu	38
Slika 25: Potek volumskih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	39
Slika 26: Potek strižnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	41
Slika 27: Potek nateznih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	42
Slika 28: Potek tlačnih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	44
Slika 29: Potek vertikalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	45
Slika 30: Potek volumskih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	47
Slika 31: Potek strižnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	48

---

Slika 32: Potek nateznih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	50
Slika 33: Potek tlačnih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	51
Slika 34: Potek vertikalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	53
Slika 35: Potek volumskih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	54
Slika 36: Potek strižnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	56
Slika 37: Potek nateznih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	57
Slika 38: Potek tlačnih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	59
Slika 39: Potek vertikalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	60
Slika 40: Potek volumskih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	62
Slika 41: Potek Strižnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	63
Slika 42: Potek nateznih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	65
Slika 43: Potek tlačnih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	66
Slika 44: Potek vertikalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal	68
Slika 45: Primerjava mehanskega obnašanja izotropnega in anizotropnega materiala [19]	71
Slika 46: Primerjava volumskih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	82
Slika 47: Primerjava strižnih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	83
Slika 48: Primerjava nateznih horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	84
Slika 49: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	85
Slika 50: Primerjava vertikalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	86
Slika 51: Primerjava volumskih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	87
Slika 52: Primerjava strižnih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	88
Slika 53: Primerjava nateznih horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	89
Slika 54: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	90
Slika 55: Primerjava vertikalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala	91
Slika 56: Primerjava volumskih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	93

Slika 57: Primerjava strižnih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	94
Slika 58: Primerjava natezних horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	95
Slika 59: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	96
Slika 60: Primerjava vertikalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	97
Slika 61: Primerjava volumskih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	98
Slika 62: Primerjava strižnih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	99
Slika 63: Primerjava natezних horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	100
Slika 64: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	101
Slika 65: Primerjava vertikalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)	102
Slika 66: Primerjava vertikalnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	106
Slika 67: Primerjava strižnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	107
Slika 68: Primerjava natezних horizontalnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	108
Slika 69: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	109
Slika 70: Primerjava vertikalnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	110
Slika 71: Primerjava volumskih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	111

---

Slika 72: Primerjava strižnih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovrnjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	112
Slika 73: Primerjava nateznih horizontalnih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovrnjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	113
Slika 74: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovrnjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	114
Slika 75: Primerjava vertikalnih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovrnjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2	115
Slika 76: Volumske deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 40 cm nasipu	116
Slika 77: Strižne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 40 cm nasipu	116
Slika 78: Horizontalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 40 cm nasipu	117
Slika 79: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 40 cm nasipu	117
Slika 80: Volumske deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 80 cm nasipu iz ekspandirane gline	118
Slika 81: Strižne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 80 cm nasipu iz ekspandirane gline	118
Slika 82: Horizontalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 80 cm nasipu iz ekspandirane gline	119
Slika 83: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 80 cm nasipu iz ekspandirane gline	119
Slika 84: Volumske deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 60 cm nasipu	120
Slika 85: Strižne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 60 cm nasipu	120
Slika 86: Horizontalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 60 cm nasipu	121
Slika 87: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 60 cm nasipu	121
Slika 88: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 40 cm nasipu iz ekspandirane gline	122
Slika 89: Strižne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 40 cm nasipu iz ekspandirane gline	122
Slika 90: Horizontalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 40 cm nasipu iz ekspandirane gline	123
Slika 91: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 40 cm nasipu iz ekspandirane gline	123
Slika 92: Kamniti nagrobnik [36]	133

Slika 93: Skica položaja nagrobnika v temeljnih tleh pod obtežbo tovornjaka brez zaščitnega nasipa	134
Slika 94: Volumske deformacije, ko je v glinenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik	134
Slika 95: Primerjava volumskih deformacij v glinenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika	135
Slika 96: Povečan prikaz volumskih deformacij v območju nagrobnika	135
Slika 97: Strižne deformacije, ko je v glinenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik	136
Slika 98: Primerjava strižnih deformacij v glinenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika	136
Slika 99: Povečan prikaz strižnih deformacij v območju nagrobnika	137
Slika 100: Horizontalne deformacije, ko je v glinenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik	137
Slika 101: Primerjava horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika	138
Slika 102: Povečan prikaz horizontalnih deformacij v območju nagrobnika	138
Slika 103: Vertikalne deformacije, ko je v glinenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik	139
Slika 104: Primerjava vertikalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika	139
Slika 105: Povečan prikaz vertikalnih deformacij v območju nagrobnika	140
Slika 106: Volumske deformacije, ko je v peščenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik	140
Slika 107: Primerjava volumskih deformacij v peščenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika	141
Slika 108: Povečan prikaz volumskih deformacij v območju nagrobnika	141
Slika 109: Strižne deformacije, ko je v peščenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik	142
Slika 110: Primerjava strižnih deformacij v peščenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika	142
Slika 111: Povečan prikaz strižnih deformacij v območju nagrobnika	143
Slika 112: Horizontalne deformacije, ko je v peščenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik	143
Slika 113: Primerjava horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika	144
Slika 114: Povečan prikaz horizontalnih deformacij v območju nagrobnika	144
Slika 115: Vertikalne deformacije, ko je v peščenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik	145
Slika 116: Primerjava vertikalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika	145
Slika 117: Povečan prikaz vertikalnih deformacij v območju nagrobnika	146

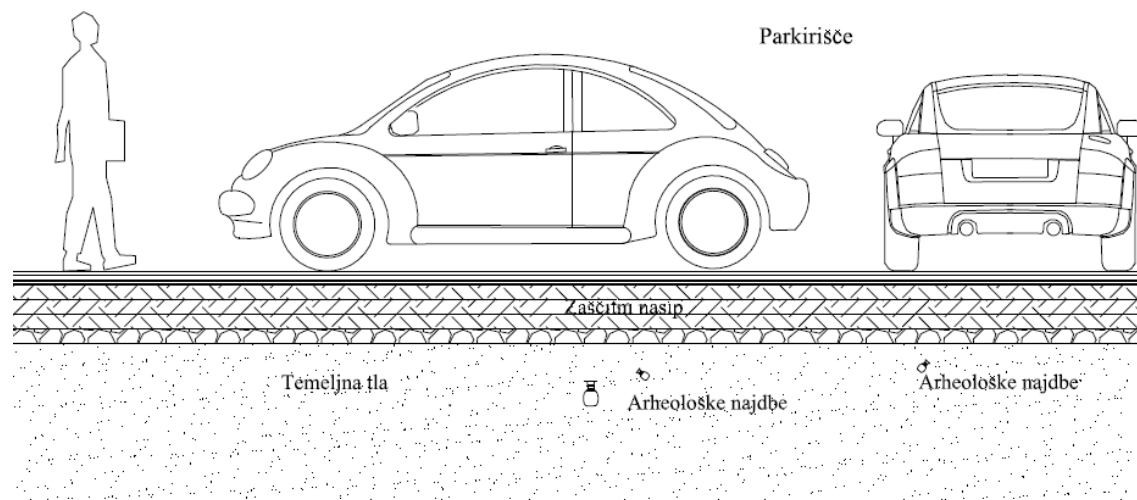


## 1 UVOD

### 1.1 Splošno

Na prvi pogled se zdi, da obravnavana tema nima veliko skupnega z gradbeništvom, vendar že po krajšem razmisleku ugotovimo, da temu ni tako. V današnjem času hitre gradnje je kulturna dediščina vse bolj ogrožena, zato se moramo zavzemati za njeno zaščito. Najti moramo ravnovesje med gradnjo, ki je potrebna za naše udobje in normalno življenje (širjenje mest, cestno omrežje,...) in ohranjanjem tistega, kar je že bilo ustvarjeno v preteklosti. Zavedati se moramo, da lahko prenačljene odločitve povzročijo več škode kot koristi, zato je potrebno skrbno načrtovanje, da bodo ostala arheološka najdišča za prihodnje generacije dobro ohranjena in avtentična.

Ocenjeno je, da je v Sloveniji najmanj 108000 najdišč, od katerih jih je registriranih samo 2158 [1]. To pomeni, da bo v prihodnosti potrebno še veliko dela za njihovo zaščito. V nadaljevanju bom prikazala, da je to možno le z dobrim sodelovanjem več različnih strok (npr. arheologija, geotehnologija, kemija, geologija,...). V tujini tako interdisciplinarno delo že obstaja, v Sloveniji pa ga je potrebno še spodbuditi. V primeru moje diplomske naloge mi bo znanje geotehnike omogočilo razumevanje razmer, ki nastanejo pri prekrivanju kot zaščiti arheoloških najdišč, in njihov vpliv na samo najdišče.



Slika 1: Shematski prikaz prekrivanja

Prekrivanje najdišča je način varovanja, ki mora biti prilagojeno za vsako posamezno najdišče. Pred začetkom moramo poznati lastnosti zemljine, v kateri so najdbe, da lahko predvidimo njeno nadaljnje obnašanje in vedeti moramo, kje, če sploh, je podtalnica in kakšna bo poznejša raba prostora, da lahko določimo obtežbe. Ko poznamo vse dejavnike, lahko začnemo z načrtovanjem zaščitne plasti, pri tem



pa moramo imeti v mislih tudi vplive, ki jih bo le-ta povzročila. Tak način zaščite bo učinkovit le v primeru, da bodo skupni vplivi poznejše rabe prostora in zaščitne plasti manjši, kot bi bili, če zaščitne plasti ne bi izvedli. Glavno merilo pri preverjanju učinkovitosti zaščitne plasti bodo deformacije, ki nastanejo v temeljnih tleh.

## 1.2 Prekrivanje kot možna oblika varovanja

Ker gre za način varovanja arheoloških najdišč, ki v Sloveniji še ni pogosto uporabljen, je bilo potrebno najprej najti ustrezno poimenovanje. Po razmisleku lahko rečem, da tehniko varovanja najbolje opišemo s terminom prekrivanje. Pri tem načinu najdišče varujemo tako, da ga prekrijemo z zaščitnim slojem.

Pomembno je, da ločimo med terminoma varovanje in ohranjanje. Na to opozarjata Robert M. Thorn in Melissa H. Reams v članku: Ohranjanje je uporaba: Stabilizacija in varovanje arheološkega najdišča kot primarno sredstvo zmanjševanja škode in uničenja virov [2]. Iz vidika praktičnih ciljev je ohranjanje nemogoče, ker ne moremo ustaviti procesa naravnega staranja. Lahko pa ohranjamo nevtrarno stanje fizičnih lastnosti najdb, najdišče in njegove dele lahko zaščitimo pred biokemično degradacijo, plenjenjem in vandalizmom.


Arheološka najdišča so vir neobnovljivih in bogatih informacij in kot taka niso zanimiva samo za arheologe, ampak tudi za naravoslovne panoge, ki jim arheološke najdbe izboljšajo razumevanje okolja in preteklih dogodkov. Varovanje arheoloških materialov in informacij je zato ključni del arheologije. Razvoj arheologije se je od konca 19. stoletja osredotočal na izkopavanje, ki so ga opravičevale aktivnosti, kot so: postavljanje arheoloških zbirk, reševanje najdišč zaradi krajinskih projektov, terensko učenje študentov. Etika ohranjanja pomeni, da s pravilnim vodenjem ohranjamo vire za naslednje generacije. Napredna tehnologija omogoča, da lahko arheologi pridobijo veliko informacij iz preproste vrtine v tleh. Vendar pa je ta tehnologija neuporabna na izkopanih najdiščih. Vzorci in informacije, ki bi jih lahko analizirali, niso bili odvzeti ali niso bili spravljani ali pa so ostanke na artefaktih splaknili med standardnim procesom. Nadalje izkop zagotovi dokončno in popolno uničenje neizkopanega materiala. Ta popolna izguba onemogoči, da bi pozneje na najdišču pridobili podatke, ki bi odgovorili na vprašanja novih raziskav ali pa bi jih uporabili v novih tehnikah. Tako imamo koncept, ki daje prednost varovanju in situ v nasprotju z izkopavanjem. Kljub temu, da obstajajo zakoni in določila, ki varujejo ali rešujejo ogrožene arheološke vire, mnogi mislijo, da z izkopavanjem omejujemo uničevanje. V mnogih primerih je bil ta, sicer dokončno uničujoč poseg, primeren odziv na situacijo, v drugih pa bi morali premisliti o uporabi zaščite in ohranitvi najdišča, kot priporočajo zakoni. Učinkovito upravljanje z najdišči vključuje primerno identifikacijo, oceno, ohranjanje in rabo. Običajno obstajajo tri možnosti, ki vključujejo izogibanje najdiščem, dolgoročno

varovanje ali pridobivanje podatkov. Med temi možnostmi je najbolj primerna varovanje najdišč in situ.

Varovanje najdišč ima dolgo zgodovino, vendar pa se je varovanje in situ pojavilo pred kratkim. Za pomanjkljivo razvijanje tehnologij za in situ varovanje in dolgotrajno ohranjanje najdišč in objektov je kar nekaj razlogov. Navadno so tehnike razvili v inženirskih panogah in niso bile prilagojene za arheološko ohranjanje. Učinkovit prenos tehnologije je oviralo arheologovo nepoznavanje naravoslovja in inženirskih principov. Hkrati pa inženirji niso poznali potreb in ciljev arheološkega in situ varovanja. Manjkal je pristop, ki bi vključeval več različnih panog. Za zapolnitev te praznine Thorne [2] svetuje naslednje dejavnosti: (1) učenje o primernih tehnologijah za varovanje, (2) preučevanje načinov, s katerimi bi znane tehnologije uporabili za arheološko varovanje, (3) izboljšanje širjenja informacij in koordinacijo, (4) primerno vključitev tehnologije v problem varovanja, (5) zmanjšanje stroškov novih tehnologij in (6) razvoj pravilnikov za uporabo novih tehnologij. V zadnjih letih se je pri ohranjanju arheologije uporabilo veliko tehnologij, ki so bile razvite v drugih disciplinah. To pomeni, da se je izboljšalo sodelovanje med arheologi in inženirji. Zanimanje za posamezna področja ohranjanja arheologije se je povečalo tudi pri drugih strokovnjakih (geologi, biologi, geomorfologi, inženirji). Hkrati so arheologi postali kompetentni za sodelovaje z njimi. Posledica tega je, da je danes tako multidisciplinsko reševanje problemov povsem običajno. Ker ideja o takem varovanju najdišča šele sedaj pridobiva podporo, je mnogo najdišč, sicer z namenom varovanja, poškodovanih ali celo uničenih. Ukrepi za varovanje najdišča ne smejo biti naključni, ampak morajo biti pravilno zamišljeni. Sestavljeni morajo biti iz serije logično organiziranih dejavnosti, ki se začnejo z oceno virov, nadaljujejo z identifikacijo vplivov do izbire in vgradnje ene ali več stabilizacijskih tehnik. Temu naj sledi opazovanje in ocenjevanje, da se prepričamo, če izbrana tehnika pravilno deluje. Ena izmed teh tehnik ohranjanja je tudi prekrivanje.

Prekrivanje arheoloških materialov in najdišč pomeni namestitvev zaščitne plasti tako, da se izboljša dolgotrajno varovanje. Prekrivanje najdišč ni nov pojem, saj je naravno zasutje poznan pojav (primer rimskih mest Pompeji in Herkulaneum, ki sta zasuti zaradi vulkanske dejavnosti) in je delovalo podobno kot umetno: nekatere najdbe so dobro ohranjene, medtem ko je izguba drugih pospešena. Vendar pa ni znano, kakšni bodo dolgotrajni učinki, saj najdišča, ki so bila prekrita v naravnem ali inženirskem procesu, niso bila sistematsko obravnavana. Dejansko lahko tudi stratigrafijo arheoloških depozitov vidimo kot mikro okolje namernega zasutja. Vsaka naslednja plast pokoplje predhodne depozite in v neki meri zaščiti spodnje plasti pred spremembami, ki so posledica fizičnih in kemičnih procesov na površini. Umetne in okoljske spremembe se zgodijo postopno, zato so vrhnje plasti kemično in biološko kompatibilne s spodnjimi in njihovo propadanje ni pospešeno.

Uspešno načrtovanje zasutja najdišča, kot piše Robert M. Throne v članku Namerno zasutje najdišča: Tehnika varovanja pred naravnimi in umetnimi vplivi [3], vključuje procese, po katerih se: (1) oceni sestavine najdišča, (2) določi potencialne vplive, vključno s procesom razpadanja in cilje varovanja, (3) oceni koristi namerne zasutja in (4) določi metode in procedure za uporabo v projektu, vključno z oceno stroškov. V prvem koraku se na podlagi testiranj določi razpon artefaktov, ki bodo zaščiteni, vključno s kostmi, školjkami, keramiko, lesom, ogljem. Za končno oceno sestavin potrebujemo dodatne informacije, ki niso običajne pri arheološki raziskavi in lahko vključujejo: podatke o vrednosti pH na več mestih najdišča, podatke o dejanski ali potencialni oksidaciji/redukciji, podatke o zemljini najdišča. Poznati moramo podatke o tlačni trdnosti in prepustnosti zemljine. Opazovanja po zasutju se zanašajo na te podatke, ki tvorijo osnovo, na podlagi katere bodo narejene vse ocene. V drugem koraku moramo izmeriti vplive in določiti cilje varovanja. Vsa predvidevanja o prihodnjih reakcijah morajo temeljiti na razumevanju procesov propadanja. Faktorji, ki vplivajo na propadanje najdišč in njegovih delov in njihov relativni pomen za ohranjanje kulturnih vsebin, so prikazani na spodnji sliki:

Relativna pomembnost	Faktorji razpada
	Človeški vpliv in erozija
	Mokro-suho in zmrzovanje-tajanje
	Mokro aerobno okolje
	Oksidacija
	Tlak
	Makroorganizmi
	Zmrzovanje
	Mokro anaerobno okolje
	Kislo okolje
	Mikroorganizmi
	Premiki
	Rastlinstvo
	Bazično okolje
	Tajanje
	Sušenje
	Nalaganje/sedimentacija

Slika 2: Faktorji razpada in njihova relativna pomembnost (povzeto iz [4])

Različni procesi in komponente najdišča združeni v matriko predstavljajo model propadanja delov najdišča. Model je koristen tako pri razumevanju kot tudi pri predvidevanju napredovanja propadanja.

POGOJI NAJDIŠČA	DELI ARHEOLOŠKEGA NAJDIŠČA												
	Živalske kosti	Školjke	Rastline	Oglje	Kamnite najdbe (kristalne)	Kamnite najdbe (zrnate)	Keramika	Arheološke najdbe	Lastnosti zemljine	Kovine	Okoliščine	Izotopi	Topografija
Kislo okolje	P	P	Z	N	N	P	N	N	P	P	N	P	N
Bazično okolje	Z	Z	P	N	N	Z	N	N	P	P	N	N	N
Suho okolje	Z	Z	Z	Z	N	Z	N	N	N	Z	N	Z	N
Mokro anaerobno okolje	Z	Z	Z	P	P	P	P	P	P	P	N	P	P
Tlak	P	P	P	P	N	N	P	P	P	N	P	N	P
Premikanje	N	N	N	P	N	N	N	P	P	N	P	N	P
Ciklični mokro-suho	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	N	P	P
Mikroorganizmi	P	N	P	P	N	N	N	N	N	P	P	P	N
Makroorganizmi	P	P	P	P	N	P	N	P	P	N	P	N	N
Mokro aerobno okolje	P	P	P	P	N	P	P	P	P	P	N	P	N
Ciklično zmrzovanje tajanje	P	P	P	P	P	P	P	P	P	N	P	P	P
Zmrzovanje	P	P	P	P	N	P	P	N	Z	N	P	Z	N
Tajanje	N	N	N	N	N	P	N	N	P	N	P	P	N
Z = pogoj zavira propad P = pogoj pospešuje propad N = pogoj je nevtralen													

Preglednica 1: Model propadanja delov najdišča [3]

Kljub težavam, ki se jim lahko izognemo s skrbnim načrtovanjem, ima tehnika namernega zasutja številne prednosti: varovanje pred umetnimi procesi, kot so vandalizem, pljenje in vse razvojne dejavnosti. Vandalizem, ki ga opišemo kot namerno ali nenamerno uničenje ali poškodovanje virov, bo popolnoma preprečen, ker bo onemogočen neposredni dostop do najdišča in njegove vsebine. Zasutje bo vsaj otežilo, če že ne preprečilo pljenje za osebno zadovoljstvo ali denarno korist. Neposredno korist pa zasutje predstavlja pri varovanju pred razvojnimi dejavnostmi, posebej če je ekipa strokovnjakov pri načrtovanju določila take cilje. Premisliti je potrebno tudi o negativnih učinkih. Lahko namreč pride do sprememb v pH pogojih, učinka zbijanja - povečanje pritiska in zgoščevanje vsebine (upoštevati moramo tudi mehanski vpliv zaščitne plasti), nastanejo spremembe v fizičnih, kemičnih in drenažnih lastnostih, artefakti se lahko zlomijo ali pa se spremeni njihov položaj v stratigrafiji, možne so površinske spremembe, ki lahko spremenijo delovanje površinske erozije. Čeprav je trenutna tehnologija omejena pri popolnem ohranjanju, uspešno deluje pri preprečevanju nadaljnje izgube najdb. Če torej preišljujemo o namernem zasutju kot zaščiti, bo verjetno treba nekatere najdbe žrtvovati, da se bodo druge ohranile.

Throne v članku [3] zapiše tudi, da mora projektiranje prekrivanja potekati tako, da bo dosežena maksimalna zaščita pri minimalnih negativnih učinkih. Da bi lahko določili najboljši način, mora sodelovati ekipa strokovnjakov iz različnih področij. Ekipo naj sestavljajo arheolog, geolog in inženir

geotehnike. Njihovo delovanje mora biti povezano, ne pa serija neodvisnih korakov. Arheolog mora definirati različne razrede artefaktov, ki naj bodo ohranjeni in določiti kateri, če sploh, so lahko na koncu nezaščiteni in uničeni. Geolog mora pregledati osnovne zahteve za ohranitev (razrede artefaktov). Razumel naj bi proces razpada in se na podlagi tega odločil za nasipni material, ki bo najustreznejši. Naloga inženirja je projektirati postopek namernega zasutja. Razumeti mora, kako zaščitna plast vpliva na vsebino najdišča. To pomeni, da izračuna vse obtežbe, določi debelino zaščitne plasti, preveri, da deformacije ne bodo poškodovale najdb. Odgovoren je tudi za pravilno namestitvev prekrivnega sloja, da se najdišče ne bo sesedlo pod vplivom premikov težke mehanizacije, oziroma zaradi lastne teže nasipnega materiala. Uspešno sodelovanje med strokovnjaki bo odvisno od znanja, ki ga bodo člani ekipe delili med seboj.

Po navodilih Thorna [3] mora biti najdišče med mehanskim procesom zasipavanja zaščiteno. S predhodnim testiranjem določimo mejno obtežbo nasutja in opreme, ki ne poškoduje artefaktov in ostalih sestavin najdišča. S povečevanjem debeline zasutja se tlak, ki ga povzroča oprema, zmanjšuje. Prav tako se z globino zmanjšujejo in dušijo vibracije. Premisliti je potrebno o škodi, ki nastane zaradi prometa težke mehanizacije na zgornji plasti. Zato je potrebno, da je prva plast dovolj debela, da deluje kot blažilec. Da bi preprečili nenamerno mešanje materiala iz najdišča in nasutja, je priporočljivo, da ju ločimo s horizontalno oznako. Za to imamo na voljo več ločevalnih tkanin. Kot alternative lahko uporabimo umetno sterilni pesek, prod, žlindro, zaglinjen prod. Paziti moramo, da nov material ne spremeni kemičnih ali hidrostatičnih lastnosti.

Očitna prednost namernega zasutja je, da preprečimo površinsko erozijo najdišča. Če nasutje preseže mejo zmrzovanja, preprečimo nadaljnje zmrzovanje in tajanje. Nova površina nudi razbremenitev zaradi absorbiranega kislega dežja in zaščito pred dežjem. S ponovno vegetacijo poskrbimo za utrditev površine, prav tako pa razširimo možnost uporabe nove površine. S primernim projektiranjem lahko najdišče in utrjeno nasutje uporabimo kot dodatni nosilni sloj za parkirišče. Tudi kmetovanje lahko dovolimo po zasutju, vendar moramo z rednim opazovanjem zagotoviti minimalno škodo. Možnosti za kasnejšo rabo se morajo upoštevati že pri načrtovanju zasutja.

Pred zasutjem Thorne [3] predlaga, da razmislimo o več stvareh. Ena izmed njih je vzpostavitev sistema za označevanje, da bomo v prihodnosti lahko znova našli najdišče. To je še posebej pomembno, če so za najdišče v prihodnosti načrtovane nadaljnje znanstvene raziskave. Po končanem procesu moramo postaviti pogoje za opazovanje najdišča. V tem primeru to pomeni več kot samo mesečni inšpekcijski obiski. Najnižja stopnja opazovanja pomeni redno pregledovanje površine in zapisovanje teh spoznanj. Na naslednji stopnji se opazuje pogoje najdišča in z nekaj truda se odpravi morebitne težave. Najbolj zahtevno je določanje pogojev pod površino. Ker viri niso dostopni, je potrebno določiti način opazovanja že med projektiranjem. Obstajajo različni senzorji, ki merijo pritiske in premike v vodoravni in navpični smeri. Stabilizacija, varovanje in ohranjanje najdišč

postaja vse pomembnejše, zato je nujno, da so posamezni primeri prakse zapisani in dosegljivi. Moramo vedeti, kateri načini se uporabljajo in ali so uspešni ali ne. Bolje se je učiti iz napak, kot jih slepo ponavljati. Dokumentirani primeri zasutih najdišč lahko služijo kot tehnična in metodološka podpora, vendar mora biti vsako najdišče, ki bo namerno zasuto, obravnavano kot poseben primer. To je pomembno zaradi obsega individualnih spremenljivk posameznega najdišča. Vsako najdišče moramo presojati na podlagi njegovih lastnih notranjih in zunanjih sestavin, čeprav so nekatera najdišča v bližini.

Stroški so drugačni za vsako najdišče in so odvisni od več faktorjev. Del stroškov je nespremenljiv. V to štejemo: plače profesionalnih strokovnjakov (za projektiranje in izvedbo) in delavcev, geološke in inženirske vzorce, stroške analiz (za osnovni in nasipni material), postavitve stalnih oznak, stroški za material (oznake, ločilni sloj in njegova namestitve, nasuti material in njegov transport), revegetacija. Potrebno je upoštevati stroške za opazovanje in zagotoviti sredstva za opazovanje v prihodnosti.

Dokler ne bodo namerno zasuta najdišča izkopana in preiskana, se procedura šteje kot eksperimentalna. Osnovno pravilo po mnenju Kevina L. Jonesa [5] je, da nasutje ne sme biti debelo več kot 1 meter, oziroma mora biti take debeline, da prepreči motnje, ki bodo nastale v prihodnosti. To bo minimiziralo tveganje zaradi tlaka, hkrati pa bo nudilo dobro zaščito. Premisliti je potrebno tudi o debelini obstoječe vrhnje plasti zemljine, ki prekriva najdišče. Čeprav je del najdišča, jo lahko uporabimo kot zaščitni sloj za varovanje spodnjih plasti. Tanka plast (30 cm) dodane zemljine bo vključila zgornjo plast v zaščitni sloj.

Če nasutja ne izvedemo pravilno, lahko izničimo njegov zaščitni učinek. Namesto mehanizacije na kolesih uporabimo stroje na gosenicah. Stroji naj delujejo na zasuti površini in tako hkrati konsolidirajo dodani sloj. Tovornjaki, ki prevažajo material, ga morajo razložiti pred najdiščem, od tam ga bodo prestavili z žerjavom.

Preden se bo zakoreninilo spoznanje, da je varovanje najdišč primarna odgovornost, bodo prihodnje generacije raziskovalcev delale z okrnjenimi podatki. Na koncu pa moramo najti način, da zgodovino predstavimo vsem, ne samo strokovnjakom. Profesionalni arheologi, javni zgodovinarji in nadzorniki kulturnih virov predstavljajo majhen procent populacije, odgovorno bi bilo deliti znanje z vsemi, ki jih to zanima.

### **1.3 Zakonodaja v Sloveniji na področju varovanja kulturne dediščine**

Državna skrb za ohranjanje dediščine je regulirana z Zakonom o varstvu kulturne dediščine (ZVKD-1) [6], ki določa načine varstva kulturne dediščine in pristojnosti pri tem, z namenom omogočiti celostno

ohranjanje dediščine (1. člen). Varstvo dediščine je v javno korist. Javna korist varstva dediščine obsega:

- identificiranje dediščine, njenih vrednot in vrednosti, njeno dokumentiranje, preučevanje in interpretiranje,
- ohranitev dediščine in preprečevanje škodljivih vplivov nanjo,
- omogočanje dostopa do dediščine ali do informacij o njej vsakomur, še posebej mladim, starejšim in invalidom,
- predstavljanje dediščine javnosti in razvijanje zavesti o njenih vrednotah,
- vključevanje vedenja o dediščini v vzgojo, izobraževanje in usposabljanje,
- celostno ohranjanje dediščine,
- spodbujanje kulturne raznolikosti s spoštovanjem različnosti dediščine in njenih interpretacij ter
- sodelovanje javnosti v zadevah varstva. (2. člen)

Celostno ohranjanje pomeni sklop ukrepov, s katerimi se zagotavljajo nadaljnji obstoj in obogatitev dediščine, njeno vzdrževanje, obnova, prenova, uporaba in oživljanje (3. člen). V zakonu je zapisano, da so posegi v dediščino tudi vsa dela, ki se štejejo za gradnjo v skladu s predpisi o graditvi objektov. Zakon pa nam nalaga, da moramo z dediščino ravnati tako, da se zagotavlja čim večja ohranitev njenih kulturnih vrednot za prihodnost (36. člen). Vendar pa ZVKD-1 eksplicitno ne določa, s katerimi ukrepi in kako naj zaščitimo dediščino.

Slovenija je aprila 1999 sprejela zakon o ratifikaciji Evropske konvencije o varstvu arheološke dediščine (spremenjene) [7], ki je bila sklenjena januarja 1992. S tem se je zavezala, da bo na primeren način zagotovila pravni sistem za varstvo arheološke dediščine, ki med drugim ureja tudi ustanovitev arheoloških rezervatov, tudi če v njih ni vidnih sledov niti na površju zemlje niti pod vodo, zato da bi ohranili materialna pričevanja, ki jih bodo proučevali prihodnji rodovi in da bo arheološka dediščina zavarovana in vzdrževana, in to, če je le mogoče, tam, kjer je (in situ).

Na podlagi zgoraj napisanega vidimo, da je prekrivanje primerna rešitev, ki omogoči celostno zaščito arheološkega najdišča in situ.

#### **1.4 Namen in cilj**

Namen diplomske naloge je raziskati mehanske vplive, ki jih ima prekrivanje na arheološka najdišča. Opisala bom postopek in način izvedbe prekrivnega sloja in uporabljene materiale. Nato bom s programsko opremo Plaxis naštetu modelirala in na podlagi rezultatov te analize bom lahko določila,

kako se deformirajo deli arheološke dediščine. To bo služilo kot merilo, ali je postopek primeren za ohranjanje. Posledice, ki jih ima tak način varovanja na samo dediščino, nam bodo torej znane in arheologi se bodo lahko odločili, ali je to primeren način varovanja določenega najdišča.

Vsako arheološko najdišče je unikatno in se nahaja v razmerah, ki so značilne samo zanj. Zato bi morali vsako najdišče obravnavati kot samostojno enoto. Tako bi dobili rezultate, ki bi omogočili objektivno oceno tehnike zaščite. V diplomski nalogi bom analize najdišč omejila na dva osnovna primera temeljnih tal in preverila, kako se deformirajo različne arheološke najdbe, ki jih lahko pričakujemo.



## 2 ZAŠČITNI SLOJ ZA VAROVANJE ARHEOLOŠKIH NAJDB

### 2.1 Preiskovanje temeljnih tal, v katerih je najdišče

Preden lahko ocenimo vpliv zaščitne plasti na arheološko najdišče, moramo poznati okoliščine, v katerih se le-to nahaja. Prvi korak pri zbiranju informacij je pregled objavljenih del. Tako včasih dobimo rezultate obsežnih del, ki so že bila izvedena na preiskovanem mestu in je potrebno pridobiti malo dodatnih informacij. Pogosto pa dobimo samo splošne informacije o lastnosti zemljin. Pri iskanju informacij si pomagamo z naslednjimi obstoječimi viri [8]:

- geološkimi kartami, ki jih izdeluje Geološki zavod Slovenije. Geološka karta je grafični prikaz geološke zgradbe, starosti, litološke sestave in drugih pomembnih pojavov na topografski osnovi. Splošne geološke karte vsebujejo podatke o starosti in sestavi geoloških tvorb, specialne geološke karte prikazujejo teren za potrebe enega geološkega področja (specialke), npr. hidrogeološka, inženirsko geološka, geokemična, geotektonska,... Trenutno je na voljo Osnovna geološka karta Slovenije v merilu 1:100.000 [9]. Preučevanje lokalne geologije nas opozori, na morebitne probleme in nam pomaga pri interpretaciji podatkov, ki smo jih pridobili s površinskimi in podpovršinskimi preiskavami.
- Pedološkimi kartami in pedološkimi profili, ki se uporabljajo za kmetijske namene [10],
- poročili o geotehnični raziskavi tal projektov v bližini ali celo predhodnih projektov na isti lokaciji. Ta poročila so lahko zelo dragocena, saj vsebujejo informacije o vrtinah, preiskavah tal in druge pomembne podatke.
- Podatki o podtalnici, ki jih lahko pridobimo iz zemljevidov in poročil. Iz njih lahko razberemo kritičen primer podtalnice, ki se lahko zgodi v življenjski dobi projekta .

Poleg tega, da poznamo lastnosti zemljine in okoliščine, v katerih se nahaja najdišče, mora nekaj zahtev izpolnjevati tudi predviden zaščitni sloj, ki ga bomo izdelali:

- nasip mora imeti zadostno nosilnost, da bo podpiral obtežbo kasnejše rabe tal,
- nasip mora biti tako zgoščen, da ne bo prevelikih deformacij površine pod kasnejšo obtežbo,
- obe zgornji zahtevi morata biti izpolnjeni tudi v primeru, ko je nasipni material moker.

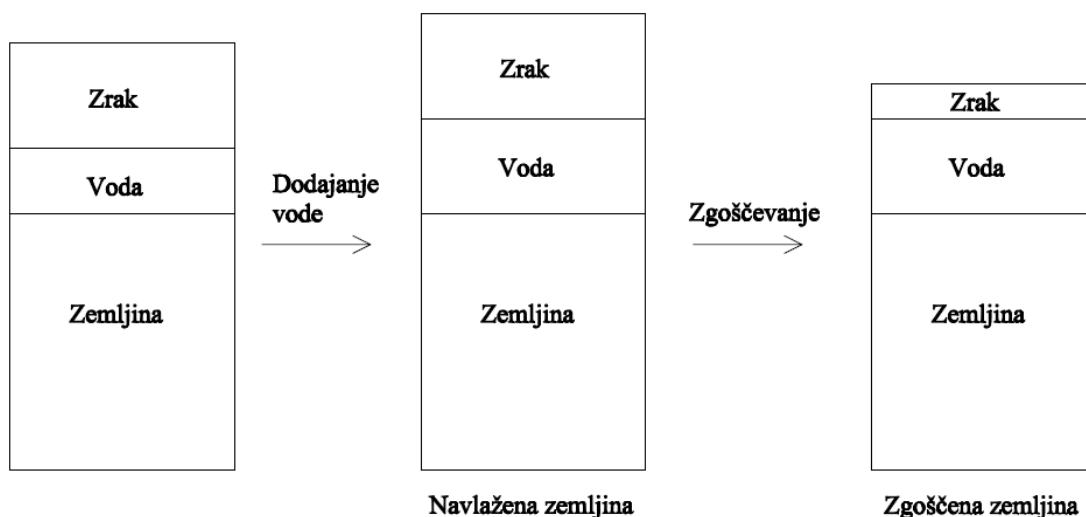
### 2.2 Gradnja zaščitnega sloja

Pred gradnjo zaščitnega sloja moramo ustrezno pripraviti temeljna tla, kjer bo zgrajen. Najprej moramo na zemljišču odstraniti vegetacijo, smeti, humus, ter morebitnih organske ali zelo razmočene plasti temeljnih tal. Pri tem moramo paziti, da ne odstranimo dela zemljine, v kateri so morebitne arheološke najdbe, ki jih hočemo zaščititi.

Na pripravljena tla nato pripeljemo nasipni material. Material položimo v horizontalnih plasteh, debelih približno 20 centimetrov. Pri vsaki plasti moramo preveriti vlažnost in zgoščenost, preden je položena nova plast. Zato lahko gradimo samo eno plast naenkrat.

Da dosežemo največjo zgoščenost zemljine, mora biti primerne vlažnosti. Naravna vlažnost materiala ni nujno primerna za takojšnjo vgradnjo in jo moramo prilagoditi. Če je material presuh, ga moramo navlažiti in nato z mešanjem poskrbeti, da je enakomerno navlažen. V primeru, da je material preveč moker, ga razgrnemo čez večjo površino in sušimo na soncu.

V naslednjem koraku nasipni material zgostimo in tako zmanjšamo njegov volumen. Na ta način povečamo suho prostorninsko težo in izboljšamo inženirske lastnosti nasipnega materiala. Ker so deli zemljine in voda nestisljivi in je izcejanje vode med stiskanjem onemogočeno, poteka zgoščevanje na račun zmanjševanja prostornine zraka. Tako ostane prostornina delov zemljine in vode nespremenjena.



Slika 3: Prikaz zgoščevanja zemljine

K zgoščevanju materiala prispeva že mehanizacija, ki jo uporabljamo med gradnjo. Vendar pa se samo na tako zgoščevanje ne moremo zanašati zaradi naslednjih razlogov:

- gradbena mehanizacija je načrtovana tako, da je kontaktni pritisk med gosenicami ali kolesi stroja in zemljino čim manjši, tako da je omogočeno hitrejše premikanje po mehki podlagi,
- navadno poteka premikanje strojev po ustaljenih poteh, zato so zgoščeni samo deli nasipa, ne pa celota.

Zato moramo uporabljati posebno opremo, namenjeno kompaktiranju. Vsa oprema temelji na enem izmed naslednjih načinov:

- kontaktni pritisk mehanizacije, ki povzroči zgoščevanje zemljine,
- serija udarcev v zemljino, npr. spuščanje uteži,

- vibracije.

Primeren izbor načina in opreme izberemo glede na tip nasipnega materiala, velikosti projekta, zahtev zgoščevanja,...

Ko namestimo zadnjo plast, moramo z zapolnjevanjem in odvzemanjem materiala zagotoviti, da je dosežena načrtovana konfiguracija [8].

### 2.3 Zgoščevanje zemljin

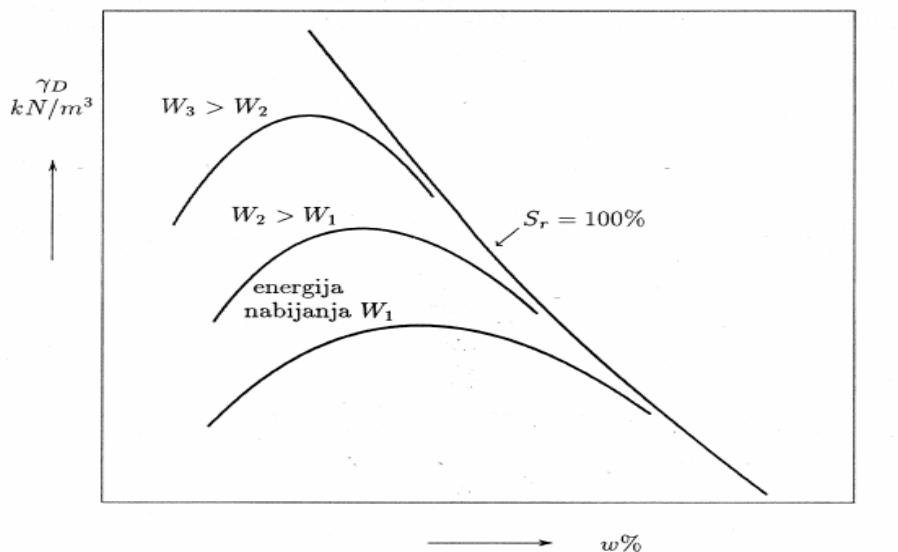
Zgoščevanje nasipnega materiala je eden izmed najpomembnejših delov gradnje zaščitnega sloja. Na ta način izboljšamo naslednje lastnosti materiala:

- povečanje strižne trdnosti, ki poveča nosilnost zaščitnega sloja,
- zmanjšanje stisljivosti, kar zmanjša možnosti za velike posedke,
- zmanjšanje količnika por, kar zmanjša količino vode, ki je lahko v zemljini in s tem ohrani zelene trdnostne lastnosti,
- povečanje odpornosti proti eroziji, kar ohrani površino v uporabnem stanju.

Stopnja zgoščenosti je odvisna od:

- tipa materiala,
- metode kompaktiranja,
- energije zgoščevanja,
- vlažnosti materiala.

Za določanje stopnje kompaktiranja uporabljamo suho prostorninsko težo, kjer pomeni višja vrednost boljšo kvaliteto. Eden izmed ključnih vidikov je vpliv vlažnosti na zgoščevanje. Za oceno tega vpliva izvedemo laboratorijski test, Proctorjev preizkus, pri katerem ob konstantni energiji zgoščevanja spremljamo odnos med suho prostorninsko težo in vlažnostjo. Rezultat tega testa je krivulja zgoščenosti, iz katere razberemo vlažnost  $w_0$ , ki jo imenujemo optimalna, pri kateri ima zemljina največjo suho prostorninsko težo,  $\gamma_{d,max}$ . Z večanjem energije zgoščevanja je dosežena največja  $\gamma_{d,max}$  pri manjšem  $w_0$  [8].



Slika 4: Krivulja zgoščevanja

Pri gradnji zaščitnega sloja, ki bo varoval arheološke najdbe, moramo upoštevati, da bo zgoščevanje zemljine vplivalo tudi na artefakte v temeljnih tleh.

#### 2.4 Materiali za izgradnjo zaščitnega sloja

Različne vrste zemljin se med seboj razlikujejo, kljub temu pa lahko zemljine, ki imajo podobne lastnosti, n.pr. granulometrični sestav, lezne meje, gostota, občutljivost, itd. razvrstimo v skupine z značilnimi lastnostmi, ne da bi s tem podali njihovo splošno kvalifikacijo. Obstoji cela vrsta klasiifikacijskih sistemov. Danes se najbolj pogosto uporablja modificirana AC klasiifikacija zemljin.

Po modificirani AC klasiifikaciji razvrščamo zemljine s podobnimi lastnostmi v tri glavne skupine zemljin:

- debelozrnate (nekoherentne, sipke, nevezljive)
- drobnozrnate (koherentne, vezljive) zemljine in
- šote.

Prva skupina se deli v dve podskupini:

- v gramoze G in
- peske S,

druga pa v tri podskupine:

- v melje M,
- organske zemljine O in
- gline C.

Šot (Pt) ne delimo v podskupine.

Po tej klasifikaciji se vsaka vrsta zemljine označuje z dvema simboloma - črkama. Prva črka označuje eno od šestih podskupin glavnih vrst zemljin, drugi simbol pa nadaljnjo delitev vsake od podskupin.

Za razvrstitev zemljin v skupino debelozrnate zemljin je odločilna zrnavost oz. granulometrični sestav zemljine, razvrstitev zemljin v skupino drobnozrnate zemljin pa narekuje plastičnost zemljine (meja židkosti  $w_L$  in indeks plastičnosti  $I_p$ ). Po modificirani AC klasifikaciji ločimo 15 vrst različnih zemljin:

- debelozrnate zemljine ločimo v 8 različnih vrst:
  - gramozi (G): GW, GP, GC, GM,
  - peski (S): SW, SP, SC, SM,
- koherentne zemljine pa v 6 različnih vrst:
  - melji (M): ML in MH
  - organske zemljine (O): OL in OH
  - gline (C): CL in CH

Drugi indeksi pri označbah debelozrnate zemljinah imajo sledeč pomen:

W ... dobro stopnjevana zrnavost,

P ... slabo stopnjevana zrnavost,

M ... gramoz (pesek) s preobilno količino melja (zameljen material),

C ... gramoz (pesek) s preobilno količino gline (zaglinjen material).

Drugi indeksi pri označbah drobnozrnate zemljin imajo sledeč pomen:

H ... zelo stisljiva zemljina,

L ... malo stisljiva zemljina [11].

Za gradnjo zaščitnega sloja so nekateri materiali bolj primeri kot drugi [8]:

- gramozi (GW, GP, GM, GC) so primeren material za gradnjo zaščitnega sloja, ker imajo visoko trdnost in so malo stisljivi. Trdnost ohranijo tudi, ko so mokri. GW in GP imajo visoko hidravlično prevodnost, ki omogoča hitro dreniranje. Pri kompaktiranju gramozov lahko dosežemo visoko vrednost suhe prostorninske teže pri širokem razponu vlažnosti.
- Peski (SW, SP, SM, SC) so dobri materiali za gradnjo nasipa, ker imajo visoko trdnost in so malo stisljivi. SW in SP ohranijo vso trdnost tudi, ko so mokri, SM in SC pa je nekaj izgubijo. Če so peski preveč mokri ali preveč suhi, jih brez težav pripravimo za optimalno vlažnost. Kompaktiramo jih lahko pri širokem razponu vlažnosti. Vse peščene zemljine so izpostavljene površinski eroziji, zato jih moramo zaščititi, npr. z vegetacijo. Če je zmerna hidravlična prevodnost SM in SC sprejemljiva, so to idealni materiali za gradnjo nasipov.
- Nizkoplastični melji in gline (ML in CL) so manj zaželeni kot SM ali SC, ker izgubijo več trdnosti, ko so mokri. Zahtevajo več nadzora nad vlažnostjo in jih težje posušimo, če je

njihova vlažnost prevelika. Nagnjeni so tudi k zmrzovanju. Kljub vsemu pa so lahko material za gradnjo nasipa.

- Če zahtevamo nizko hidravlično prevodnost, so visokoplastični melji in gline (MH in CH) najbolj primerni materiali. Sicer pa je ravnanje z njimi zahtevno, težko jih kompaktiramo, posebno ko imajo previsoko vlažnost. Ko so mokri, nabreknejo, njihova trdnost pa se močno zmanjša.
- Organske zemljine (OL in OH) so slaba izbira za nasipni material in so neprimerne za večino aplikacij. So slabo nosilne, stisljive in težko jih kompaktiramo. Nikoli jih ne namestimo na kritičnih mestih, najbolje je, da jih odstranimo.
- Šota (Pt) je zelo slaba za vgradnjo. Ima majhno nosilnost, je stisljiva in neprimerna za podporo stavb in cest. Idealna pa je za krajinsko ureditev, ker je rodovitna.
- Odpadni materiali (elektrofiltrski pepel s sloji grušča, steklo, na koščke narezane avtomobilske pnevmatike pomešane z zemljino, ...).

Za stabilizacijo materialov se odločamo, ko [12]:

- so razpoložljivi materiali prevlažni za vgradnjo (izboljšanje),
- izkazujejo prenizke mehanske lastnosti (stabilizacija),
- so neodporni na škodljive učinke vode (utrditev).

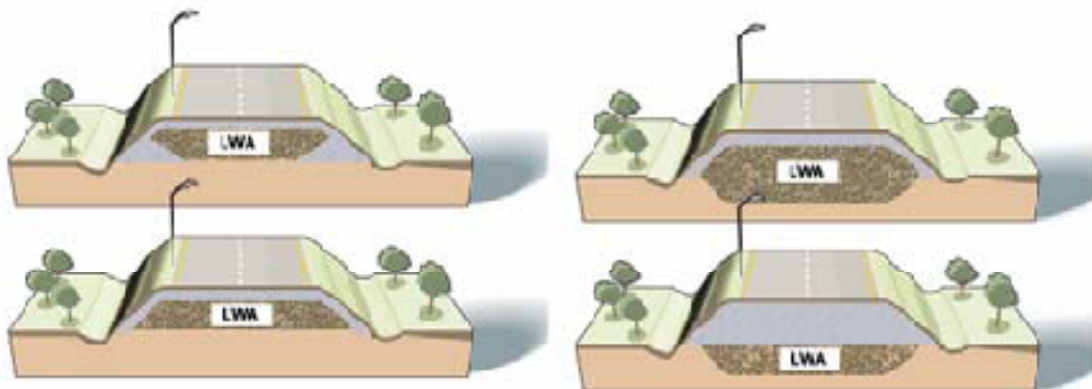
Za izboljšanje zemljin za vgradnjo v nasipe uporabljamo apno, cement, elektrofiltrski pepel, žlindre in njihove kombinacije. Cement, elektrofiltrski pepel in žindra kot anorganska veziva so primerna za vse grobo in srednjezrnate zemljine ter za nizko plastične drobnozrnate zemljine, ki se dajo predrobiti in homogeno premešati. Njihova uporaba je zlasti primerna za povečanje odpornosti zemljin na škodljive učinke vode (zunanja in notranja erozija, porušitev strukture ter utekočinjenje). Apno je primerno za drobnozrnate in srednjezrnate plastične zemljine, ki se dajo homogeno predrobiti in premešati. Uporaba apna je predvsem primerna za tovrstne zemljine, ki so prevlažne za neposredno vgradnjo v nasip. Uporablja se tudi pri visokoplastičnih zemljinah za znižanje plastičnosti in s tem zmanjša deformabilnost ter pospeši konsolidacija (značilni dodatki apna so 2 do 5% na suho težo zemljine). Elektrofiltrski pepel je primeren tudi za drobnozrnate zemljine s previsoko vlažnostjo. Posebej je uporaba elektrofiltrskega pepela priporočljiva v kombinaciji s cementom ali apnom, saj močno poveča učinke izboljšanja.

Izbira materiala je zelo odvisna od masne bilance projekta, razpoložljivih stranskih odvzemov in drugih virov surovin, od geometrije nasipa ter od lastnosti temeljnih tal.

## 2.5 Ukrepi za zmanjšanje deformacij v temeljnih tleh

### 2.5.1 Nasipni materiali z majhno prostorninsko težo

Zaščitni sloj, zgrajen iz običajnega materiala, ima veliko lastno težo. To pomeni dodatno obremenitev za arheološke najdbe in lahko povzroča dodatne probleme, kot na primer velike posedke v primeru mehkih tal. Da se izognemo tem težavam, lahko za gradnjo uporabimo posebne materiale z majhno prostorninsko težo. Na voljo je več različnih materialov, kot so cementni materiali s prostorninsko težo med 3,8 in 12,6 kN/m<sup>3</sup>, razrezane pnevmatike, pomešane z zemljino, ekspanzirana glina, penjeno steklo in materiali, kot sta ekspandiran (EPS) in ekstrudiran polistiren (XPS). Njihova prostorninska teža je samo 0,2 kN/m<sup>3</sup>, pri tem pa imajo dovolj veliko trdnost, da prenašajo velike obtežbe, npr. obtežbe zaradi vozil [8]. V primerih, ki so analizirani v sledečih poglavjih, sem za lažji nasipni material izbrala ekspanzirano glino s prostorninsko težo 5 kN/m<sup>3</sup>.



Slika 5: Materiali z majhno prostorninsko težo (LWA) v nasipu

### 2.5.2 Uporaba geosintetikov

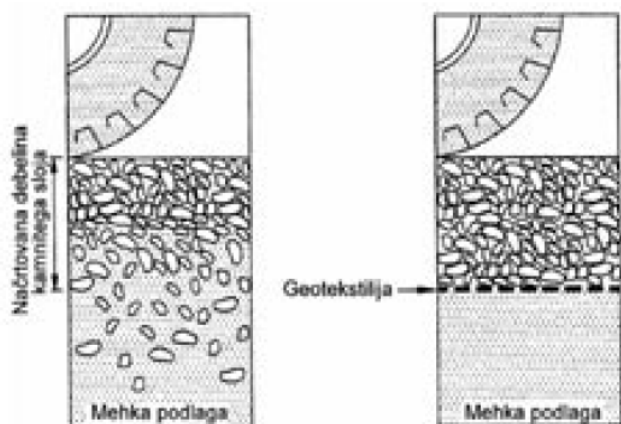
Na svetovnem trgu lahko danes najdemo več kot 600 različnih vrst geosintetikov. Izdelani so iz različnih polimernih materialov, po različnih tehnoloških postopkih in imajo zelo različne mehanske in hidravlične lastnosti. Geosintetiki opravljajo šest oz. sedem glavnih funkcij:

- ločevanje (separiranje),
- filtriranje,
- dreniranje,
- zaščita in protierozijska zaščita,
- ojačitev,
- tesnjenje.

Načrtovanje lastnosti geosintetikov vedno določa njegova primarna vloga, čeprav geosintetik največkrat opravlja tudi več pomožnih vlog. Obremenitve, ki jim je geosintetik izpostavljen v času gradnje, so pogosto veliko večje od obremenitev, ki jim bo izpostavljen kasneje, v življenjski dobi objekta. Med vgradnjo poškodovan geosintetik ne more opravljati svoje vloge. Pri načrtovanju lastnosti geosintetikov je zato vselej potrebno upoštevati pogoje gradnje [13]. Primarna vloga geosintetika v obravnavnih primerih bo ločevanje in ojačevanje.

Kadar načrtujemo rabo geosintetika za vgradnjo med glinasto zemljino v temeljnih tleh in peščenim nasipom, je primarna vloga geosintetika ločevanje dveh, po lastnostih povsem različnih geomaterialov: gline in peska. Govorimo o ločilnem in ne o filtrskem geosintetiku, kot se v vsakdanji praksi to pogosto opredeljuje. Vendar pa ima geosintetik tudi vlogo filtra, a je filtriranje v tem primeru šele drugotnega pomena (Slika 6). Na izbiro geosintetika za ločilne plasti, ki je običajno geotekstilija, odločilno vplivajo:

- sestava in lastnosti podlage (temeljnih tal), predvsem nosilnost in deformabilnost,
- lastnosti nasipnih materialov, velikost zrn, stopnja zaobljenosti zrn,
- pogoji vgrajevanja,
- prometna obremenitev.



Slika 6: Ločilni geosintetik preprečuje mešanje dveh vrst materialov in na dolgi rok ohranja kakovost in debelino vgrajene plasti iz kamnitega materiala

Na izbiro geosintetika za ločilne plasti pa na primer ne vpliva gramatura geosintetika. Za ločevanje se največ uporabljajo geotekstilije.

Če bo primarna vloga geosintetika ojačitev, potem je konstrukcijsko načelo armiranja zemljin podobno kot pri armiranju betona: v zemljino, ki ima določeno tlačno in strižno trdnost a majhno ali nično natezno odpornost, vgradimo armaturni geosintetik, ki ima visoko natezno trdnost, tako da se napetosti iz osnovnega materiala s trenjem in adhezijo prenesejo na armaturo. Pogosto se uporabljajo



pri gradnji prometnic za ojačitev mehkih tal, za vgradnjo med nasute plasti iz kamenega agregata z namenom, da preprečimo razrivanje kamnitih zrn ali ustvarjanje prevelikih kolesnic na nevezanih plasteh, zelo obsežno je področje rabe geosintetikov pri armiranju nasipov in gradnji najrazličnejših podpornih konstrukcij. Za armiranje se uporabljajo predvsem geotekstilije in geomreže [13].

## 2.6 Napetosti v temeljnih tleh zaradi zaščitnega sloja [14]

Temeljna tla sestavljajo različne plasti zemljin in/ali kamnin. Posamezne plasti se med seboj razlikujejo po legi v polprostoru, po debelini in po mehanskih lastnostih (deformabilnost, prepustnost in trdnost). Predvsem za zemljine velja, da so to kompoziti, sestavljeni iz zrnja različnih velikosti in oblik, med zrnjem pa so praznine v celoti zapolnjene z vodo ali z zrakom ali pa deloma z zrakom in deloma z vodo. Vse mehanske lastnosti (deformabilnost, prepustnost in trdnost) so odvisne od gostote (poroznosti). Predpostavim majhne arheološke najdbe, zato njihova togost ne bo vplivala na togost temeljnih tal in se bodo najdbe deformirale tako, kot se bodo deformirala temeljna tla.

Gradnja zaščitnega sloja bo povzročila spremembo napetostnega stanja v temeljnih tleh. Ker so deformacijski parametri (n.pr.: elastični modul  $E$ , Poissonovo število  $\nu$ ) odvisni od prvotnih in novih napetostnih stanj, moramo poznati prvotno napetostno stanje (običajno zaradi lastne teže tal), dodatne napetosti, ki jih povzročijo obtežbe temeljnih tal (obtežbe nasipa, gradbenih objektov) in nova napetostna stanja. Pri računu deformacij pa predpostavimo, da so se zaradi lastne teže temeljnih tal že izvršile in računamo samo deformacije zaradi obtežbe.

Običajno zgodovino napetostnih sprememb simbolično označimo z indeksom (grške črke):

- prvotno napetostno stanje tako označimo s:  $\sigma_{ij,\alpha}$ ,
- dodatne napetosti označimo s:  $\Delta\sigma_{ij}$ ,
- novo napetostno stanje pa označimo s:  $\sigma_{ij,\beta}$ .

Novo napetostno stanje v temeljnih tleh (zaradi gradbenega posega) dobimo tako, da k prvotnim napetostim (običajno zaradi lastne teže tal) prištejemo dodatne napetosti (zaradi obtežbe temeljnih tal). Mehanske lastnosti zemljin določamo eksperimentalno s terenskimi ali laboratorijskimi preizkusi. Pogostokrat so mehanske lastnosti (deformabilnost, prepustnost in trdnost) podane v odvisnosti od prvotnih in novih napetostnih stanj.

Napetosti v polprostoru zaradi lastne teže tal:

Totalne verikalne napetosti:

$$\sigma_{zz}(z_2) = \sigma_{zz}(z_1) + \int_{z_1}^{z_2} \gamma(z) dz \quad (1)$$

Porni tlaki:

$$u(z_2) = u(z_1) + \int_{z_1}^{z_2} \gamma_w dz \quad (2)$$

Efektivne napeosti:

$$\sigma'_{zz}(z_2) = \sigma_{zz}(z_2) - u(z_2) = \sigma'_{zz}(z_1) + \int_{z=z_1}^{z_2} (\gamma(z) - \gamma_w) dz \quad (3)$$

$$\sigma'_{xx} = \sigma'_{yy} = \sigma'_{zz} \cdot K_0 \quad (4)$$

$$\sigma'_{xy} = \sigma'_{yz} = \sigma'_{zx} = 0 \quad (5)$$

$$K_0 = 1 - \sin \varphi, \quad K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}, \quad K_0 = \text{ocena meritev} \quad (6)$$

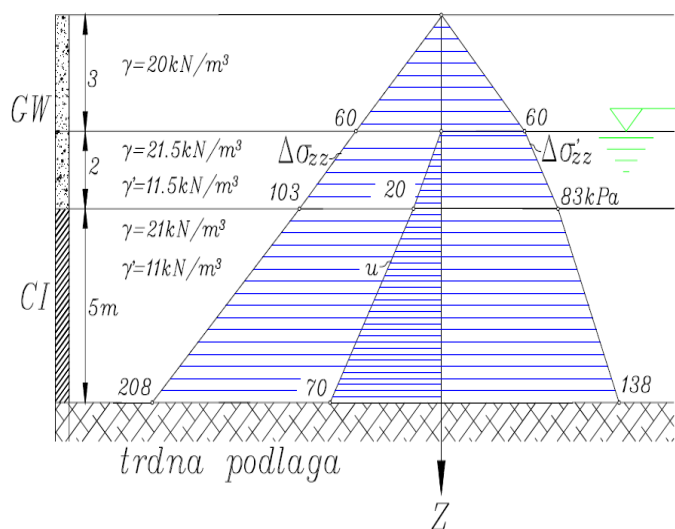
Totalne napetosti:

$$\sigma_{xx}(z_2) = \sigma'_{xx}(z_2) + u(z_2) \quad (7)$$

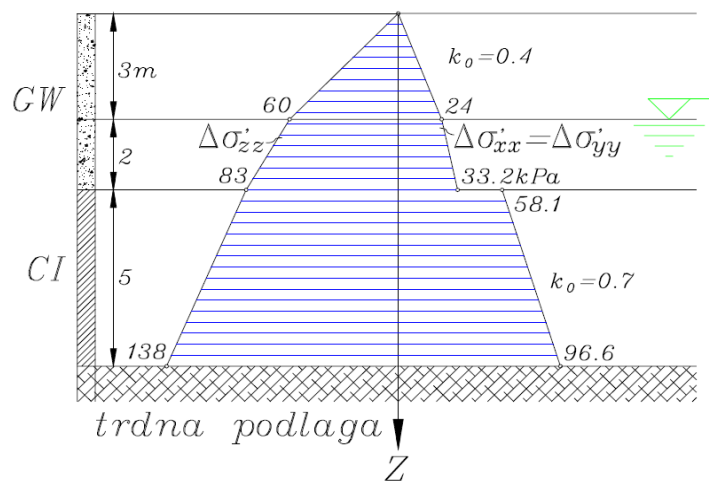
$$\sigma_{yy}(z_2) = \sigma'_{yy}(z_2) + u(z_2) \quad (8)$$

$$\sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{zx} = 0 \quad (9)$$

Napetostno stanje v polprostoru zaradi lastne teže tal je osno-simetrično. Vertikalne napetosti se po posameznemu sloju zemljine, ki sestavlja temeljna tla, spreminjajo (večajo z globino) linearno. Diagram vertikalnih napetosti je z globino zvezen (na mejnicah posameznih slojev ni preskokov). Vodoravne napetosti se po posameznemu sloju zemljine, ki sestavlja temeljna tla, spreminjajo (večajo z globino) linearno. Diagram vodoravnih napetosti z globino ni zvezen (na mejnicah posameznih slojev so preskoki zaradi različnega količnika mirnega zemeljskega pritiska  $K_0$ ). Strižne napetosti so nične zaradi osne simetrije.

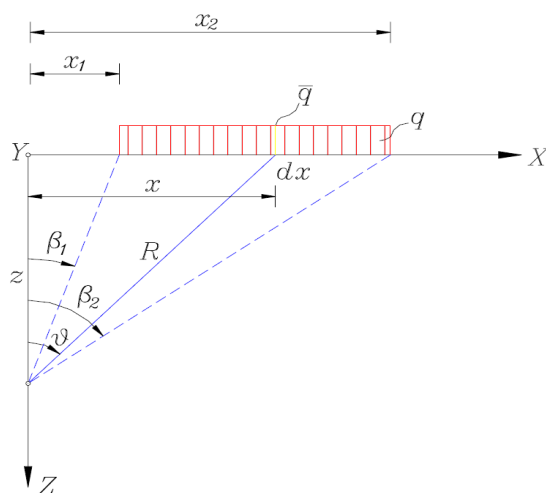


Slika 7: Primer diagrama totalnih in efektivnih vertikalnih napetosti v temeljnih tleh zaradi lastne teže tal



Slika 8: Primer diagrama efektivnih vertikalnih in vodoravnih napetosti v temeljnih tleh zaradi lastne teže tal

Zaščitni sloj je brezkrajna pasovna (trakasta) obtežba na površju temeljnih tal, ki povzroča dodatne napetosti.



Slika 9: Obremenitev temeljnih tal s pasovno obtežbo

$$\bar{q} = q \cdot dx \quad (10)$$

$$\Delta\sigma_{xx} = \int_{x=x_1}^{x_2} \frac{2q \cdot dx}{\pi \cdot R} \sin^2 \vartheta \cos \vartheta \quad (11)$$

$$R = R(x), \quad \vartheta = \vartheta(x) \quad (12)$$

Do končnega rezultata pridemo lažje, če izvedemo integracijo po spremenljivki  $\vartheta$ .

$$x = z \cdot \tan \vartheta \Rightarrow dx = \frac{z \cdot d\vartheta}{\cos^2 \vartheta} \quad (13)$$

$$\cos \vartheta = \frac{z}{R} \Rightarrow R = \frac{z}{\cos \vartheta} \quad (14)$$

$$\Delta\sigma_{xx} = \int_{\vartheta=\beta_1}^{\beta_2} \frac{2q \left( \frac{z \cdot d\vartheta}{\cos^2 \vartheta} \right)}{\pi \left( \frac{z}{\cos \vartheta} \right)} \sin^2 \vartheta \cos \vartheta = \frac{2q}{\pi} \int_{\vartheta=\beta_1}^{\beta_2} \sin^2 \vartheta d\vartheta \quad (15)$$

$$\int_{\vartheta=\beta_1}^{\beta_2} \sin^2 \vartheta d\vartheta = \left[ \frac{1}{2} \vartheta - \frac{1}{4} \sin 2\vartheta \right]_{\vartheta=\beta_1}^{\beta_2} = \left[ \frac{1}{2} \beta_2 - \frac{1}{4} \sin 2\beta_2 - \frac{1}{2} \beta_1 + \frac{1}{4} \sin 2\beta_1 \right] \quad (16)$$

$$\tan \beta_1 = \frac{x_1}{z}, \quad \tan \beta_2 = \frac{x_2}{z} \quad (17)$$

Uvedemo substituciji:

$$2\varepsilon = \beta_2 - \beta_1, \quad 2\psi = \beta_2 + \beta_1 \quad (18)$$

$$\frac{1}{2}(\beta_2 - \beta_1) - \frac{1}{4}(\sin 2\beta_2 - \sin 2\beta_1) = \frac{1}{2}[2\varepsilon - \sin 2\varepsilon \cdot \cos 2\psi] \quad (19)$$

$$\Delta\sigma_{xx} = \frac{q}{\pi}(2\varepsilon - \sin 2\varepsilon \cdot \cos 2\psi) \quad (20)$$

Celoten napetostni tenzor:

$$\Delta\sigma_{xx} = \frac{q}{\pi}(2\varepsilon - \sin 2\varepsilon \cdot \cos 2\psi) \quad (21)$$

$$\Delta\sigma_{yy} = \frac{2q}{\pi} \nu 2\varepsilon \quad (22)$$

$$\Delta\sigma_{zz} = \frac{q}{\pi}(2\varepsilon + \sin 2\varepsilon \cdot \cos 2\psi) \quad (23)$$

$$\Delta\sigma_{xy} = 0 \quad (24)$$

$$\Delta\sigma_{yz} = 0 \quad (25)$$

$$\Delta\sigma_{xz} = \frac{q}{\pi} \sin 2\varepsilon \cdot \sin 2\psi \quad (26)$$

Geometrijske količine:

$$2\varepsilon = \beta_2 - \beta_1, \quad 2\psi = \beta_2 + \beta_1 \quad (27)$$

$$\tan \beta_1 = \frac{x_1}{z}, \quad \tan \beta_2 = \frac{x_2}{z} \quad (28)$$

Brezkrajna linijska obtežba povzroči v polprstoru ravninsko deformacijsko stanje:

$$\varepsilon_{yy} = 0, \quad \Delta\sigma_{yy} = \nu(\Delta\sigma_{xx} + \Delta\sigma_{zz}) \quad (29)$$

V ravnini  $(x,z)$  so vse dodatne napetosti neodvisne od kvalitete zemljine. Vsi diagrami dodatnih napetosti, ki jih povzroči brezkrajna linijska obtežba, so z globino zvezni (ni preskokov na mejnicah slojev različnih zemljin).

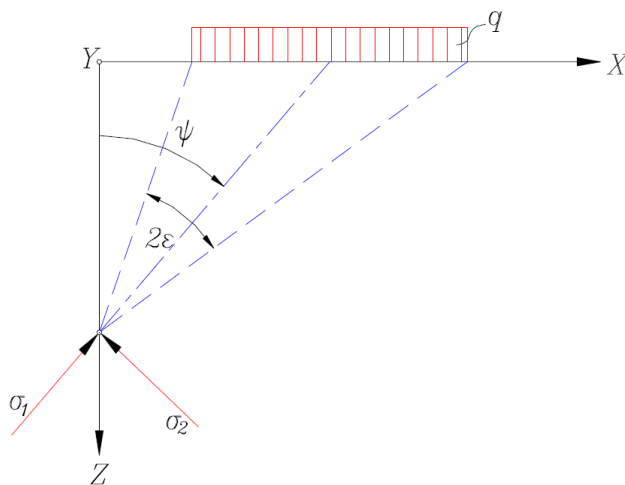
Prirastki glavnih napetosti za brezkrajno pasovno obtežbo (ravninsko deformacijsko stanje):

$$\Delta\sigma_1 = \frac{q}{\pi}(2\varepsilon + \sin 2\varepsilon) \quad (30)$$

$$\Delta\sigma_2 = \frac{q}{\pi}(2\varepsilon - \sin 2\varepsilon) \quad (31)$$

$$\Delta\sigma_3 = \Delta\sigma_{yy} = \frac{2\bar{q}}{\pi}v2\varepsilon \quad (32)$$

Smer prirastka večje glavne napetosti oklepa kot  $\psi$  z navpično osjo (poteka po simetrali kota med tvorilkama, ki povezujeta točko v polprostoru s krajiščema pasovne obtežbe na površju temeljnih tal). Smer prirastka druge glavne napetosti je pravokotna na smer prirastka prve glavne napetosti, smer prirastka tretje glavne napetosti pa ima smer osi  $y$ . Smeri prirastkov glavnih napetosti v ravnini  $x, z$  ponazarjajo tangente na hiperbole ( $\sigma_1$ ) in tangente na elipse ( $\sigma_2$ ), katerih žarišči sta krajišči pasovne obtežbe na površju tal.



Slika 10: Smeri dodatnih glavnih napetosti v temeljnih tleh zaradi pasovne obremenitve

Nova napetostna stanja, ki jih v temeljnih tleh povzročijo različne obtežbe temeljnih tal (gradbeni objekti), moramo poznati tudi zato, da lahko presodimo, ali so nova napetostna stanja v temeljnih tleh manjša od mejnih napetostnih stanj. Mejna napetostna stanja so takšna, pri katerih bi prišlo v temeljnih tleh do naraščanja deformacij (premikov) proti brezkrajnim vrednostim do porušitve tal in gradbenega objekta.

Deformacije temeljnih tal (zemljine) se zaradi spremembe napetostnih stanj izvršijo na račun zmanjševanja praznin med zrnjem. Običajno se deformacije tal, čeprav jih obremenimo hipno, ne

izvršijo takoj. Zato da se iz praznin med zrnjem iztisne ustrezna prostornina zraka na površje temeljnih tal ali da se iz praznin med zrnjem izcedi ustrezna prostornina vode na površje tal, je potreben ustrezen čas. Pravimo, da se temeljna tla (zemljina) pod obtežbo konsolidirajo (gostijo).

V procesu konsolidacije se spreminja razmerje med medzrnski tlaki (efektivne napetosti) in med tlakom v prazninah (pornimi tlaki) temeljnih tal (zemljine). Vsaka obtežba temeljnih tal spremeni napetostna stanja v temeljnih tleh (zemljini). Dodatne napetosti, ki jih povzročijo v temeljnih tleh obtežbe na površju tal in ki smo jih izračunali iz ravnovesnih enačb, imenujemo totalne dodatne napetosti. Za zemljine lahko zapišemo naslednje zveze med totalnimi in efektivnimi napetostmi in pornimi tlaki:

$$\sigma_{ij} = \sigma'_{ij} + \delta_{ij} \cdot u \quad (33)$$

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} - \delta_{ij} \cdot u \quad (34)$$

ali

$$\Delta \sigma_{ij} = \Delta \sigma'_{ij} + \delta_{ij} \cdot \Delta u \quad (35)$$

$$\Delta \sigma'_{ij} = \Delta \sigma_{ij} - \delta_{ij} \cdot \Delta u \quad (36)$$

Napetosti, ki so dodatno označene s črtico, so efektivne napetosti, druge napetosti (brez črtice) so totalne napetosti. Kroneckerjev simbol  $\delta_{ij}$  ima vrednost 1, če sta indeksa  $i$  in  $j$  enaka (normalne napetosti) in 0 če sta indeksa  $i$  in  $j$  različna (strižne napetosti). Porni tlak (označili smo ga s črko  $u$ ) je hidrostatska napetost (normalna in enako velika v vseh smereh).

Totalne napetosti se s časom ne spreminjajo, pač pa se s časom spreminja razmerje med efektivnimi napetostmi in pornimi tlaki. Ker se zrak in voda iz zemljine iztiskata, se porni tlak zato zmanjšuje, zrnje prehaja v gostejšo lego, na ta račun pa se medzrnski tlaki (efektivne napetosti) povečujejo.

Če želimo iz znane vsote dveh količin (totalne napetosti) izraziti eno količino (n. pr. efektivne napetosti), moramo poznati bodisi drugo količino (n. pr. porni tlak) ali pa razmerje med obema količinama. Pri zemljinah lahko pri znani spremembi totalnih napetosti izračunamo v vsakem času spremembo pornih tlakov, torej bomo efektivne napetosti izračunali kot razliko totalnih napetosti in pornih tlakov.

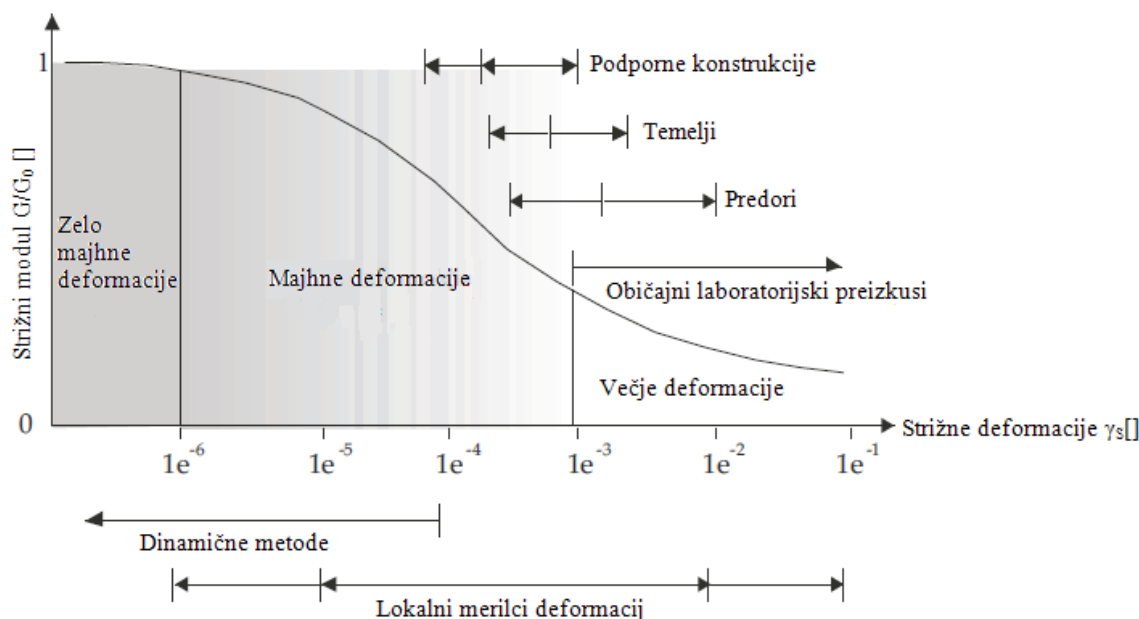
### 3 RAČUNSKI MODELI

#### 3.1 Programska oprema Plaxis

Vsi izračuni so bili narejeni s programskim orodjem Plaxis 2D 2010, ki je izdelek podjetja Plaxis iz Nizozemske.

Plaxis 2D je dvodimenzionalen program, ki temelji na metodi končnih elementov. Uporabljamo ga za izračun deformacij in stabilnosti pri različnih geotehničnih problemih. Program uporablja grafični vmesnik, ki uporabniku omogoča enostavno definiranje geometrije, pripisovanja materialnih karakteristik in generiranje mreže končnih elementov.

Mehansko obnašanje zemljin lahko opišemo z različnimi stopnjami natančnosti. Plaxis za to ponuja več različnih modelov. Najenostavnejši je linearen izotropen elastičen način. Ta model ni najbolj primeren, saj je dejansko obnašanje zemljine nelinearno in neelastično. Pri tem modelu napetosti niso omejene, zato ima zemljina neskončno trdnost. Bolj natančen je Mohr-Coulombov model, ki zajema linearno elastično popolno plastično obnašanje, vendar pa ne upošteva, da je togost odvisna od napetosti in anizotropije. Pri modelu utrjevanja zemljine (Hardening soil model) so te značilnosti upoštevane. To je napreden model, ki za opis togosti zemljine uporablja tri različne togosti: triosno togost,  $E_{50}$ , triosno razbremenilno togost,  $E_{ur}$  in edometerski modul,  $E_{oed}$ . V odsotnosti merjenih vrednosti lahko za različne zemljine upoštevamo naslednje zveze:  $E_{ur} \approx 3E_{50}$ ,  $E_{oed} \approx E_{50}$ , za zelo mehke in toge zemljine pa lahko sami podamo razmerje  $E_{oed} / E_{50}$ . Še nekoliko modificiran in dopolnjen model predstavlja model utrjevanja zemljine z upoštevanjem malih deformacij (HS small). Ta model upošteva povečano togost pri majhnih deformacijah. V večini tal se nepovratne (plastične) deformacije pojavijo pri specifičnih deformacijah, ki so manjše od 0,001% tako, da se izrazito nelinearno napetostno deformacijsko obnašanje nadaljuje pri vseh večjih deformacijah, kot je shematsko prikazano na sliki 11. Ključni parameter te karakteristične togostno-deformacijske krivulje za katerakoli tla je togostni modul  $G_0$  pri zelo majhnih specifičnih deformacijah [15].



Slika 11: Obnašanje tal pri majhnih deformacijah [15]

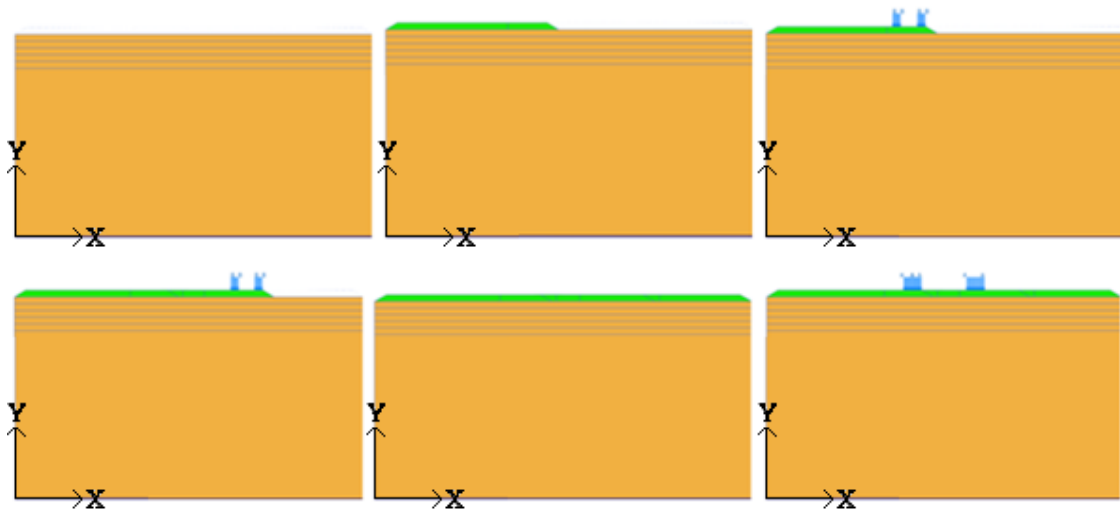
Pri modelu HS small je ta značilnost opisana s parametroma  $G_0$  in  $\gamma_{0,7}$ .  $G_0$  je strižni modul pri zelo majhnih specifičnih deformacijah,  $\gamma_{0,7}$  je stopnja deformacije, pri kateri se strižni modul  $G$  zmanjša na 70 % začetnega strižnega modula  $G_0$  [16].

### 3.2 Obtežbe in materialne karakteristike zemljin

Arheološke najdbe želim varovati pred različnimi obtežbami. V diplomski nalogi bom prikazala varovanje najdb pred obtežbo težkega tovornjaka. Vendar pa bo obtežbo povzročala tudi lastna teža zaščitnega sloja in mehanizacija, ki jo bomo uporabljali med gradnjo. Prvi korak pri preučevanju vpliva nasutja na arheološke najdbe je, da najdemo optimalno višino zaščitne plasti. S preverjanjem različnih višin nasipa bom določila višino, pri kateri so deformacije v temeljnih tleh po izgradnji nasipa zaradi delovanja obtežbe (vozila, druga morebitna raba) in lastne teže nasipa manjše, kot če deluje obtežba neposredno na temeljna tla.

Poleg višine nasutja je pomemben tudi potek gradnje nasipa. Nasip gradimo v plasteh višine 20 cm. Vsako plast izvedemo v treh horizontalnih korakih, kot je prikazano na sliki 12. Preverjanje vpliva gradnje je smiselno pri gradnji nasipa višine 20 cm in 40 cm, kasneje pa spodnje plasti že zgrajenega nasipa preprečijo vpliv gradnje višjega nasipa na temeljna tla.



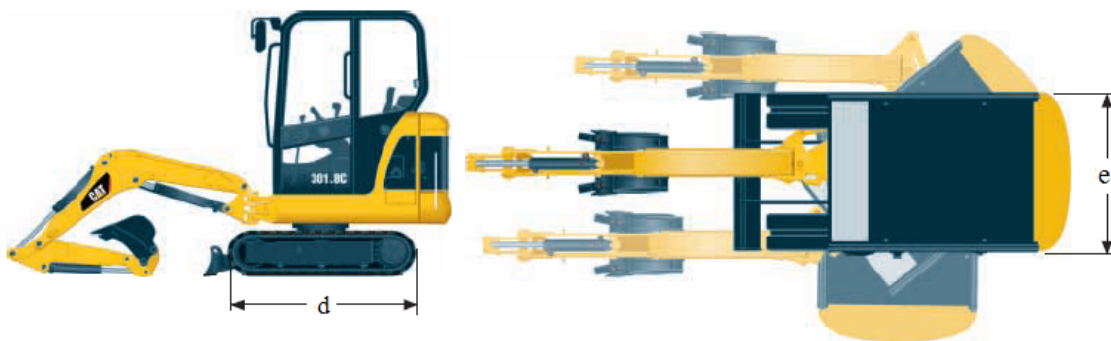


Slika 12: Potek gradnje nasipa v treh horizontalnih korakih in delovanje obtežbe minihidravličnega bagera in tovornjaka

Arheološke najdbe so po velikosti majhne in njihova togost ne bo bistveno vplivala na potek deformacij v zemljini, zato jih bom v računskem modelu zanemarila. Predpostavila bom, da deformacije najdb sledijo deformacijam temeljnih tal. Opazovala bom zgornji meter tal, kjer bi lahko bile najdbe. Predpostavila bom, da je celotna debelina temeljnih tal 6 metrov.

Pri računih bom upoštevala, da med gradnjo povzroča obtežbo minihidravlični bager, s katerim gradimo nasip, po gradnji pa je na nasipu tovornjak. Obtežbo obeh bom definirala kot linijsko obtežbo, ki je tako široka, kot so široke gosenice bagera oziroma kolesa tovornjaka. Linijska obtežba deluje na znani osni razdalji med gosenicami oziroma kolesi.

Določitev obtežbe minihidravličnega bagera (CAT 301.6C), podatke sem poiskala na spletu [17]:



Slika 13: Minihidravlični bager CAT 301.6C [17]

masa bagra:  $m = 1720 \text{ kg}$

teža bagra:  $W = 17200 \text{ N} = 17,2 \text{ kN}$

površina ene gosenice: širina  $\check{s} = 0,23 \text{ m}$ , dolžina  $d = 1,575 \text{ m}$

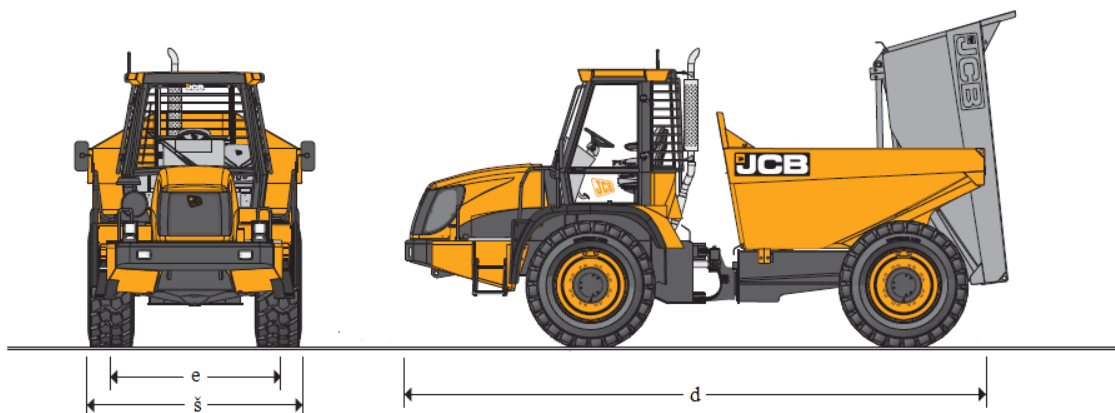
$$A = \check{s} \cdot d = 0,23 \text{ m} \cdot 1,575 \text{ m} = 0,36225 \text{ m}^2 \quad (37)$$

obtežba na eno gosenico:

$$g = \frac{W}{2A} = \frac{17,2 \text{ kN}}{2 \cdot 0,36225 \text{ m}^2} = 23,74 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (38)$$

razdalja med osem gosenic je  $e = 0,75 \text{ m}$ .

Določitev obtežbe tovornjaka JCB 714, pred katerim varujemo najdbe, podatke sem poiskala na spletu [18]:



Slika 14: Tovornjak JCB 714 [18]

masa tovornjaka:  $m = 23140 \text{ kg}$

teža tovornjaka:  $W = 231400 \text{ N} = 231,4 \text{ kN}$

površina tovornjaka: širina  $\check{s} = 2,5 \text{ m}$ , dolžina  $d = 6,78 \text{ m}$

$$A = \check{s} \cdot d = 6,78 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m} = 16,95 \text{ m}^2 \quad (37)$$

osna razdalja med kolesi:  $e = 1,955 \text{ m}$

ploskovna obtežba:

$$g = \frac{W}{A} = \frac{231,4 \text{ kN}}{16,95 \text{ m}^2} = 13,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (38)$$

pretvorba ploskovne obtežbe v linijsko (obtežba, ki deluje na eno os tovornjaka):

$$g_{\text{linijska\_na\_eno\_os}} = \frac{g \cdot \check{s}}{2} = \frac{13,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2,5 \text{ m}}{2} = \frac{34,13 \text{ kN}}{2 \text{ m}} = 17,07 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (39)$$

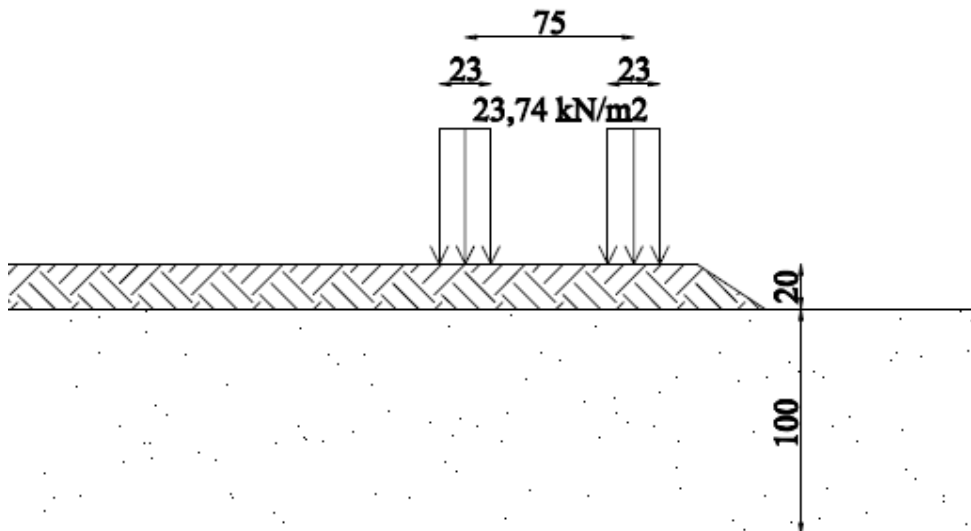
pretvorba linijske obtežbe na ploskovno obtežbo koles tovornjaka:

$$g_{\text{ploskovna\_obtežba\_koles}} = \frac{g_{\text{linijska\_na\_eno\_os}}}{s} = \frac{17,07 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{0,545 \text{ m}} = 31,32 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (40)$$

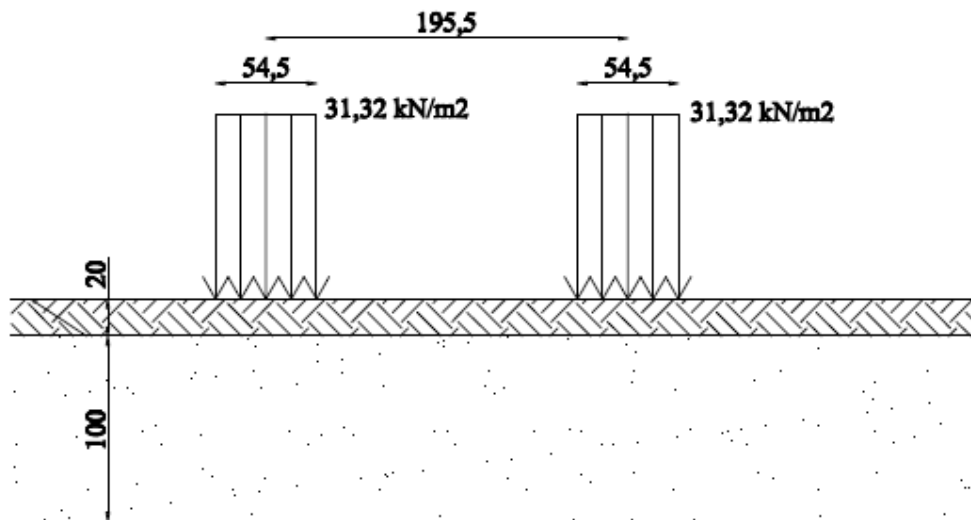
kjer je  $s$  širina kolesa:

$$s = \check{s} - e = 2,5m - 1,955m = 0,545m \quad (41)$$

Postavitev obtežbe minihidravličnega bagra med gradnjo in obtežbe tovornjaka na nasipu:



Slika 15: Obtežba minihidravličnega bagra med gradnjo 20 cm nasipa [cm]



Slika 16: Obtežba tovornjaka na zgrajenem 20 cm nasipu [cm]

V obravnavanih primerih so temeljna tla v prvem primeru homogen glinen sloj, ki je definiran v preglednici 3, v drugem primeru pa peščen sloj, katerega lastnosti so predstavljene v preglednici 4.

Preglednica 2: Materialne karakteristike glinenih temeljnih tal

Materialni model		HS small	Natezna trdnost	kN/m <sup>2</sup>	0
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	18	Kriterij porušitve		Mohr-Coulomb
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	19	$K_0$ nastavitve		
Togost			$K_{0,x}$		0,5933
$E_{50\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	6250	Prekonsolidacija		
$E_{\text{oed,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	5000	OCR		1
$E_{\text{ur,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	15000	POP	kN/m <sup>2</sup>	0
power (m)		1	Zemljina		
$v_{\text{ur}}$		0	Tip		Grob
$p_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	100	< 2 $\mu\text{m}$	%	10
Trdnost			2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	13
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	5	50 $\mu\text{m}$ - 2 mm	%	77
$\varphi$	°	24	Parametri		
$\psi$	°	0	$k_x$	m/dan	0
Majhne deformacije			$k_y$	m/dan	0
$\gamma_{0.7}$		0,00040	$e_{\text{init}}$		1
$G_{0,\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	60000			

Preglednica 3: Materialne karakteristike peščenih temeljnih tal

Materialni model		HS small	Natezna trdnost	kN/m <sup>2</sup>	0
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	17	Kriterij porušitve		Mohr-Coulomb
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	20	$K_0$ nastavitve		
Togost			$K_{0,x}$		0,4701
$E_{50\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	21880	Prekonsolidacija		
$E_{\text{oed,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	17500	OCR		1
$E_{\text{ur,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	52500	POP	kN/m <sup>2</sup>	0
power (m)		1	Zemljina		
$v_{\text{ur}}$		0	Tip		Grob
$p_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	100	< 2 $\mu\text{m}$	%	10
Trdnost			2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	13
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	1	50 $\mu\text{m}$ - 2 mm	%	77
$\varphi$	°	32	Parametri		
$\psi$	°	1	$k_x$	m/dan	0
Majhne deformacije			$k_y$	m/dan	0
$\gamma_{0.7}$		0,00010	$e_{\text{init}}$		1
$G_{0,\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	120000			

V preglednicah 4,5, 6, so podane materialne karakteristike materiala, ki ga bom uporabila za gradnjo nasipa. Kot sem zapisala v poglavju 2.5.1, pa lahko deformacije v temeljnih tleh pod nasipom zmanjšamo z uporabo materiala z majhno prostorninsko težo, kot je na primer ekspandirana glina. Lastnosti ekspandirane gline so podane v preglednicah 7, 8, 9. Arheološke najdbe moramo varovati tudi med gradnjo, zato sta prvi dve plasti nasipa manj zgoščeni in posledično imata manjšo togost. Pri

višjem nasipu so temeljna tla že zaščitena, zato lahko zaščitni sloj optimalno zgostimo in tako dosežemo večjo togost materiala.

V obeh primerih temeljnih tal bom preverjala deformacije pod nasipom iz običajnega materiala in deformacije pod nasipom iz materiala z majhno prostorninsko težo.

Preglednica 4: Materialne karakteristike prve plasti nasipa

Materialni model		HS small	Natezna trdnost	kN/m <sup>2</sup>	0
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	18	Kriterij porušitve		Mohr-Coulomb
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	19	$K_0$ nastavitve		
Togost			$K_{0,x}$		0,4122
$E_{50\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	31250	Prekonsolidacija		
$E_{\text{oed,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	25000	OCR		1
$E_{\text{ur,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	75000	POP	kN/m <sup>2</sup>	0
power (m)		1	Zemljina		
$v_{\text{ur}}$		0	Tip		Grob
$p_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	5	< 2 $\mu\text{m}$	%	10
Trdnost			2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	13
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	10	50 $\mu\text{m}$ - 2 mm	%	77
$\phi$	°	36	Parametri		
$\psi$	°	1	$k_x$	m/dan	0
Majhne deformacije			$k_y$	m/dan	0
$\gamma_{0.7}$		0,00015	$e_{\text{init}}$		1
$G_{0,\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	150000			

Preglednica 5: Materialne karakteristike druge plasti nasipa

Materialni model		HS small	Natezna trdnost	kN/m <sup>2</sup>	0
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	18	Kriterij porušitve		Mohr-Coulomb
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	19	$K_0$ nastavitve		
Togost			$K_{0,x}$		0,4122
$E_{50\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	37500	Prekonsolidacija		
$E_{\text{oed,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	30000	OCR		1
$E_{\text{ur,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	90000	POP	kN/m <sup>2</sup>	0
power (m)		1	Zemljina		
$v_{\text{ur}}$		0	Tip		Grob
$p_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	5	< 2 $\mu\text{m}$	%	10
Trdnost			2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	13
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	10	50 $\mu\text{m}$ - 2 mm	%	77
$\phi$	°	36	Parametri		
$\psi$	°	1	$k_x$	m/dan	0
Majhne deformacije			$k_y$	m/dan	0
$\gamma_{0.7}$		0,00015	$e_{\text{init}}$		1
$G_{0,\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	150000			

Preglednica 6: Materialne karakteristike nasipa

Materialni model		HS small	Natezna trdnost	kN/m <sup>2</sup>	0
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	18	Kriterij porušitve		Mohr-Coulomb
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	19	$K_0$ nastavitve		
Togost			$K_{0,x}$		0,4122
$E_{50\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	43750	Prekonsolidacija		
$E_{\text{oed,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	35000	OCR		1
$E_{\text{ur,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	105000	POP	kN/m <sup>2</sup>	0
power (m)		1	Zemljina		
$v_{\text{ur}}$		0	Tip		Grob
$p_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	5	< 2 $\mu\text{m}$	%	10
Trdnost			2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	13
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	10	50 $\mu\text{m}$ - 2 mm	%	77
$\varphi$	°	36	Parametri		
$\psi$	°	1	$k_x$	m/dan	0
Majhne deformacije			$k_y$	m/dan	0
$\gamma_{0.7}$		0,00015	$e_{\text{init}}$		1
$G_{0,\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	150000			

Preglednica 7: Materialne karakteristike prve plasti ekspandirane gline

Materialni model		HS small	Natezna trdnost	kN/m <sup>2</sup>	0
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	5	Kriterij porušitve		Mohr-Coulomb
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	5	$K_0$ nastavitve		
Togost			$K_{0,x}$		0,3572
$E_{50\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	31250	Prekonsolidacija		
$E_{\text{oed,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	25000	OCR		1
$E_{\text{ur,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	75000	POP	kN/m <sup>2</sup>	0
power (m)		1	Zemljina		
$v_{\text{ur}}$		0	Tip		Grob
$p_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	5	< 2 $\mu\text{m}$	%	10
Trdnost			2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	13
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	10	50 $\mu\text{m}$ - 2 mm	%	77
$\varphi$	°	40	Parametri		
$\psi$	°	1	$k_x$	m/dan	0
Majhne deformacije			$k_y$	m/dan	0
$\gamma_{0.7}$		0,00015	$e_{\text{init}}$		1
$G_{0,\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	150000			

Preglednica 8: Materialne karakteristike druge plasti ekspandirane gline

Materialni model		HS small	Natezna trdnost	kN/m <sup>2</sup>	0
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	5	Kriterij porušitve		Mohr-Coulomb
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	5	$K_0$ nastavitve		
Togost			$K_{0,x}$		0,3572
$E_{50\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	37500	Prekonsolidacija		
$E_{\text{oed,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	30000	OCR		1
$E_{\text{ur,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	90000	POP	kN/m <sup>2</sup>	0
power (m)		1	Zemljina		
$v_{\text{ur}}$		0	Tip		Grob
$p_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	5	< 2 $\mu\text{m}$	%	10
Trdnost			2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	13
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	10	50 $\mu\text{m}$ - 2 mm	%	77
$\phi$	°	40	Parametri		
$\psi$	°	1	$k_x$	m/dan	0
Majhne deformacije			$k_y$	m/dan	0
$\gamma_{0.7}$		0,00015	$e_{\text{init}}$		1
$G_{0,\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	150000			

Preglednica 9: Materialne karakteristike ekspandirane gline

Materialni model		HS small	Natezna trdnost	kN/m <sup>2</sup>	0
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>	5	Kriterij porušitve		Mohr-Coulomb
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	5	$K_0$ nastavitve		
Togost			$K_{0,x}$		0,3572
$E_{50\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	43750	Prekonsolidacija		
$E_{\text{oed,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	35000	OCR		1
$E_{\text{ur,ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	105000	POP	kN/m <sup>2</sup>	0
power (m)		1	Zemljina		
$v_{\text{ur}}$		0	Tip		Grob
$p_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	5	< 2 $\mu\text{m}$	%	10
Trdnost			2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	13
$c_{\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	10	50 $\mu\text{m}$ - 2 mm	%	77
$\phi$	°	40	Parametri		
$\psi$	°	1	$k_x$	m/dan	0
Majhne deformacije			$k_y$	m/dan	0
$\gamma_{0.7}$		0,00015	$e_{\text{init}}$		1
$G_{0,\text{ref}}$	kN/m <sup>2</sup>	150000			

### 3.3 Izbira materialnega modela

Že na začetku poglavja sem na kratko predstavila več materialnih modelov, s katerimi lahko računamo. Za našo analizo bosta najbolj primerna modela HS oziroma HS small. Preveriti moram,

kakšna je razlika izračunanih deformacij, če uporabim ta modela. Rezultati primerjave so prikazani v preglednici 10 in 11.

Preglednica 10: Uporaba HS in HS small modela pri glinenih temeljnih tleh brez nasipa

	$\epsilon_{V,max}$	$\epsilon_{V,min}$	$\gamma_{max}$	$\gamma_{min}$	$\epsilon_{xx,max}$	$\epsilon_{xx,min}$	$\epsilon_{yy,max}$	$\epsilon_{yy,min}$
HS	1,06%	-2,01%	6,91%	-6,91%	1,86%	-1,36%	0,80%	-3,46%
HS small	0,58%	-0,32%	1,71%	-1,71%	0,36%	-0,35%	0,33%	-0,65%

Preglednica 11: Uporaba HS in HS small modela pri peščenih temeljnih tleh brez nasipa

	$\epsilon_{V,max}$	$\epsilon_{V,min}$	$\gamma_{max}$	$\gamma_{min}$	$\epsilon_{xx,max}$	$\epsilon_{xx,min}$	$\epsilon_{yy,max}$	$\epsilon_{yy,min}$
HS	0,29%	-0,57%	2,75%	-2,75%	0,58%	-0,53%	0,38%	-1,00%
HS small	0,27%	-0,42%	4,51%	-4,52%	0,60%	-0,87%	1,00%	-0,99%

Odstopanja med deformacijami, izračunanimi z različnima modeloma, so velike. Ker me bodo pri diplomski nalogi zanimala majhne deformacije (velikim se moramo izogniti, da ne pride do uničujočih poškodb artefaktov), bom za uporabo izbrala HS small model.

Preverjala bom volumske, vertikalne, horizontalne in strižne deformacije v različnih vrstah temeljnih tal in pri različnih nasipnih materialih. Najprej bom preverila, kakšne deformacije povzroči obtežba tovornjaka, ki deluje neposredno na temeljnih tleh, brez zaščitnega sloja. To nam bo služilo za primerjavo, ali se deformacije zmanjšajo zaradi vmesnega sloja ali se povečajo zaradi dodatne obtežbe samega sloja. Nato bom ugotavljala, kakšen je vpliv zaščitnega sloja.

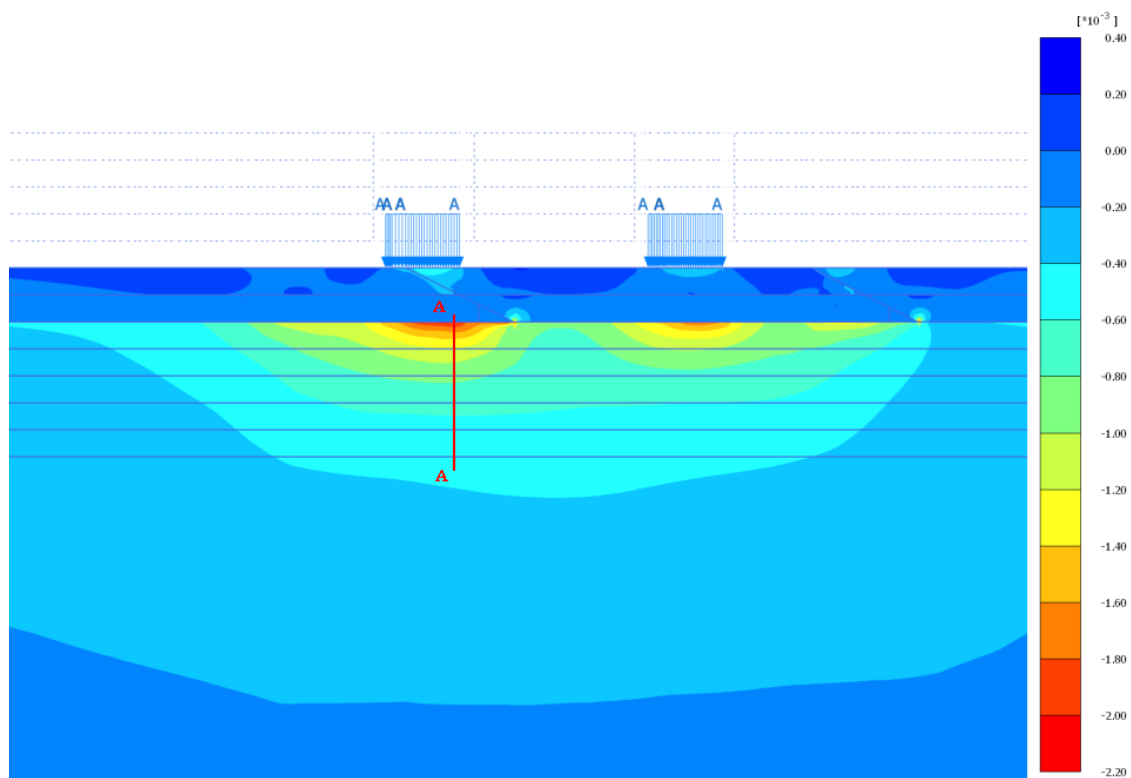


## **4 DEFORMACIJE V TEMELJNIH TLEH**

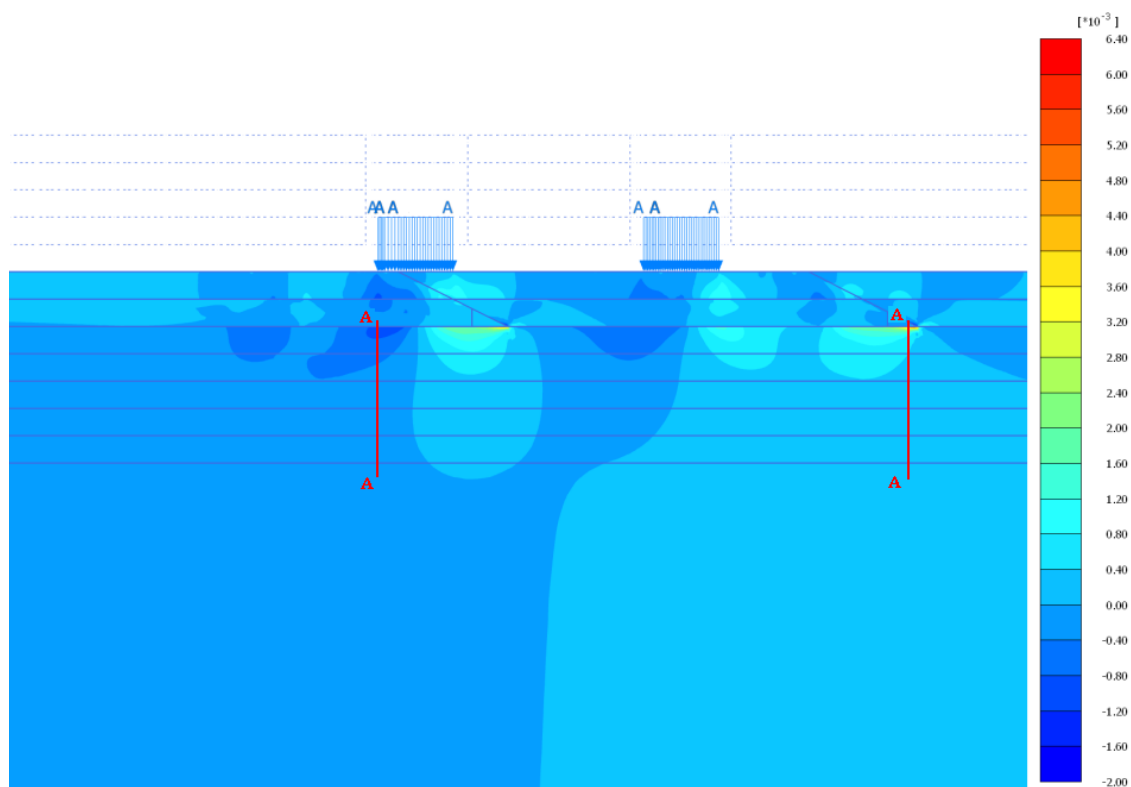
Najprej bom prikazala deformacije, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi nasipa iz običajnega materiala in zaradi materiala z majhno prostorninsko težo. Potem bom na enak način prikazala deformacije, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh. Največje deformacije nastanejo pod gosenicami minihidravličnega bagra oz. pod kolesi tovornjaka in na stiku brežine nasipa, ki nastane med njegovo gradnjo, in temeljnih tal. Zato bom v teh področjih preverila potek deformacij v prerezu zgornjega metra temeljnih tal. Največje vrednosti deformacij bom zapisala v preglednice. Zanimale nas bodo deformacije, ki nastanejo v temeljnih tleh, to so tla pod zaščitnim nasipom. Obravnavala sem zgornji meter temeljnih tal, saj tam pričakujemo najdbe. Volumske deformacije so povsod tlačne, natezne so samo v zgornjih centimetrih tal neposredno ob obtežbi, zato jih ne bom prikazala v prečnem prerezu. Tlačne in pozitivne strižne deformacije naj bi bile po velikosti enake, zaradi kotnega zasuka pa bi se razlikovale samo v predznaku. Ker je v naši analizi nekaj asimetrije (med gradnjo nasipa) in zaradi mreže končnih elementov, deformacije niso čisto simetrične. Za njihovo vrednost sem zato upoštevala največjo absolutno vrednost med nastalimi tlačnimi in nateznimi strižnimi deformacijami. Natezne vertikalne deformacije so v primerjavi s tlačnimi tako majhne, da ne povzročajo škode na arheoloških najdbah.

### **4.1 Deformacije v glinenih temeljnih tleh**

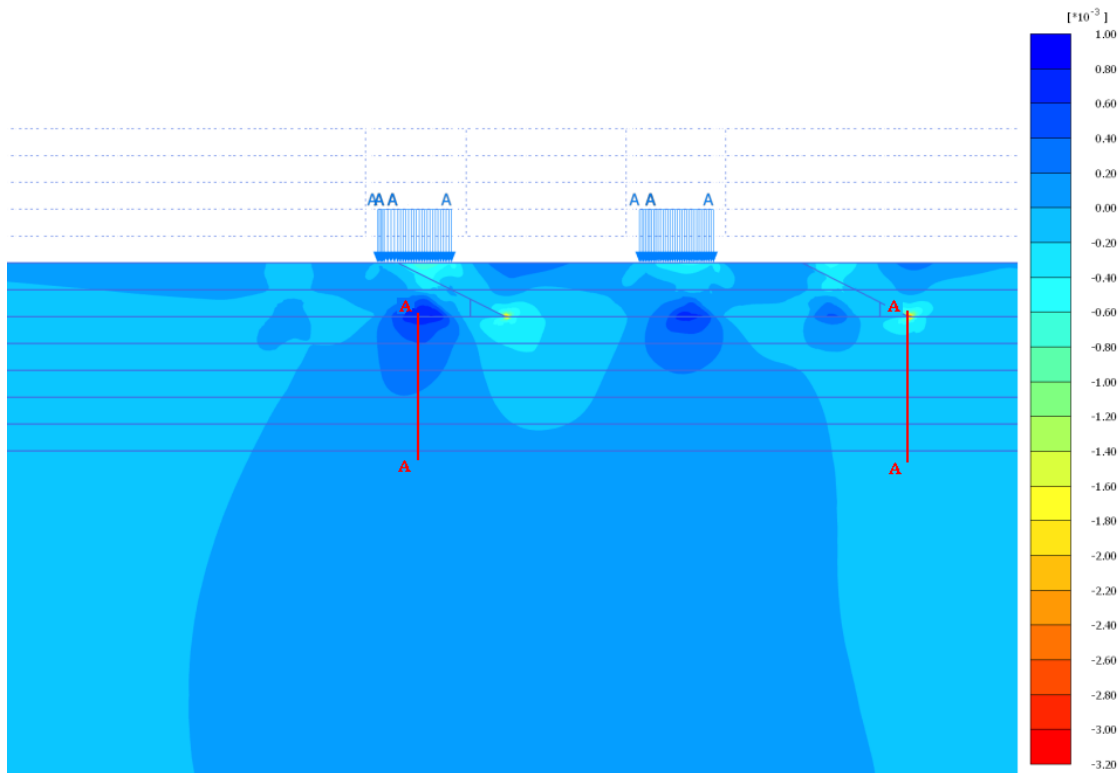
Na spodnjih slikah vidimo razporeditev deformacij, pomikov, napetosti, ki nastanejo zaradi tovornjaka na nasipu. Razporeditev je podobna ne glede na višino nasipa, spreminjajo pa se velikosti količin. Zato nam slike od 17 do 24 služijo, da si predstavljamo nastalo stanje pod nasipom zaradi obtežbe tovornjaka. Označeni so tudi prerezi A-A, kjer so deformacije največje in v katerih sem odčitavala deformacije, ki sem jih v nadaljevanju obravnavala.



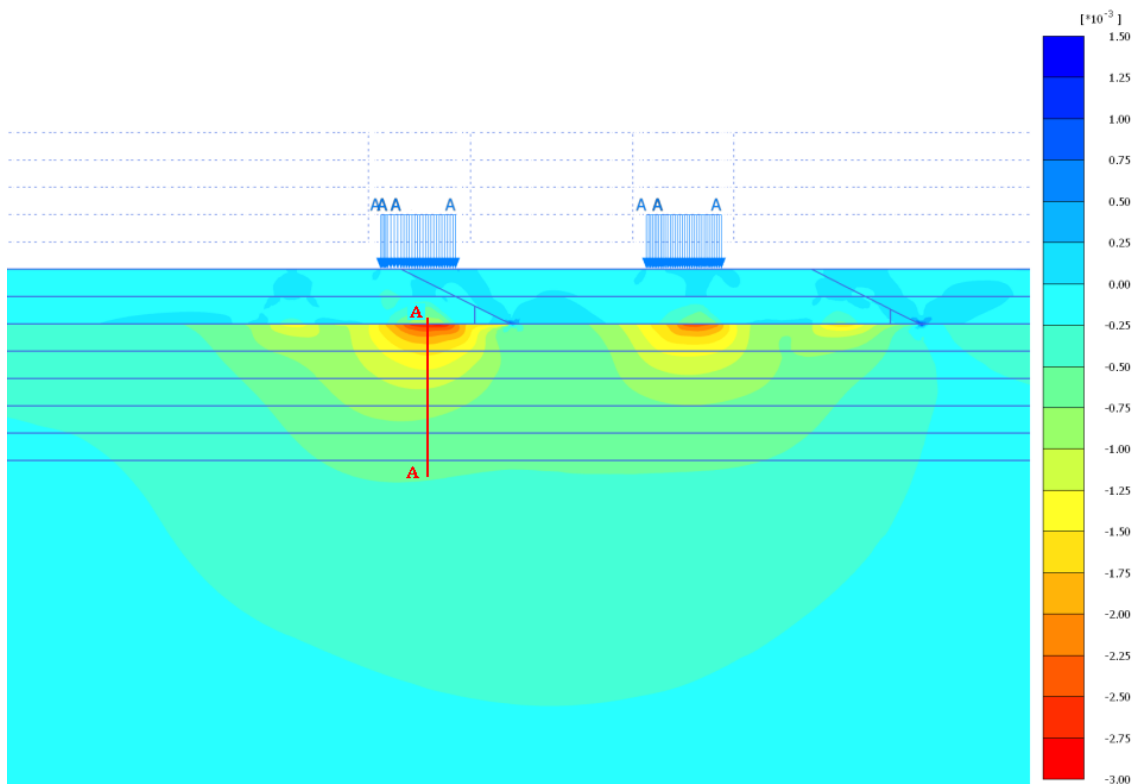
Slika 17: Volumske deformacije zaradi tovornjaka na nasipu in označen prerez A-A



Slika 18: Strižne deformacije zaradi tovornjaka na nasipu in označen prerez A-A

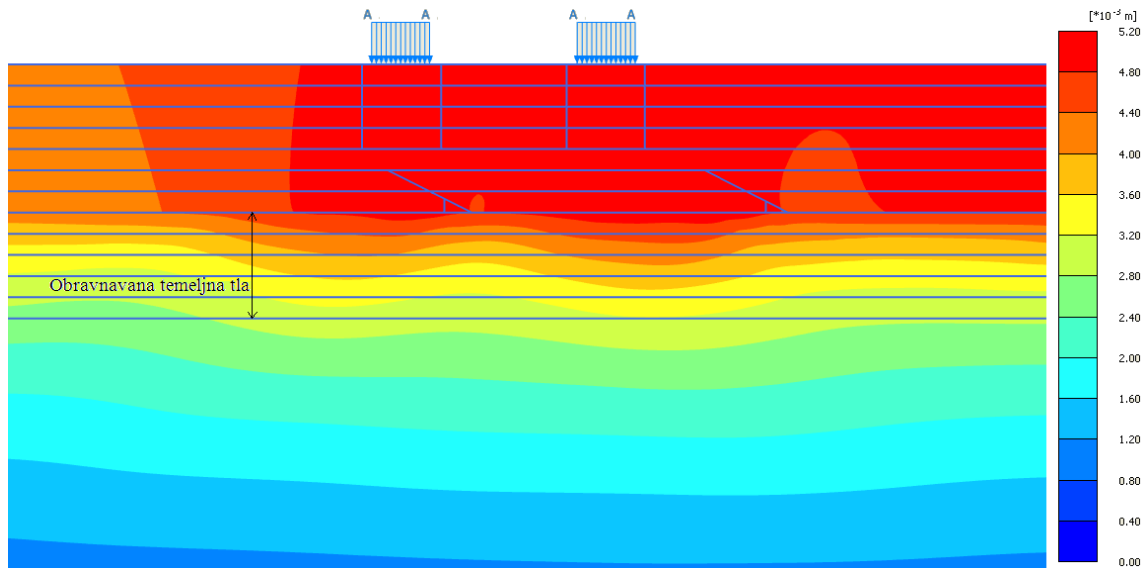


Slika 19: Horizontalne deformacije zaradi tovarnjaka na nasipu in označen prerez A

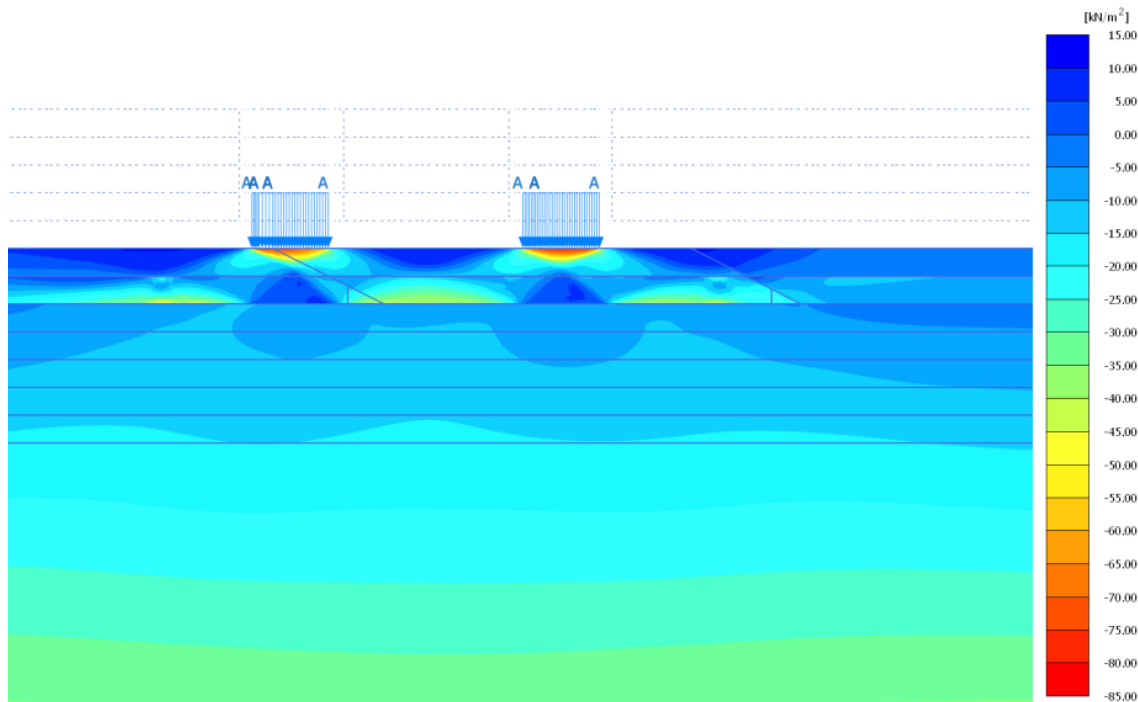


Slika 20: Vertikalne deformacije zaradi tovarnjaka na nasipu in označen prerez A-A

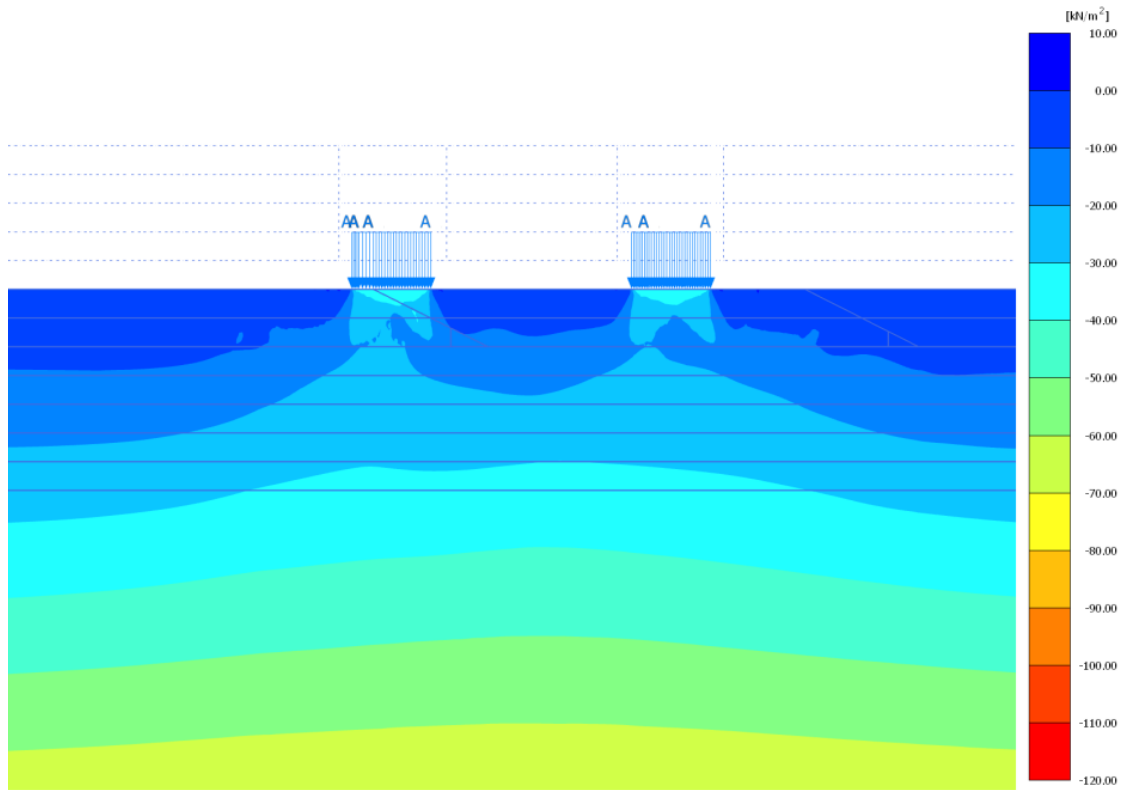
Na vzorčnem primeru bom prikazala še pomike in napetosti, ki nastanejo v obravnavanih temeljnih tleh. Tudi za te količine velja, da je potek pod različno visokimi nasipi podoben, spreminja pa se velikost.



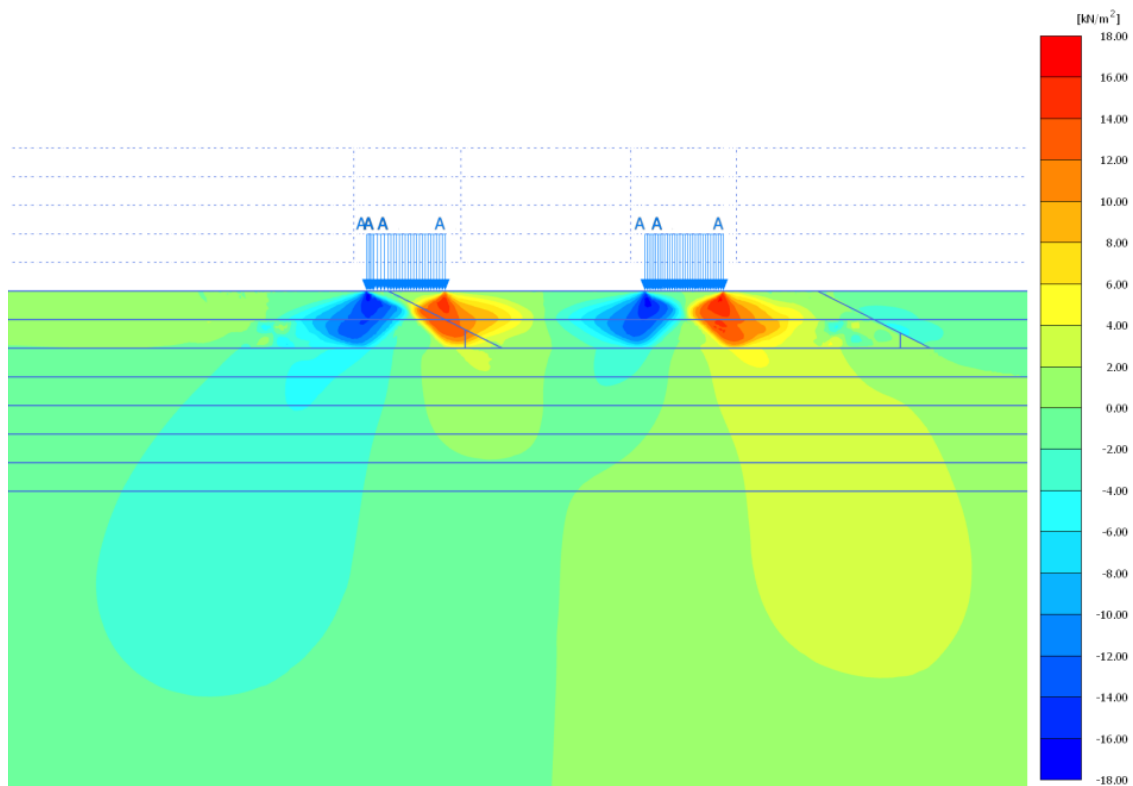
Slika 21: Pomiki zaradi tovarnjaka na najvišjem nasipu



Slika 22: Horizontalne napetosti zaradi tovarnjaka na nasipu



Slika 23: Vertikalne napetosti zaradi tovornjaka na nasipu

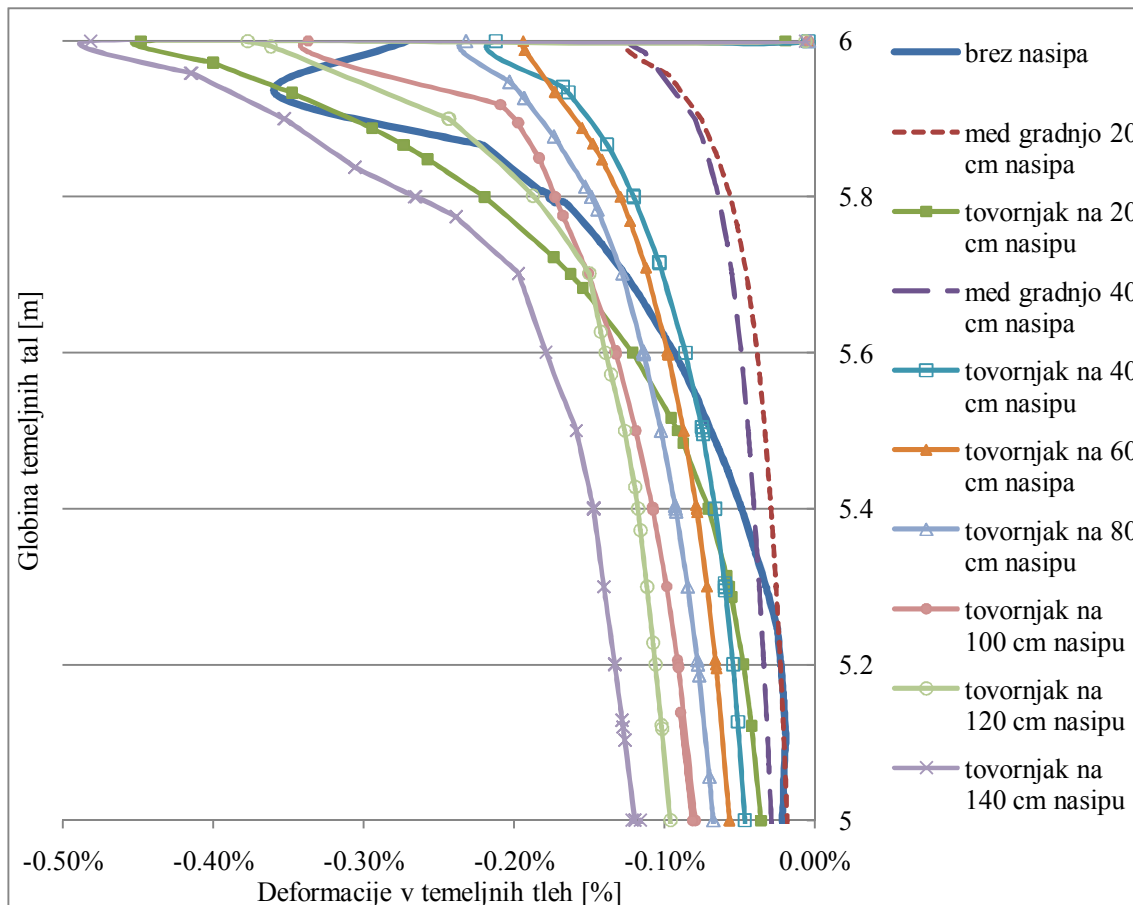


Slika 24: Strižne napetosti zaradi tovornjaka na nasipu

Podobno stanje in posledično tudi izbor prerezov, kjer sem odčitavala deformacije, nastane tudi v ostalih primerih. Zgornje slike tako služijo za prikaz stanja tudi v drugih obravnavanih primerih, to velja za razpored deformacij, ne pa tudi za njihovo velikost.

#### 4.1.1 Uporaba običajnega nasipnega materiala

Deformacije so izračunane v glinenih temeljnih tleh, ki so opisane v preglednica 2 in zaradi tovrnjaka na nasipu iz običajnega nasipnega materiala (preglednice 4, 5, 6)

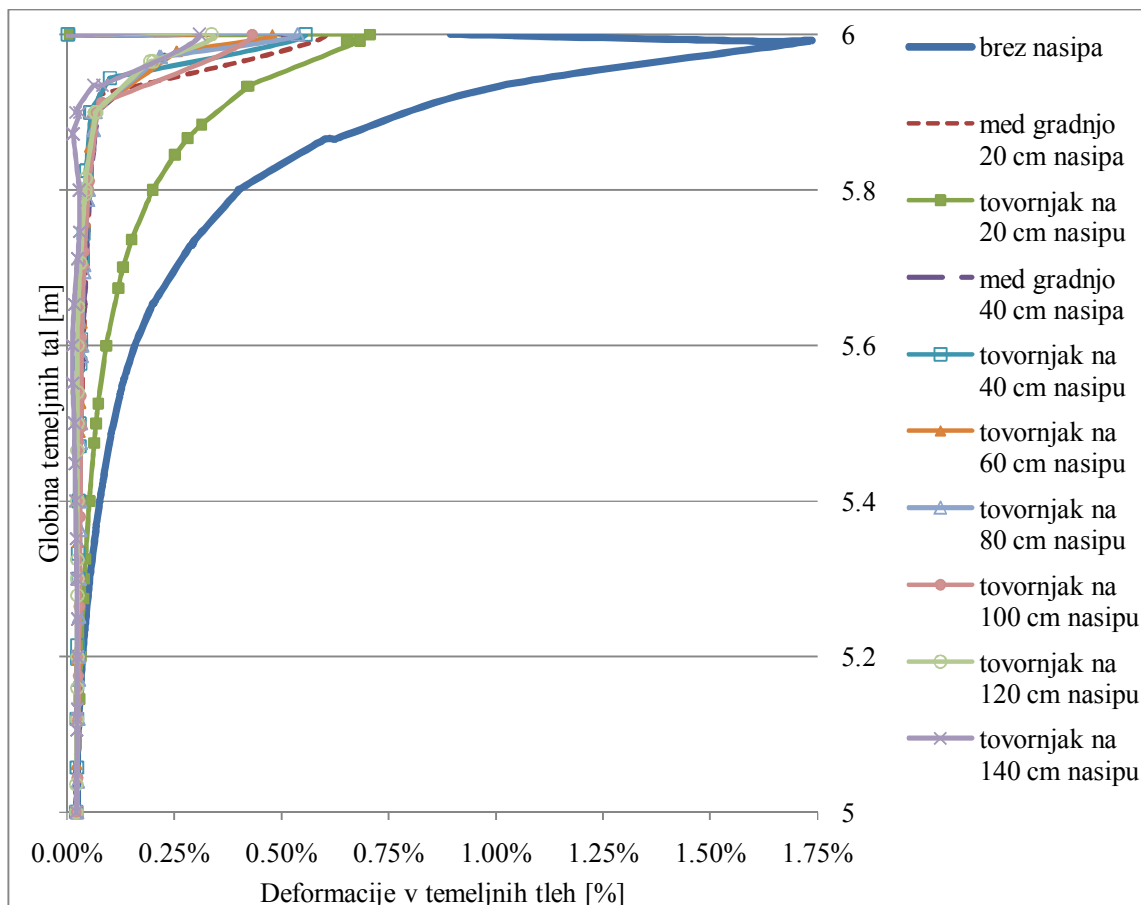


Slika 25: Potek volumskih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 12: Volumske deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje

Globina [m]	Volumske deformacije $\varepsilon_v$ [‰]											
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu	MIN	MAX
6,00-5,81	-3,59	-4,48	-1,23	-2,12	-1,23	-1,94	-2,32	-3,37	-3,77	-4,82	-4,82	-1,23
5,80-5,61	-1,77	-2,20	-0,56	-1,21	-0,64	-1,29	-1,49	-1,73	-1,87	-2,66	-2,66	-0,56
5,60-5,41	-0,93	-1,21	-0,38	-0,86	-0,49	-0,98	-1,14	-1,33	-1,39	-1,79	-1,79	-0,38
5,40-5,21	-0,49	-0,71	-0,29	-0,66	-0,40	-0,79	-0,93	-1,08	-1,18	-1,47	-1,47	-0,29
5,20-5,00	-0,22	-0,47	-0,23	-0,54	-0,34	-0,66	-0,78	-0,91	-1,06	-1,33	-1,33	-0,22
MIN	-3,59	-4,48	-1,23	-2,02	-1,23	-1,94	-2,32	-3,37	-3,77	-4,82	-4,82	
MAX	-0,22	-0,47	-0,23	-0,54	-0,34	-0,66	-0,78	-0,91	-1,06	-1,33		-0,22

Največje volumske deformacije po celotnem prerezu nastanejo zaradi tovarnjaka na 140 cm nasipu, največjo vrednost, -4,8‰, dosežejo neposredno pod nasipom. Deformacije se večajo z višanjem nasipa, izjema so tiste, ki jih povzroča tovarnjak na 20 cm nasipu. Te deformacije so v zgornjih 40 cm manjše samo od tistih zaradi tovarnjaka na 140 cm nasipu. Deformacije, ki nastanejo, ko zaščitni sloj ni zgrajen, so v zgornjih 20 cm med večjimi nato pa se tako zmanjšajo, da so na globini enega metra najmanjše. Vse deformacije se z globino manjšajo.



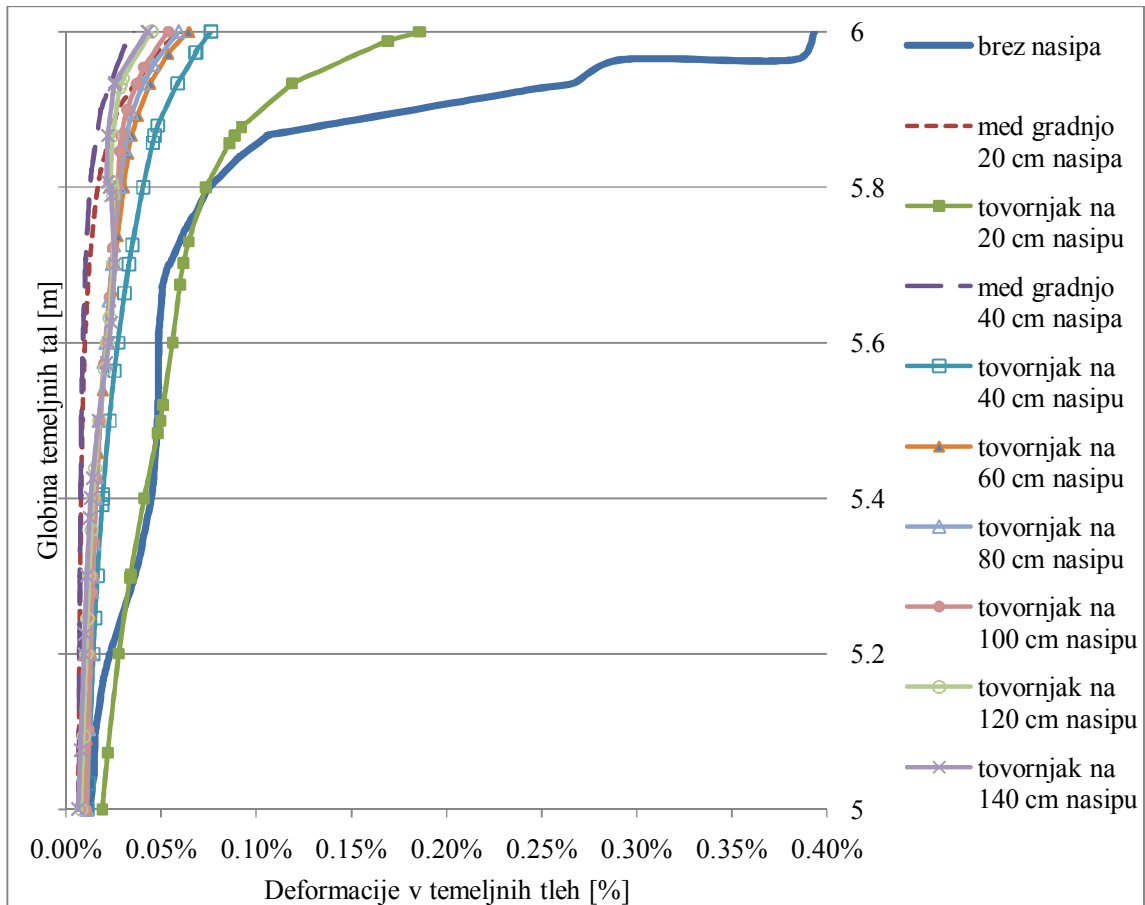
Slika 26: Potek strižnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 13: Strižne deformacije po prerezhih zaradi obtežbe tovošnjaka in gradnje

Globina [m]	Strižne deformacije $\gamma_{xy}$ [‰]										MAX	MIN
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	17,28	7,22	6,03	5,57	5,12	4,79	5,38	4,32	3,37	3,09	17,28	3,09
5,80-5,61	4,02	2,04	0,53	0,53	0,54	0,46	0,50	0,50	0,43	0,54	4,02	0,43
5,60-5,41	1,58	0,91	0,38	0,32	0,37	0,34	0,34	0,32	0,37	0,46	1,58	0,32
5,40-5,21	0,77	0,52	0,29	0,27	0,29	0,29	0,30	0,30	0,31	0,38	0,77	0,27
5,20-5,00	0,37	0,32	0,23	0,24	0,24	0,26	0,27	0,27	0,27	0,32	0,37	0,23
MAX	17,28	7,22	6,03	5,57	5,12	4,79	5,38	4,32	3,37	3,09	17,28	
MIN	0,37	0,32	0,23	0,24	0,24	0,26	0,27	0,27	0,27	0,32		0,23



Največja strižna deformacija nastane zaradi obtežbe tovornjaka neposredno na temeljnih tleh in je velika 17,3%. Tudi v večjih globinah povzroča največje deformacije. Deformacije, ki nastanejo, ko zaščitni sloj ni zgrajen, so precej večje od ostalih. Pod 20 cm nasipom se deformacije v zgornjih 40 cm skoraj razpolovijo, deformacije zaradi tovornjaka na ostalih nasipih so precej manjše in so med seboj podobno velike. Deformacije se v prvih 20 cm pod nasipi višjimi od 20 cm zmanjšajo za desetkrat. Tovornjak na 140 cm nasipu povzroča najmanjše deformacije.

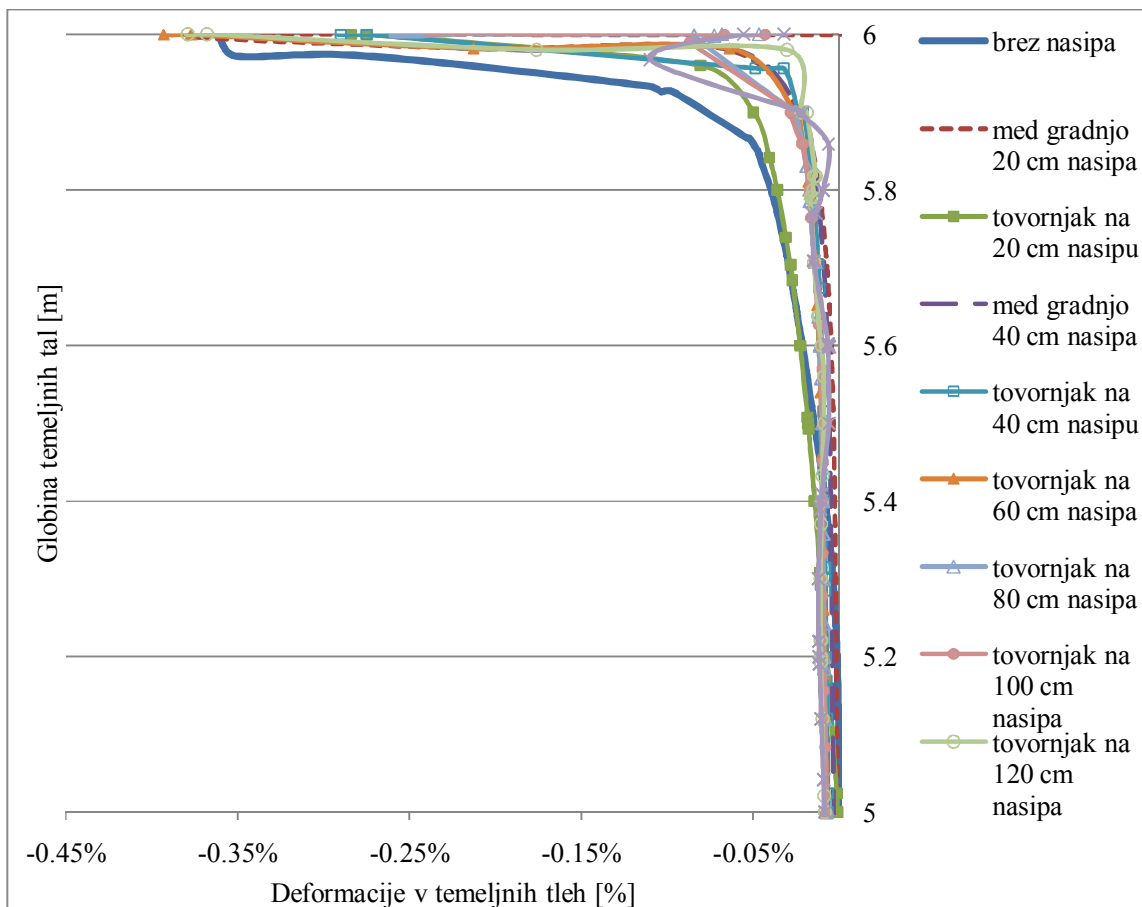


Slika 27: Potek nateznih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 14: Nateznih horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Natezne horizontalne deformacije $\varepsilon_{xx}$ [‰]										MAX	MIN
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	3,94	1,86	0,60	0,76	0,36	0,65	0,59	0,54	0,45	0,43	3,94	0,36
5,80-5,61	0,76	0,74	0,17	0,41	0,13	0,30	0,28	0,27	0,25	0,26	0,76	0,13
5,60-5,41	0,49	0,56	0,10	0,27	0,09	0,21	0,21	0,21	0,22	0,23	0,56	0,09
5,40-5,21	0,45	0,41	0,08	0,19	0,08	0,15	0,16	0,16	0,14	0,13	0,45	0,08
5,20-5,00	0,23	0,28	0,07	0,14	0,07	0,12	0,13	0,13	0,11	0,10	0,28	0,07
MAX	3,94	1,86	0,60	0,76	0,36	0,65	0,59	0,54	0,45	0,43	3,94	
MIN	0,23	0,28	0,07	0,14	0,07	0,12	0,13	0,13	0,11	0,10		0,07

Največja natezna horizontalna deformacija (3,9‰) nastane tik pod površino, ko nasip še ni zgrajen. Deformacije, ki nastanejo tik pod površino, so pri katerikoli višini nasipa največje in se zmanjšujejo z višanjem nasipa. Najmanjše deformacije nastanejo pod 140 cm nasipom.

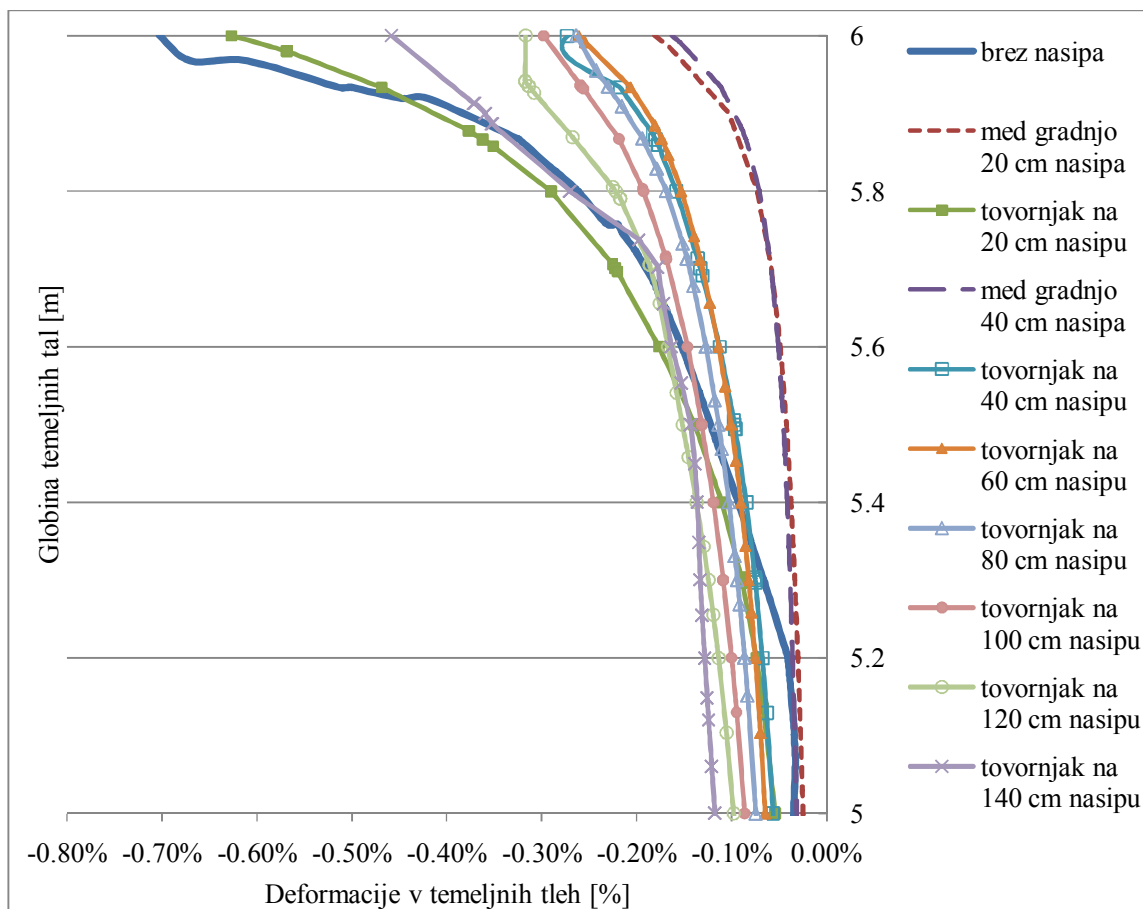


Slika 28: Potek tlačnih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 15: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Tlačne horizontalne deformacije $\epsilon_{xx}$ [‰]										MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	-3,61	-2,84	-3,74	-2,90	-3,87	-3,93	-2,56	-2,37	-3,79	-1,70	-3,93	-1,70
5,80-5,61	-0,40	-0,36	-0,11	-0,15	-0,13	-0,17	-0,17	-0,17	-0,17	-0,16	-0,40	-0,11
5,60-5,41	-0,21	-0,23	-0,05	-0,10	-0,07	-0,12	-0,11	-0,10	-0,10	-0,10	-0,23	-0,05
5,40-5,21	-0,08	-0,14	-0,03	-0,08	-0,05	-0,10	-0,09	-0,10	-0,11	-0,12	-0,14	-0,03
5,20-5,00	-0,01	-0,07	-0,02	-0,07	-0,04	-0,08	-0,09	-0,09	-0,11	-0,11	-0,11	-0,01
MIN	-3,61	-2,84	-3,74	-2,90	-3,87	-3,93	-2,56	-2,37	-3,79	-1,70	-3,93	
MAX	-0,01	-0,07	-0,02	-0,07	-0,04	-0,08	-0,09	-0,09	-0,10	-0,10		-0,01

Največja vrednost tlačnih horizontalne deformacije znaša -3,9‰ zaradi tovornjaka na 120 cm nasipu. Pod vsemi višinami nasipov so največje deformacije, ki jih povzroča tovornjak, tik pod površino (od -1,7‰ do -3,9‰), nato pa se po zgornjih 20 cm zmanjšajo tudi do tridesetkrat. Velikosti deformacij, ki jih povzroča tovornjak na nasipih višjih od 20 cm, so v globini med 5,8 in 5,4 m približno enako velike, globlje pa so podobne tudi velikosti deformacij, ko nasip ni zgrajen in zaradi tovornjaka na 20 cm nasipu.



Slika 29: Potek vertikalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 16: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje

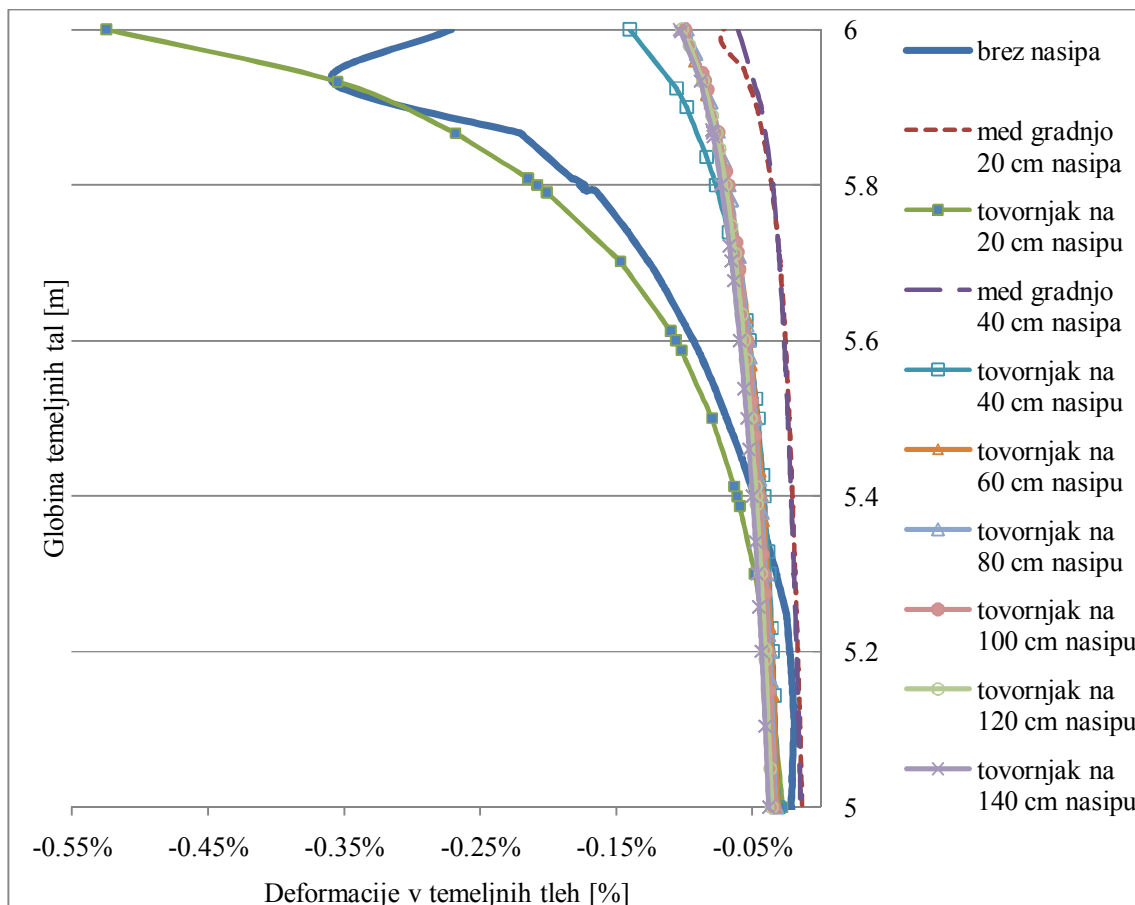
Globina [m]	Vertikalne deformacije $\varepsilon_{vy}$ [%]										MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	-7,03	-6,27	-1,82	-2,73	-1,63	-2,60	-2,63	-2,98	-3,17	-4,58	-7,03	-1,63
5,80-5,61	-2,62	-2,91	-0,74	-1,58	-0,71	-1,53	-1,69	-1,94	-2,22	-2,71	-2,91	-0,71
5,60-5,41	-1,53	-1,77	-0,49	-1,13	-0,51	-1,14	-1,27	-1,46	-1,67	-1,63	-1,77	-0,49
5,40-5,21	-0,93	-1,10	-0,37	-0,85	-0,42	-0,90	-1,03	-1,19	-1,37	-1,36	-1,37	-0,37
5,20-5,00	-0,41	-0,74	-0,30	-0,68	-0,36	-0,75	-0,86	-1,00	-1,13	-1,28	-1,28	-0,30
MIN	-7,03	-6,27	-1,82	-2,73	-1,63	-2,60	-2,63	-2,98	-3,17	-4,58	-7,03	
MAX	-0,41	-0,74	-0,30	-0,68	-0,36	-0,75	-0,86	-1,00	-1,13	-1,28		-0,30

Največjo vertikalno deformacijo (-7,0%) povzroča tovarnjak tik pod površjem temeljnih tal, ko nasip ni zgrajen, v globini od 5,9 do 5,5 m nastanejo največje deformacije zaradi tovarnjaka na 20 cm nasipu, v spodnji polovici prereza pa zaradi tovarnjaka na najvišjem nasipu. Na spodnji meji odčitavanja rezultatov se vidi, kako deformacije naraščajo z višanjem nasipa.

#### 4.1.2 Uporaba nasipnega materiala z majhno prostorninsko težo

Deformacije pod zaščitnim slojem lahko zmanjšamo z uporabo nasipnega materiala z majhno prostorninsko težo. Tako bo obtežba zaradi nasipa manjša, ker ima manjšo lastno težo. V mojem primeru sem za nasipni material izbrala ekspanzirano glino. Njene karakteristike so podane v preglednicah 7, 8 in 9.

Tudi v teh primerih bo gradnja nasipa potekala v 20 cm plasteh in v treh horizontalnih korakih, kot je prikazano na sliki 10. Material temeljnih tal bo enak kot v prejšnjem primeru, njegove karakteristike so podane v preglednici 2.

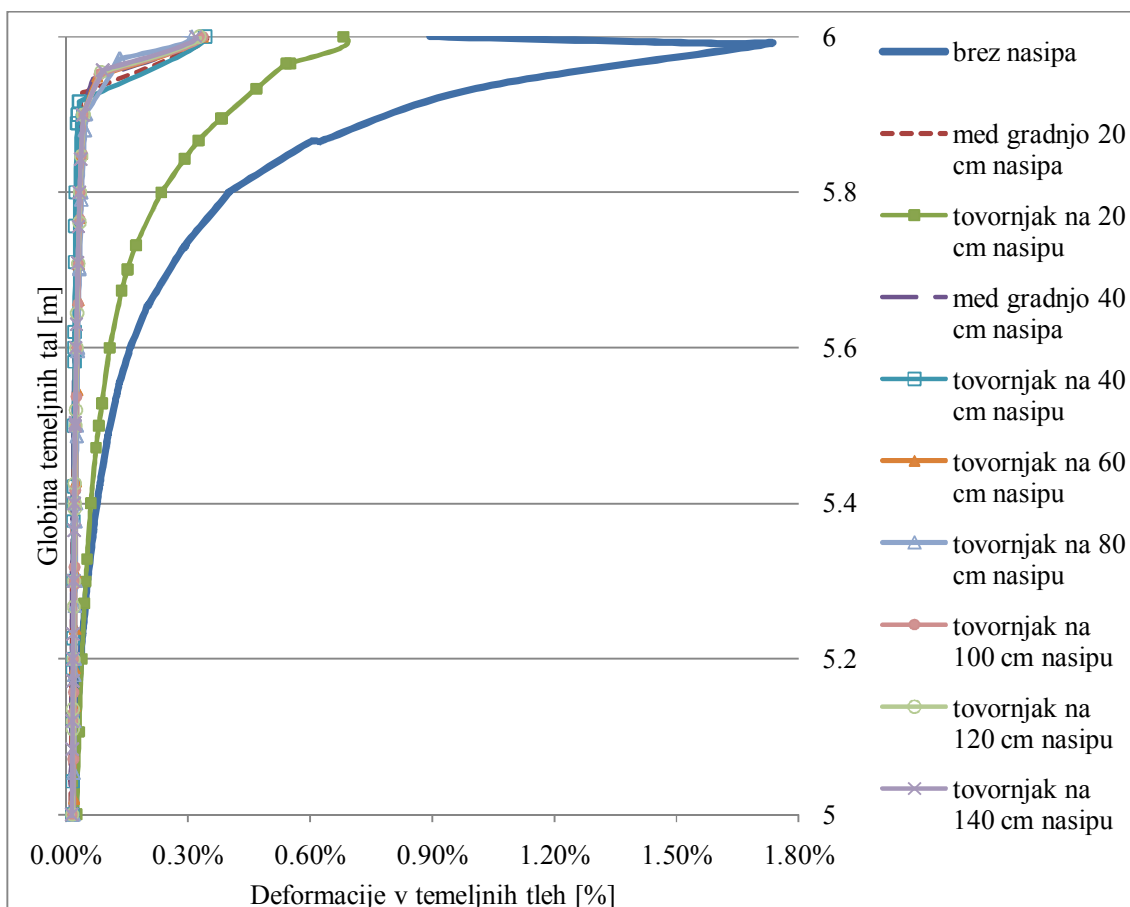


Slika 30: Potek volumskih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 17: Volumske deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Volumske deformacije $\epsilon_v$ [%]										MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	-3,59	-5,25	-0,71	-1,40	-0,61	-1,02	-0,98	-1,00	-1,02	-1,03	-5,25	-0,61
5,80-5,61	-1,77	-2,08	-0,36	-0,77	-0,35	-0,68	-0,67	-0,68	-0,70	-0,73	-2,08	-0,35
5,60-5,41	-0,93	-1,06	-0,26	-0,52	-0,27	-0,52	-0,53	-0,54	-0,56	-0,59	-1,06	-0,26
5,40-5,21	-0,49	-0,61	-0,21	-0,41	-0,22	-0,42	-0,44	-0,45	-0,47	-0,50	-0,61	-0,21
5,20-5,00	-0,22	-0,39	-0,17	-0,35	-0,18	-0,36	-0,37	-0,39	-0,41	-0,46	-0,46	-0,17
MIN	-3,59	-5,25	-0,71	-1,40	-0,61	-1,02	-0,98	-1,00	-1,02	-1,03	-5,25	
MAX	-0,22	-0,39	-0,17	-0,35	-0,18	-0,36	-0,37	-0,39	-0,41	-0,46		-0,17

Največja volumska deformacija (-5,3%) nastane tik pod nasipom zaradi tovrnjaka na 20 cm nasipu. V zgornjih 70 cm nastanejo največje deformacije zaradi tovrnjaka na 20 cm visokem nasipu, šele v spodnjih 30 cm večje deformacije povzroča tovrnjak na 140 cm nasipu. Tik pod površino tovrnjak, ki ni na nasipu, povzroča deformacije velikosti -3,6%, tovrnjak na 40 cm nasipu -1,4% velike deformacije, zaradi tovrnjaka na ostalih nasipih pa nastanejo deformacije velike okoli -1%. Deformacije, ki nastanejo, ko ni zaščitnega sloja, so v spodnjih 30 cm najmanjše. Potek deformacij pri nasipih višjih od 40 cm je zelo podoben. V najnižji točki odčitavanja rezultatov vidimo, da deformacije naraščajo z višanjem nasipa, izjema so deformacije pod 20 cm nasipom.



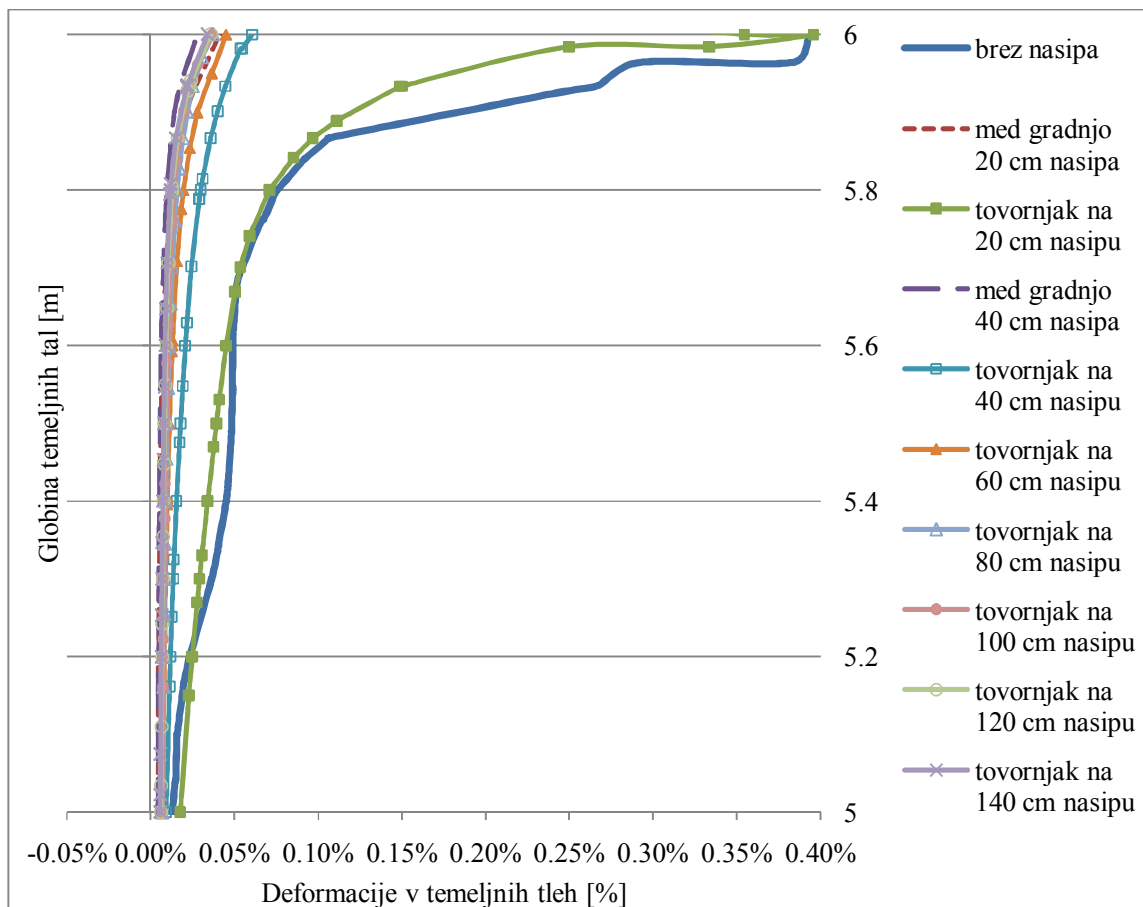
Slika 31: Potek strižnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 18: Strižne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Strižne deformacije $\gamma_{xy}$ [‰]										MAX	MIN
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	17,28	6,82	3,46	3,42	3,33	3,35	3,09	3,36	3,28	3,19	17,28	3,09
5,80-5,61	4,02	2,34	0,34	0,61	0,29	0,40	0,38	0,35	0,35	0,33	4,02	0,29
5,60-5,41	1,58	1,07	0,22	0,36	0,21	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	1,58	0,21
5,40-5,21	0,77	0,61	0,17	0,26	0,17	0,26	0,24	0,23	0,21	0,20	0,77	0,17
5,20-5,00	0,37	0,39	0,14	0,20	0,14	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,39	0,14
MAX	17,28	6,82	3,46	3,42	3,33	3,35	3,09	3,36	3,28	3,19	17,28	
MIN	0,37	0,39	0,14	0,20	0,14	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17		0,14

Največje deformacije nastanejo, ko je tovornjak neposredno na temeljnih tleh (17,3‰). Z izgradnjo 20 cm nasipa se deformacije pod površino zmanjšajo na 3,5‰, pod ostalimi nasipi pa so velike med 3,1‰ in 3,4‰. Z višanjem nasipa se deformacije manjšajo. Tovornjak na temeljnih tleh povzroča največje deformacije po celotnem prerezu, razen v spodnjih 20cm, kjer večje deformacije nastanejo zaradi tovornjaka na 20 cm nasipu. Deformacije zaradi tovornjaka na nasipih, višjih od 20 cm, so si med seboj zelo podobne in so v zgornji polovici pol manjše od tistih, ki nastanejo zaradi tovornjaka na 20 cm nasipu.



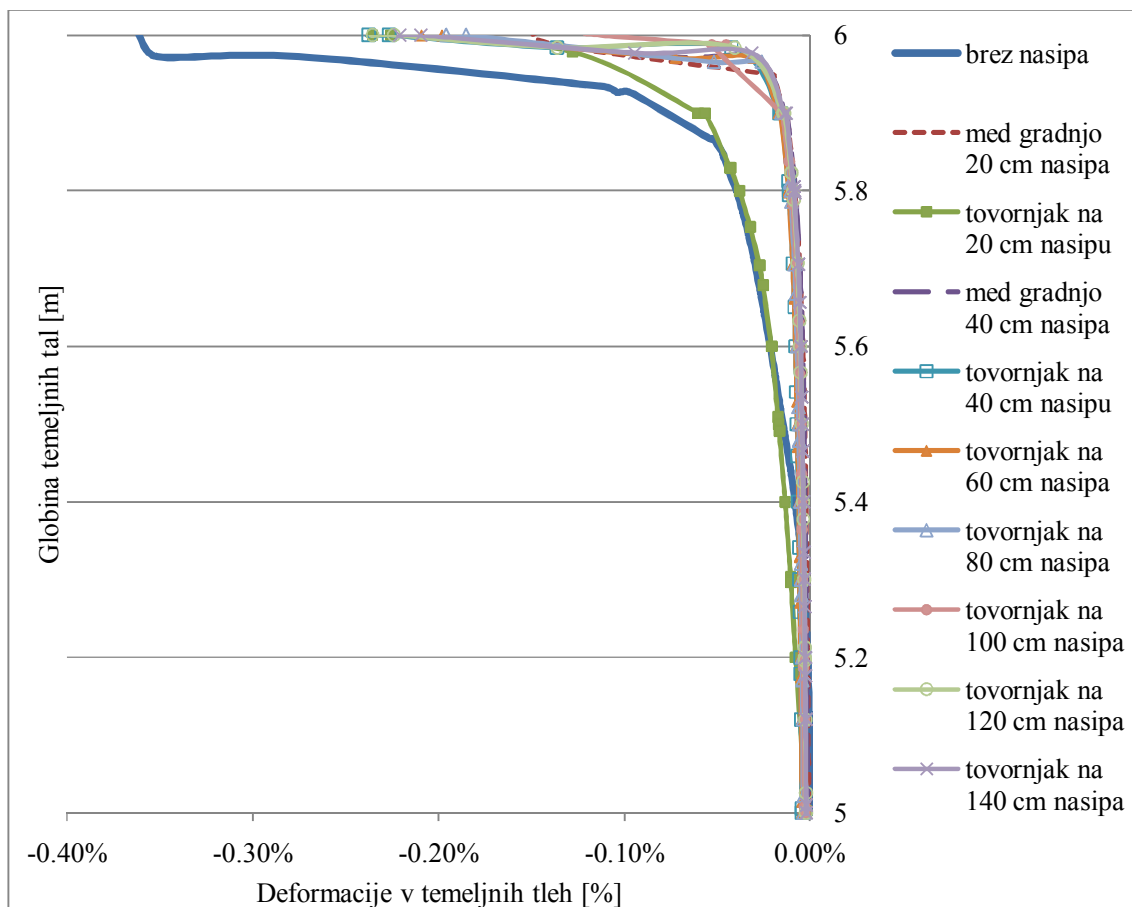


Slika 32: Potek nateznih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 19: Natezne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Natezne horizontalne deformacije $\epsilon_{xx}$ [%]										MAX	MIN
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	3,94	3,96	0,43	0,61	0,29	0,45	0,37	0,37	0,36	0,34	3,96	0,29
5,80-5,61	0,76	0,71	0,13	0,30	0,10	0,19	0,16	0,14	0,13	0,12	0,76	0,10
5,60-5,41	0,49	0,45	0,07	0,21	0,06	0,13	0,11	0,10	0,09	0,09	0,49	0,06
5,40-5,21	0,45	0,34	0,05	0,15	0,05	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,45	0,05
5,20-5,00	0,23	0,25	0,05	0,12	0,05	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,25	0,05
MAX	3,94	3,96	0,43	0,61	0,29	0,45	0,37	0,37	0,36	0,34	3,96	
MIN	0,23	0,25	0,05	0,12	0,05	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06		0,05

Največje natezne horizontalne deformacije so največje tik pod površino zaradi tovrnjaka na 20 cm nasipu (4,0‰). Potek deformacij, ki nastanejo zaradi tovrnjaka na temeljnih tleh in tovrnjaka na 20 cm nasipu, je zelo podoben. Deformacije zaradi tovrnjaka na 40 cm nasipu so približno za polovico manjše, še vedno pa so dvakrat večje od deformacij, ki nastanejo zaradi tovrnjaka pod ostalimi nasipi. Deformacije se z višanjem nasipa manjšajo in so tako najmanjše po 140 cm nasipom.

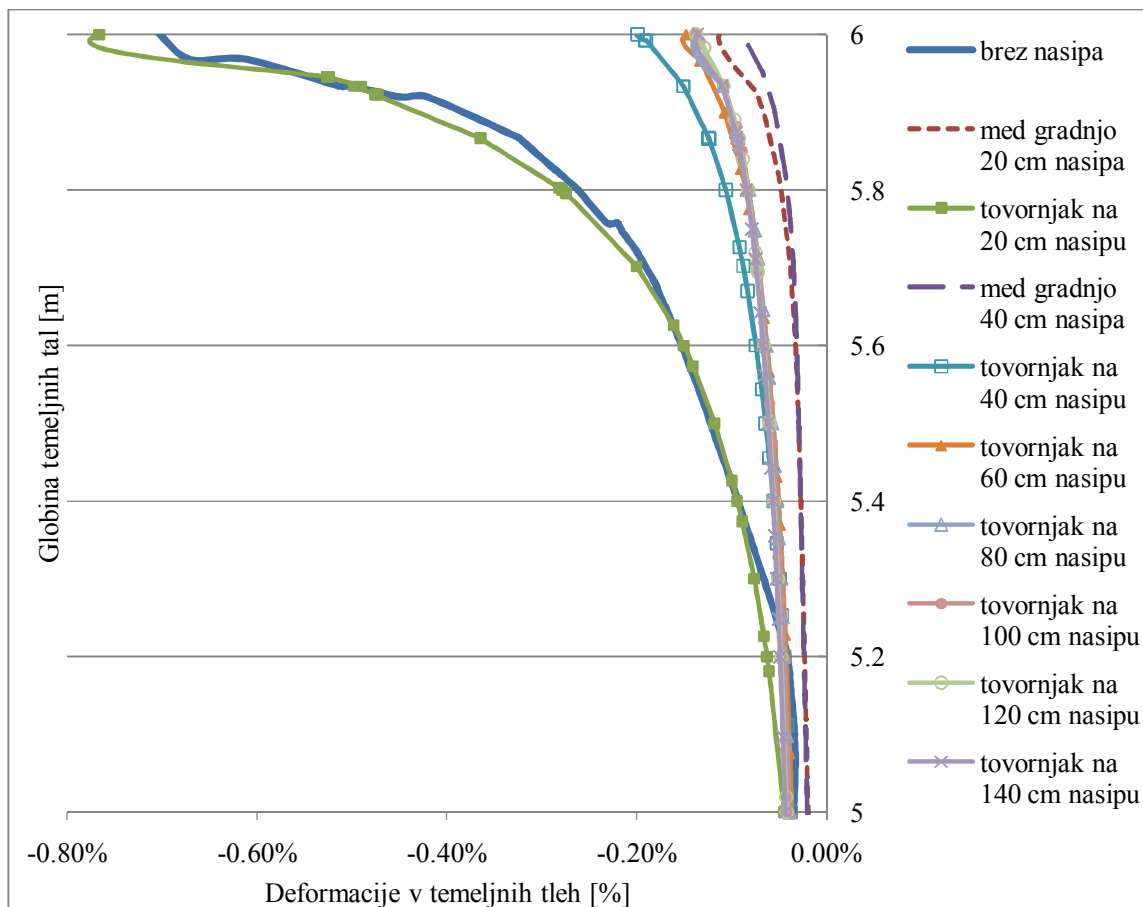


Slika 33: Potek tlačnih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 20: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Tlačne horizontalne deformacije $\varepsilon_{xx}$ [‰]											MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu			
6,00-5,81	-3,61	-2,36	-1,50	-2,38	-2,08	-2,09	-1,96	-1,20	-2,36	-2,21	-3,61	-1,20	
5,80-5,61	-0,40	-0,38	-0,08	-0,11	-0,08	-0,11	-0,11	-0,10	-0,09	-0,08	-0,40	-0,08	
5,60-5,41	-0,21	-0,21	-0,04	-0,08	-0,04	-0,08	-0,07	-0,06	-0,05	-0,05	-0,21	-0,04	
5,40-5,21	-0,08	-0,13	-0,02	-0,06	-0,03	-0,06	-0,05	-0,04	-0,04	-0,03	-0,13	-0,02	
5,20-5,00	-0,01	-0,08	-0,01	-0,05	-0,02	-0,05	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,08	-0,01	
MIN	-3,61	-2,36	-1,50	-2,38	-2,08	-2,09	-1,96	-1,20	-2,36	-2,21	-3,61		
MAX	-0,01	-0,08	-0,01	-0,05	-0,02	-0,05	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03		-0,01	

Največje tlačne horizontalne deformacije (-3,6‰) nastanejo tik pod površino zaradi tovornjaka neposredno na temeljnih tleh. Z izgradnjo zaščitne plasti se te deformacije zmanjšajo za približno 1,5‰. Največje deformacije v zgornjih 60 cm povzroča tovornjak, ki ni na nasipu, nižje pa tovornjak na 20 cm nasipu. Deformacije se manjšajo z višanjem nasipa.



Slika 34: Potek vertikalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 21: Vertikalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

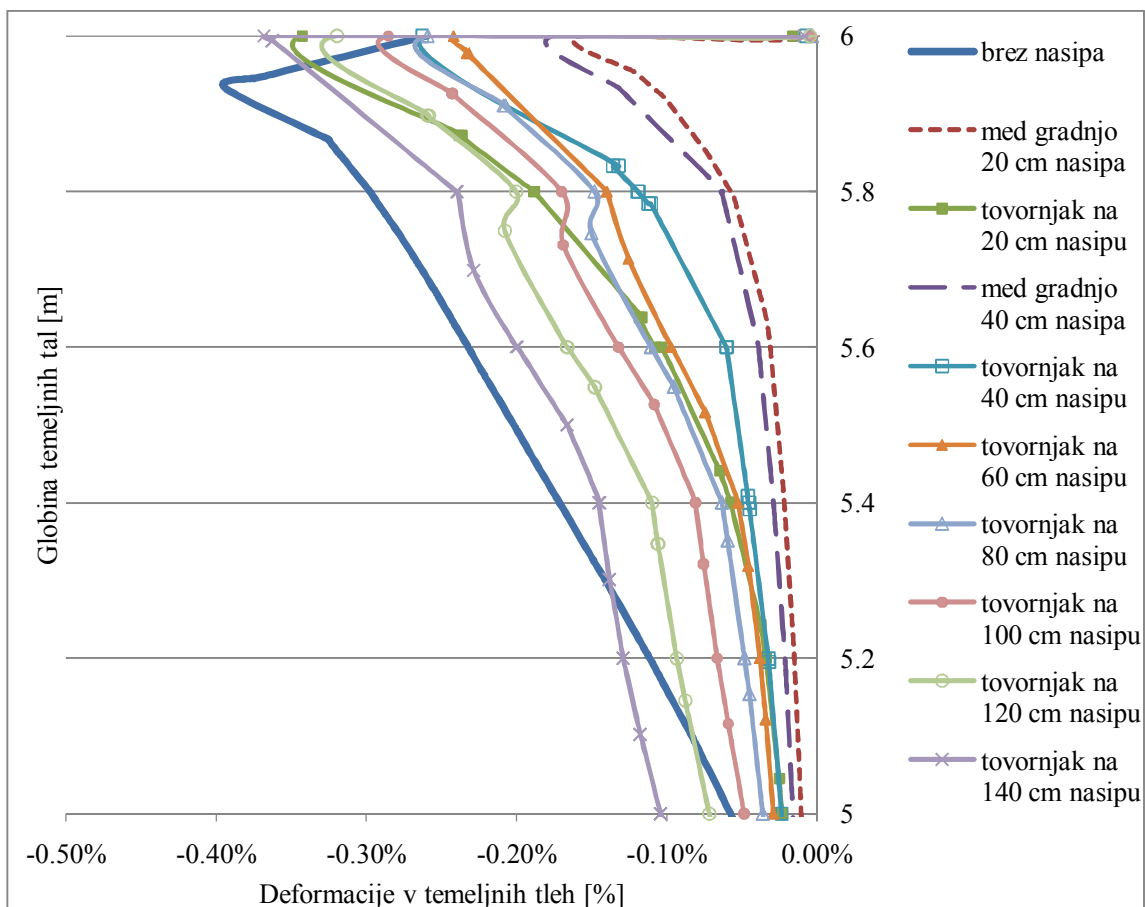
Globina [m]	Vertikalne deformacije $\epsilon_{yy}$ [‰]										MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	-7,03	-7,66	-1,13	-1,99	-0,90	-1,48	-1,37	-1,38	-1,37	-1,35	-7,66	-0,90
5,80-5,61	-2,62	-2,82	-0,48	-1,06	-0,42	-0,85	-0,82	-0,82	-0,83	-0,84	-2,82	-0,42
5,60-5,41	-1,53	-1,61	-0,33	-0,74	-0,32	-0,63	-0,63	-0,65	-0,66	-0,67	-1,61	-0,32
5,40-5,21	-0,93	-0,94	-0,27	-0,56	-0,28	-0,51	-0,52	-0,54	-0,55	-0,57	-0,94	-0,27
5,20-5,00	-0,41	-0,63	-0,23	-0,45	-0,24	-0,43	-0,45	-0,46	-0,48	-0,49	-0,63	-0,23
MIN	-7,03	-7,66	-1,13	-1,99	-0,90	-1,48	-1,37	-1,38	-1,37	-1,35	-7,66	
MAX	-0,41	-0,63	-0,23	-0,45	-0,24	-0,43	-0,45	-0,46	-0,48	-0,49		-0,23

Največje deformacije v obravnavanih temeljnih tleh nastanejo v primeru tovarnjaka na 20 cm nasipu (-7,7‰). Tudi nasip 40 cm povzroča opazno večje deformacije kot ostale višine. Tovarnjak na nasipih višjih od 40 cm povzroča med seboj zelo podobne deformacije. Pri nasipih višjih od 40 cm velja, da se deformacije zaradi tovarnjaka na nasipu večajo z višanjem nasipa. Deformacije pa se z naraščanjem globine zmanjšujejo.

## 4.2 Deformacije v peščenih temeljnih tleh

### 4.2.1 Uporaba običajnega nasipnega materiala

Sedaj bom preverila še deformacije, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh (lastnosti so podane v preglednici 3) zaradi enakega nasipa, kot sem ga uporabila v zgornjih primerih (lastnosti materiala so podane v preglednicah 4, 5, 6).

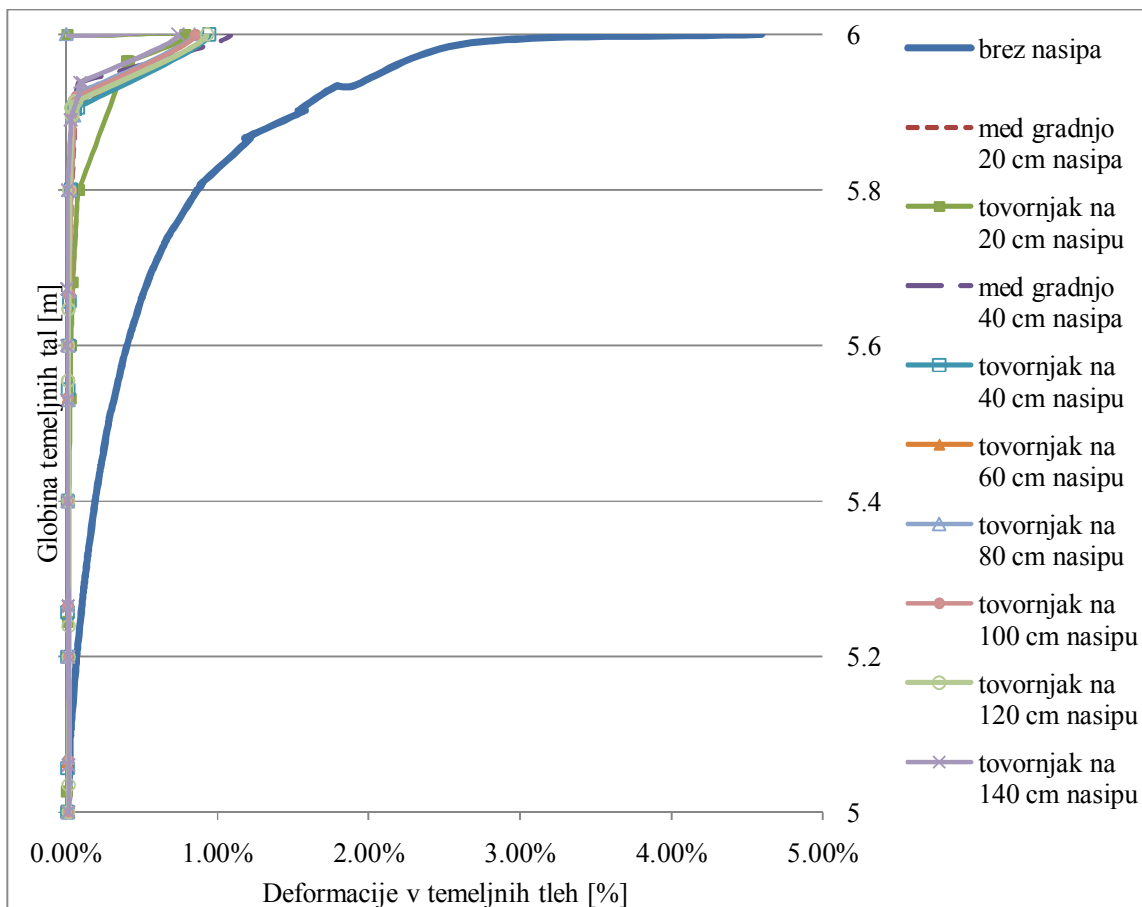


Slika 35: Potek volumskih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 22: Volumske deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje

Globina [m]	Volumske deformacije $\varepsilon_v$ [‰]											MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu			
6,00-5,81	-3,94	-3,43	-1,58	-2,63	-1,76	-2,42	-2,59	-2,85	-3,20	-3,68	-3,94	-1,58	
5,80-5,61	-2,98	-1,88	-0,57	-1,19	-0,64	-1,40	-1,50	-1,70	-2,08	-2,40	-2,98	-0,57	
5,60-5,41	-2,32	-1,08	-0,31	-0,60	-0,39	-0,97	-1,11	-1,32	-1,67	-2,00	-2,32	-0,31	
5,40-5,21	-1,72	-0,57	-0,22	-0,46	-0,29	-0,53	-0,63	-0,81	-1,10	-1,45	-1,72	-0,22	
5,20-5,00	-1,12	-0,34	-0,15	-0,32	-0,21	-0,38	-0,48	-0,66	-0,93	-1,29	-1,29	-0,15	
MIN	-3,94	-3,43	-1,58	-2,63	-1,76	-2,42	-2,59	-2,85	-3,20	-3,68	-3,94		
MAX	-1,12	-0,34	-0,15	-0,32	-0,21	-0,38	-0,48	-0,66	-0,93	-1,29		-0,15	

Najprej vidim, da največjo volumsko deformacijo tik pod površjem povzroča tovarnjak na 140 cm nasipu (-3,7‰). Volumske deformacije, ki jih povzroča tovarnjak neposredno na tleh, so večje od vseh ostalih v globini med 5,9 in 5,3 m. Višji kot je nasip večje deformacije (izjema je tovarnjak na 20 cm nasipu) povzroča. Najmanjše deformacije, če izvajamo tiste, ki nastanejo med gradnjo, povzroča tovarnjak na 40 cm nasipu.

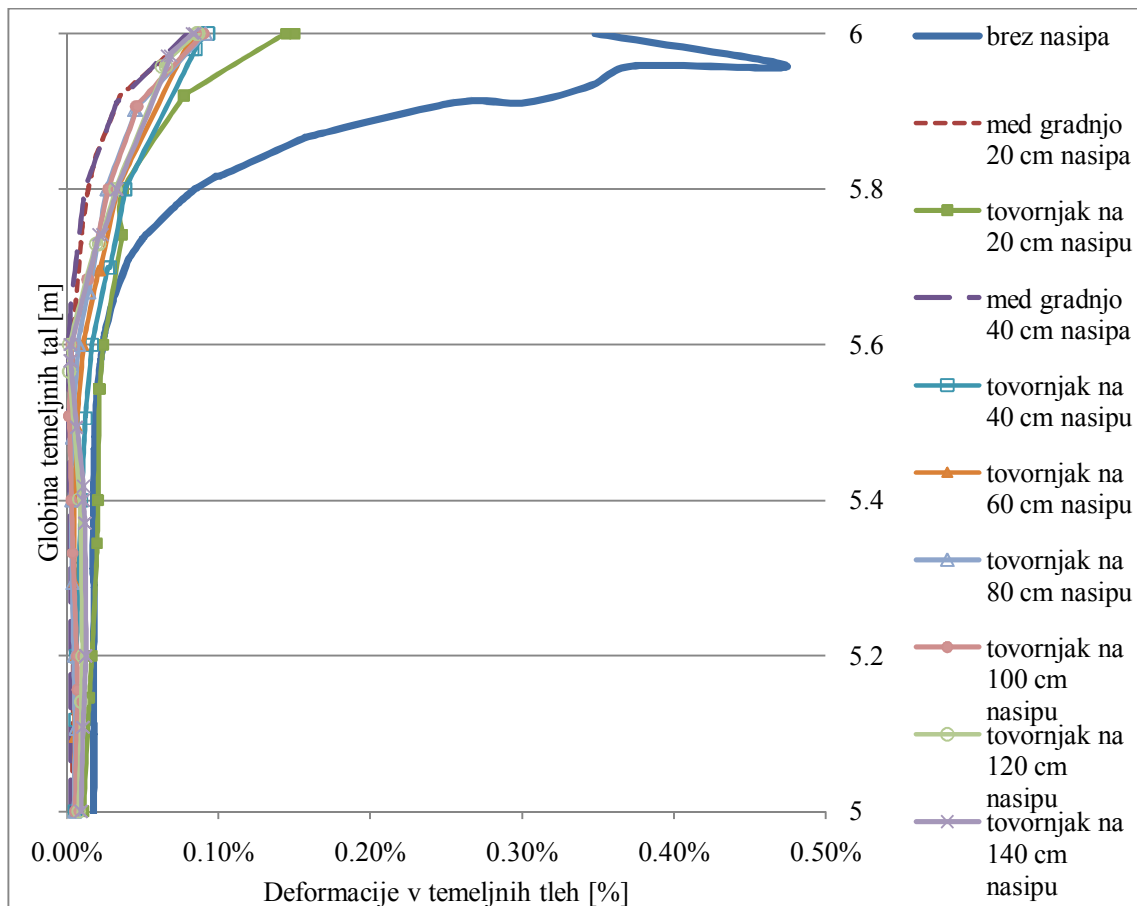


Slika 36: Potek strižnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 23: Strižne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Strižne deformacije $\gamma_{xy}$ [%]										MAX	MIN
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	46,29	7,89	9,41	9,45	10,88	8,51	8,46	8,54	9,30	7,39	46,29	7,39
5,80-5,61	8,70	1,69	0,40	0,33	0,32	0,33	0,29	0,32	0,21	0,12	8,70	0,12
5,60-5,41	4,02	0,56	0,21	0,17	0,17	0,16	0,16	0,14	0,15	0,18	4,02	0,14
5,40-5,21	1,97	0,18	0,13	0,11	0,11	0,11	0,12	0,14	0,19	0,17	1,97	0,11
5,20-5,00	1,07	0,10	0,11	0,10	0,09	0,10	0,11	0,12	0,18	0,17	1,07	0,09
MAX	46,29	7,89	9,41	9,45	10,88	8,51	8,46	8,54	9,30	7,39	46,29	
MIN	1,07	0,10	0,11	0,10	0,09	0,10	0,11	0,12	0,15	0,12		0,09

Največje strižne deformacije vzdolž celotnega prereza nastanejo zaradi obtežbe tovornjaka na temeljnih tleh in znašajo tik pod površjem 4,6%. Z izgradnjo nasipa se deformacije v celotni globini zmanjšajo. V prvih 20 cm se deformacije zmanjšajo tudi do štirikrat, nižje pa se zmanjšajo tudi do nekaj desetkrat. Velikosti deformacij so si po izgradnji katerekoli višine nasipa zelo podobne.



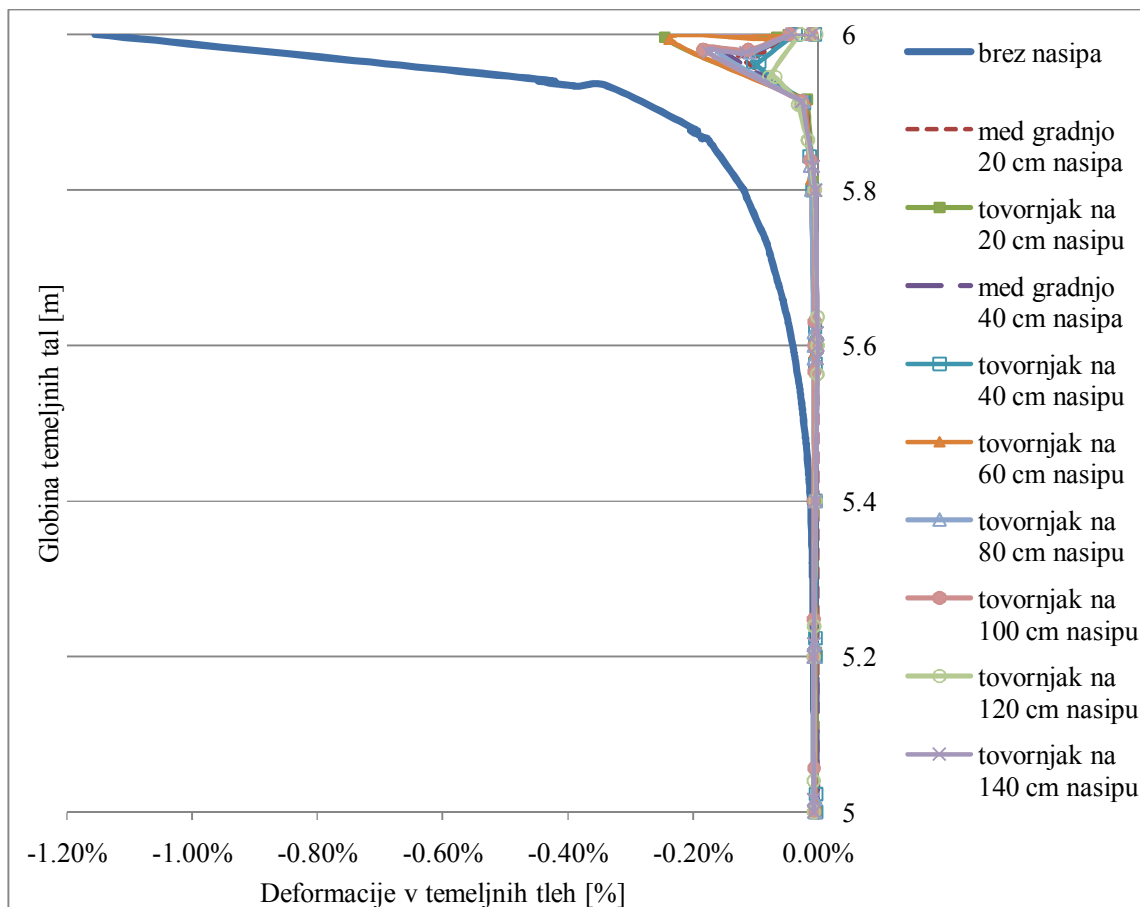
Slika 37: Potek nateznih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal



Preglednica 24: Natezne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Natezne horizontalne deformacije $\epsilon_{xx}$ [‰]											
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu	MAX	MIN
6,00-5,81	4,75	1,50	0,85	0,93	0,82	0,87	0,92	0,90	0,87	0,84	4,75	0,82
5,80-5,61	0,84	0,37	0,14	0,39	0,12	0,33	0,26	0,27	0,32	0,33	0,84	0,12
5,60-5,41	0,24	0,24	0,03	0,17	0,02	0,11	0,08	0,03	0,08	0,11	0,24	0,02
5,40-5,21	0,18	0,21	0,04	0,10	0,03	0,05	0,04	0,04	0,08	0,12	0,21	0,03
5,20-5,00	0,18	0,17	0,04	0,06	0,03	0,05	0,06	0,07	0,10	0,13	0,18	0,03
MAX	4,75	1,50	0,85	0,93	0,82	0,87	0,92	0,90	0,87	0,84	4,75	
MIN	0,18	0,17	0,03	0,06	0,02	0,05	0,04	0,03	0,08	0,11		0,02

Tovornjak neposredno na temeljnih tleh povzroča največje natezne horizontalne deformacije (4,8‰). Po izgradnji nasipa nastanejo največje deformacije zaradi tovornjaka na 20 cm nasipu, najmanjše deformacije pa povzroča tovornjak na 80 cm ali 100 nasipu.

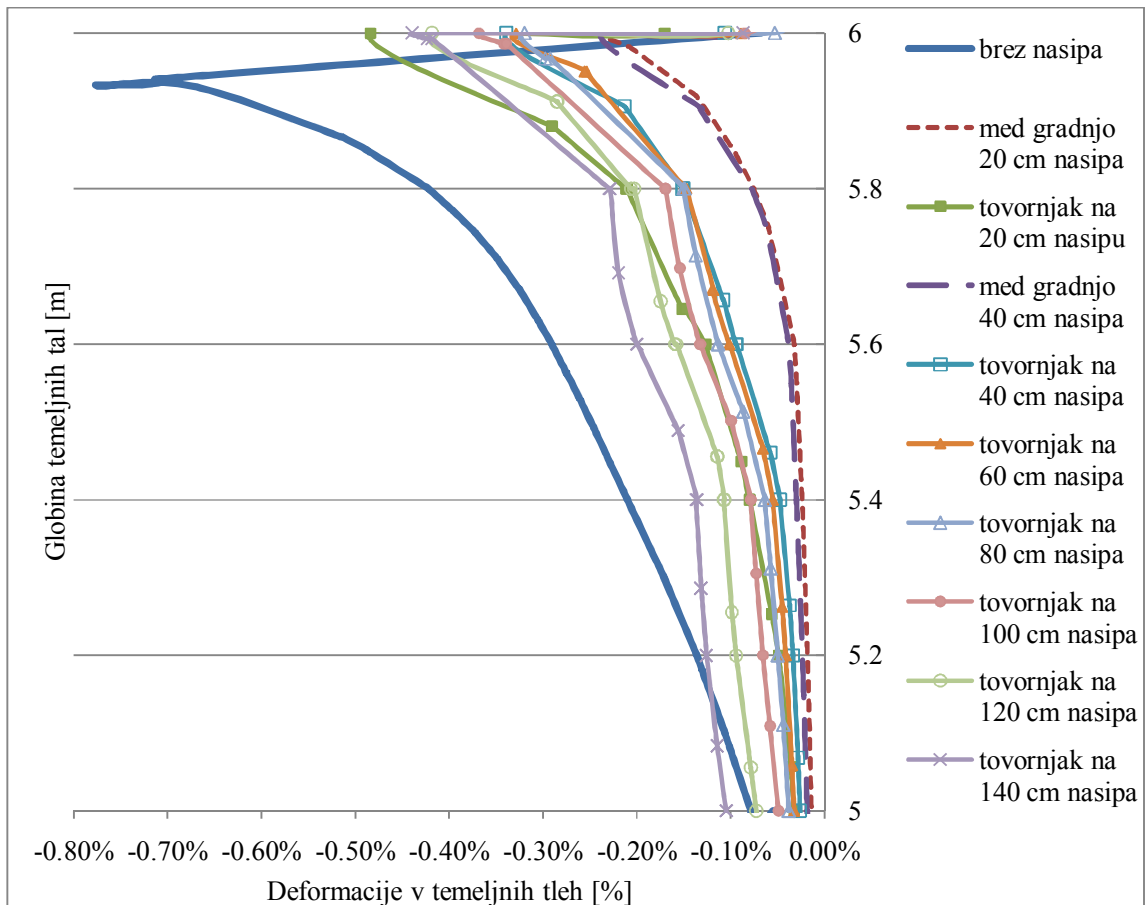


Slika 38: Potek tlačnih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 25: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovrnjaka in gradnje

Globina [m]	Tlačne horizontalne deformacije $\epsilon_{xx}$ [‰]										MIN	MAX
	brez nasipa	tovrnjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovrnjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovrnjak na 60 cm nasipu	tovrnjak na 80 cm nasipu	tovrnjak na 100 cm nasipu	tovrnjak na 120 cm nasipu	tovrnjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	-11,56	-2,45	-1,25	-1,04	-1,50	-2,37	-1,58	-1,84	-0,78	-1,75	-11,56	-0,78
5,80-5,61	-1,19	-0,07	-0,07	-0,09	-0,08	-0,10	-0,11	-0,06	-0,06	-0,05	-1,19	-0,05
5,60-5,41	-0,40	-0,03	-0,02	-0,04	-0,03	-0,06	-0,07	-0,06	-0,02	-0,01	-0,40	-0,01
5,40-5,21	-0,12	-0,03	-0,01	-0,04	-0,02	-0,05	-0,06	-0,07	-0,07	-0,07	-0,12	-0,01
5,20-5,00	-0,08	-0,03	-0,01	-0,04	-0,02	-0,05	-0,06	-0,07	-0,07	-0,08	-0,08	-0,01
MIN	-11,56	-2,45	-1,25	-1,04	-1,50	-2,37	-1,58	-1,84	-0,78	-1,75	-11,56	
MAX	-0,08	-0,03	-0,01	-0,04	-0,02	-0,05	-0,06	-0,06	-0,02	-0,01		-0,01

Največje tlačne horizontalne deformacije (-11,6‰) povzročata tovrnjak, ki ni na nasipu. Te deformacije so največje po celotnem prerezu. Deformacije pod vsemi višinami nasipom so po 10 cm približno velike med 0,8‰ do 2,5‰, nižje pa so velike do 0,1‰.



Slika 39: Potek vertikalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

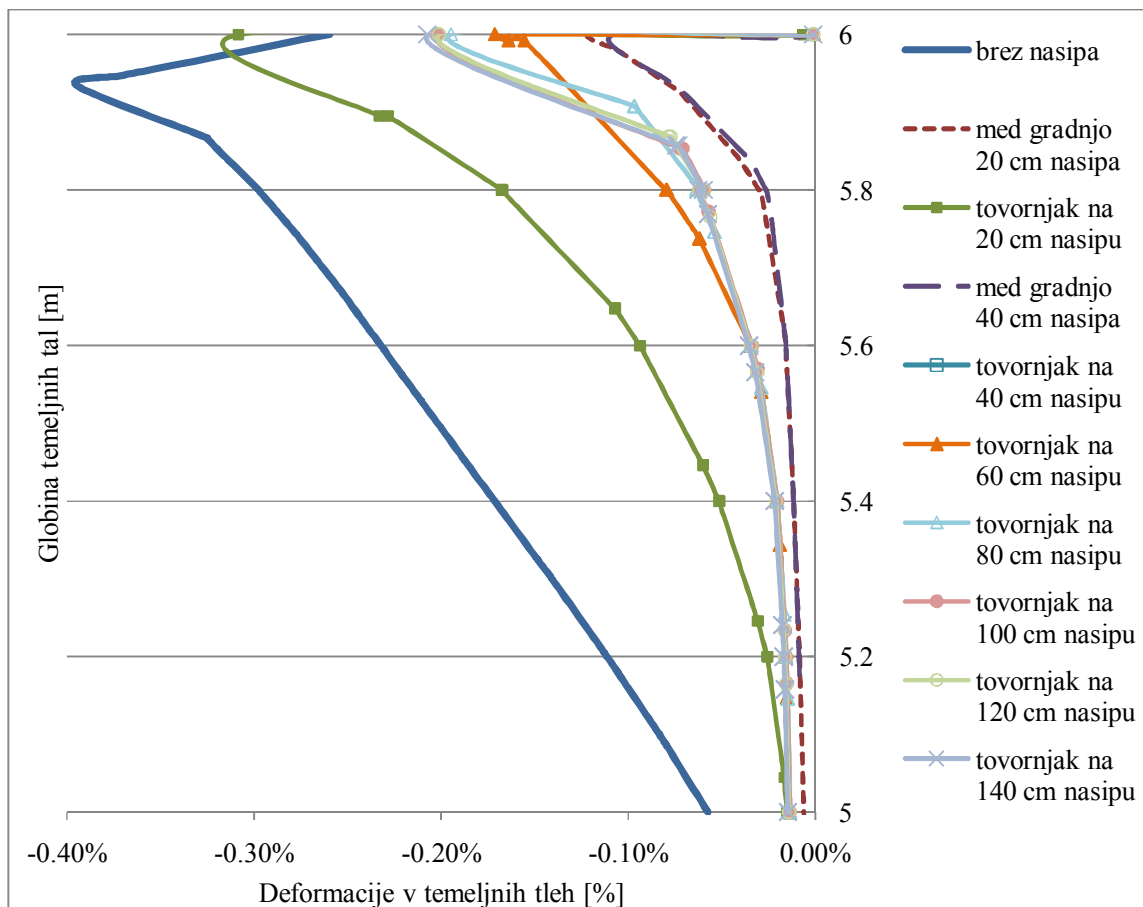
Preglednica 26: Vertikalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje

Globina [m]	Vertikalne deformacije $\varepsilon_{vy}$ [‰]											MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu			
6,00-5,81	-7,76	-4,84	-2,33	-3,39	-2,38	-3,28	-3,19	-3,68	-4,18	-4,40	-7,76	-2,33	
5,80-5,61	-4,22	-2,11	-0,75	-1,51	-0,78	-1,48	-1,50	-1,70	-2,06	-2,30	-4,22	-0,75	
5,60-5,41	-2,91	-1,27	-0,32	-0,95	-0,38	-1,02	-1,14	-1,33	-1,60	-2,00	-2,91	-0,32	
5,40-5,21	-2,10	-0,80	-0,23	-0,48	-0,30	-0,55	-0,64	-0,79	-1,07	-1,37	-2,10	-0,23	
5,20-5,00	-1,38	-0,49	-0,18	-0,34	-0,24	-0,41	-0,50	-0,66	-0,94	-1,26	-1,38	-0,18	
MIN	-7,76	-4,84	-2,33	-3,39	-2,38	-3,28	-3,19	-3,68	-4,18	-4,40	-7,76		
MAX	-1,38	-0,49	-0,18	-0,34	-0,24	-0,41	-0,50	-0,66	-0,94	-1,26		-0,18	

Največje deformacije po skoraj celotnem prerezu povzročata tovarnjak, ki ni na zaščitnem sloju, v spodnjih 10 cm so največje zaradi tovarnjaka na najvišjem nasipu. Deformacije, ki jih povzročata tovarnjak na nasipu, se večajo z višanjem nasipa, izjema pri tem so deformacije zaradi tovarnjaka na 20 cm nasipu. Deformacije se z globino zmanjšujejo.

#### 4.2.2 Uporaba nasipnega materiala z majhno prostorninsko težo

Z bolj primernim nasipnim materialom lahko zmanjšamo deformacije v tleh. Tak nasipni material je material, ki ima majhno prostorninsko težo. Njegove lastnosti so podane v preglednici 7, 8 in 9. Deformacije, ki jih povzročata, pa bodo prikazane na spodnjih slikah in preglednicah.

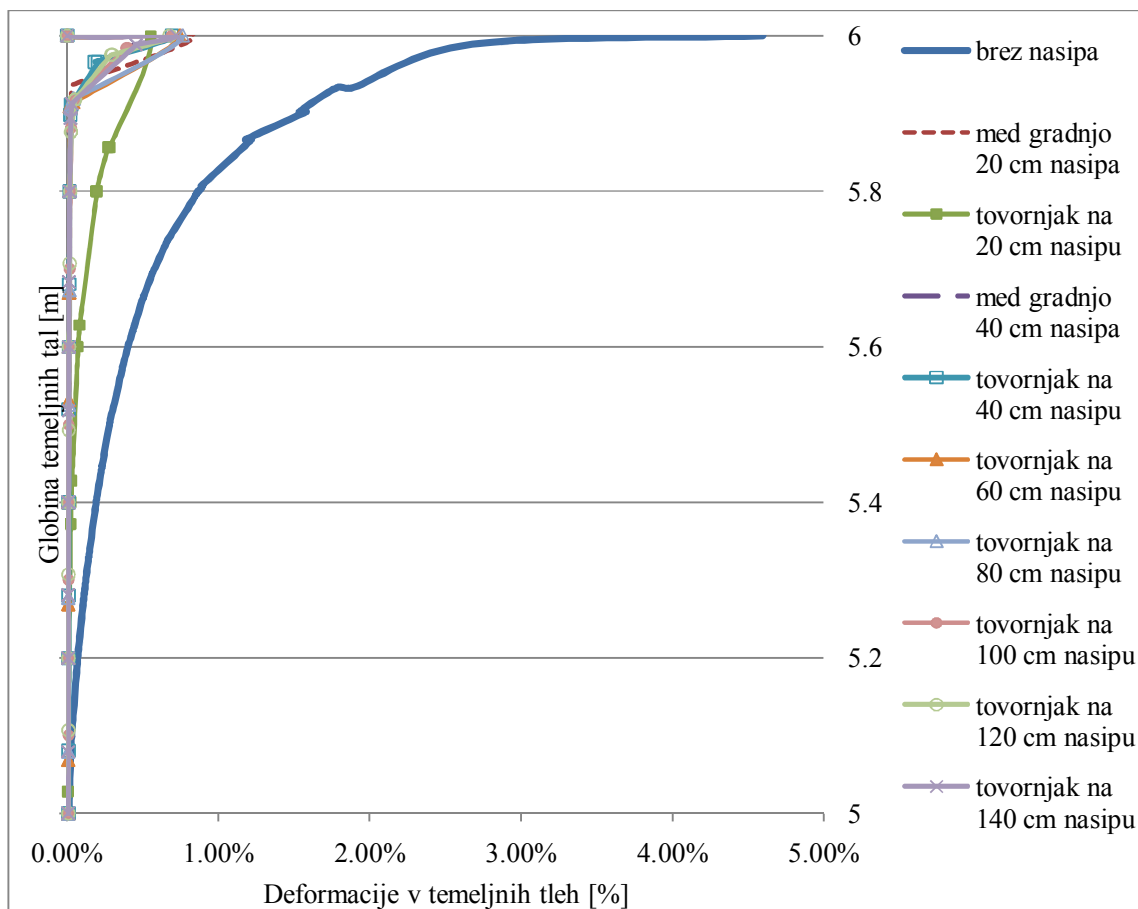


Slika 40: Potek volumskih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 27: Volumske deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Volumske deformacije $\varepsilon_v$ [‰]										MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	-3,94	-3,11	-1,20	-2,12	-1,26	-2,02	-2,02	-2,04	-2,08	-2,11	-3,94	-1,20
5,80-5,61	-2,98	-1,68	-0,30	-0,95	-0,28	-0,59	-0,60	-0,64	-0,58	-0,59	-2,98	-0,28
5,60-5,41	-2,32	-0,94	-0,16	-0,40	-0,14	-0,33	-0,34	-0,34	-0,34	-0,35	-2,32	-0,14
5,40-5,21	-1,72	-0,52	-0,11	-0,21	-0,10	-0,20	-0,20	-0,20	-0,21	-0,21	-1,72	-0,10
5,20-5,00	-1,12	-0,26	-0,08	-0,15	-0,08	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16	-0,17	-1,12	-0,08
MIN	-3,94	-3,11	-1,20	-2,12	-1,26	-2,02	-2,02	-2,04	-2,08	-2,11	-3,94	
MAX	-1,12	-0,26	-0,08	-0,15	-0,08	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16	-0,17		-0,08

Največje volumske deformacije v zgornjih 20 cm povzročata tovornjak, ki ni na nasipu (-3,9‰). Tik pod površino nastane največja deformacija zaradi tovornjaka na 20 cm nasipu, že 5 cm nižje so deformacije, ko nasip ni zgrajen, večje, in tako ostane po celotnem prerezu. Deformacije zaradi tovornjaka na 20 cm nasipu so za več kot 1‰ manjše kot v primeru, ko temeljna tla niso zaščitena, deformacije pod 40 cm visokim nasipom pa so še nekoliko manjše. Najmanjše deformacije nastanejo pod nasipi višjimi od 40 cm in so si med seboj podobne.

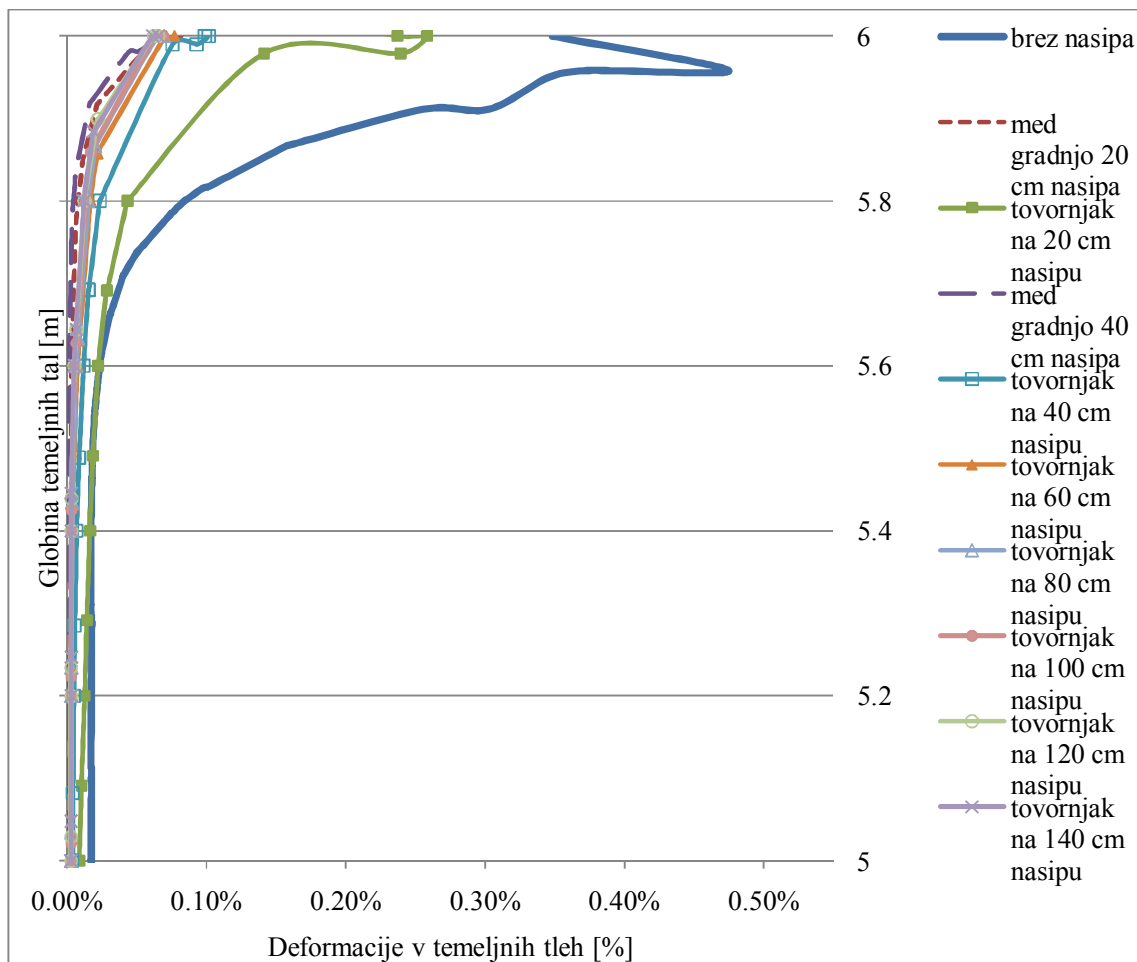


Slika 41: Potek Strižnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 28: Strižne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Strižne deformacije $\gamma_{xy}$ [‰]											MAX	MIN
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu			
6,00-5,81	46,29	7,02	6,92	5,72	6,99	6,86	5,50	7,02	6,42	3,34	46,29	3,34	
5,80-5,61	8,70	1,62	0,32	0,45	0,22	0,35	0,37	0,45	0,39	0,39	8,70	0,22	
5,60-5,41	4,02	0,53	0,12	0,15	0,09	0,15	0,16	0,15	0,22	0,24	4,02	0,09	
5,40-5,21	1,97	0,13	0,09	0,10	0,07	0,10	0,11	0,10	0,16	0,20	1,97	0,07	
5,20-5,00	1,07	0,07	0,07	0,09	0,06	0,09	0,10	0,09	0,11	0,16	1,07	0,06	
MAX	46,29	7,02	6,92	5,72	6,99	6,86	5,50	7,02	6,42	3,34	46,29		
MIN	1,07	0,07	0,07	0,09	0,06	0,09	0,10	0,09	0,11	0,16		0,06	

Največja strižna deformacija (46,3‰) nastane tik pod površjem, ko je tovornjak na temeljnih tleh. V zgornjih 20 cm so najmanjše deformacije pod nasipom 140 cm, nižje pa pod 40 cm nasipom, vendar so si deformacije pod ostalimi (izjema je 20 cm nasip) med seboj zelo podobne.



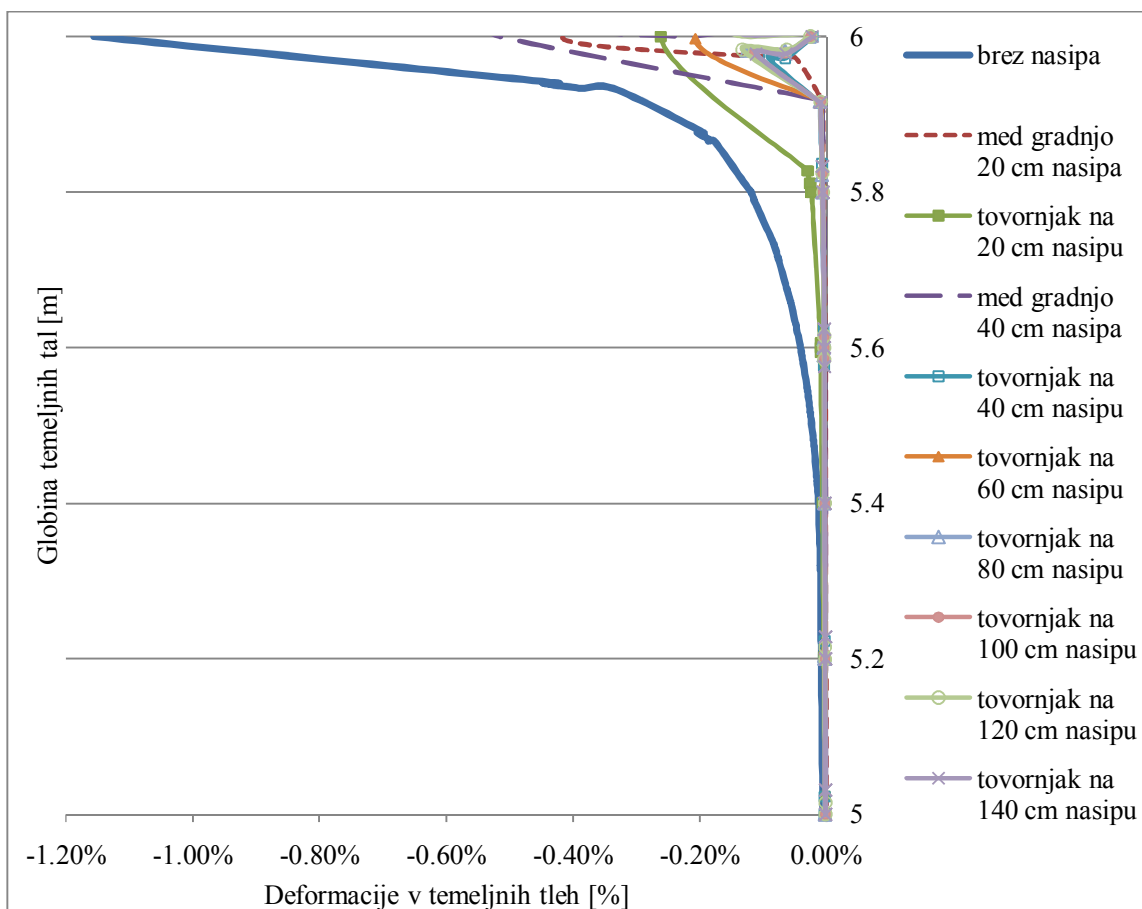
Slika 42: Potek nateznih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 29: Natezne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovrnjaka in gradnje

Globina [m]	Natezne horizontalne deformacije $\epsilon_{xx}$ [%]										MAX	MIN
	brez nasipa	tovrnjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovrnjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovrnjak na 60 cm nasipu	tovrnjak na 80 cm nasipu	tovrnjak na 100 cm nasipu	tovrnjak na 120 cm nasipu	tovrnjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	4,75	2,54	2,40	2,45	2,32	2,44	2,47	2,48	2,45	2,42	4,75	2,32
5,80-5,61	0,84	0,22	0,16	0,18	0,12	0,19	0,17	0,24	0,21	0,22	0,84	0,12
5,60-5,41	0,24	0,19	0,07	0,12	0,04	0,09	0,07	0,05	0,03	0,03	0,24	0,03
5,40-5,21	0,18	0,14	0,04	0,05	0,02	0,04	0,02	0,02	0,04	0,06	0,18	0,02
5,20-5,00	0,18	0,09	0,03	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,05	0,08	0,18	0,02
MAX	4,75	2,54	2,40	2,45	2,32	2,44	2,47	2,48	2,45	2,42	4,75	
MIN	0,18	0,09	0,03	0,04	0,02	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03		0,02



Največje natezne horizontalne deformacije nastanejo v nezaščitenih tleh in dosežejo vrednost 4,8‰ tik pod površino. Deformacije pod zaščitnimi sloji so tik pod nasipom pol manjše. Potek in velikost deformacij zaradi tovarnjaka na nasipih višjih od 40 cm je zelo podoben, zaradi tovarnjaka pod ostalimi nasipi pa so deformacije nekoliko večje.

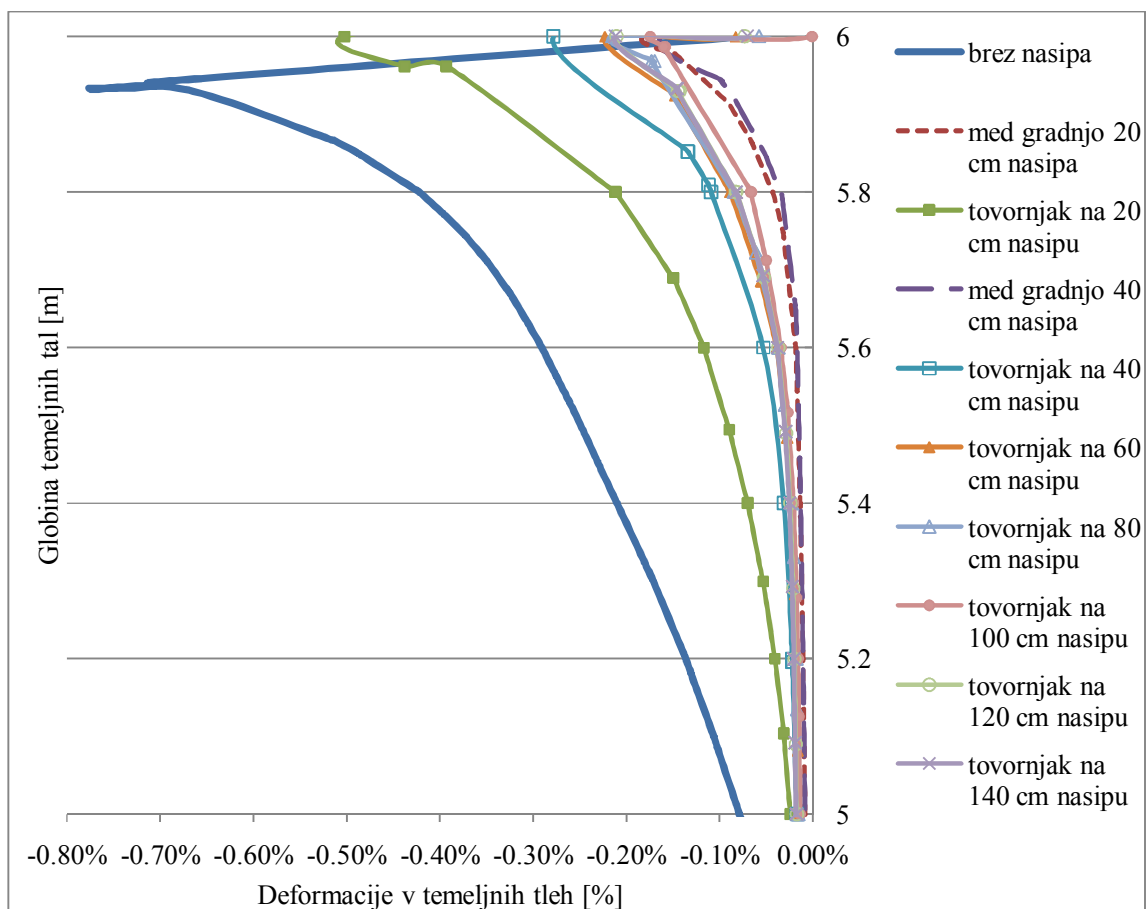


Slika 43: Potek tlačnih horizontalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 30: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovornjaka in gradnje

Globina [m]	Tlačne horizontalne deformacije $\epsilon_{xx}$ [%]										MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	-11,56	-9,15	-12,85	-5,78	-10,98	-10,07	-11,68	-8,64	-11,63	-13,27	-13,27	-5,78
5,80-5,61	-1,19	-0,09	-0,10	-0,11	-0,10	-0,12	-0,14	-0,14	-0,12	-0,11	-1,19	-0,09
5,60-5,41	-0,40	-0,04	-0,03	-0,05	-0,04	-0,07	-0,08	-0,08	-0,05	-0,06	-0,40	-0,03
5,40-5,21	-0,12	-0,03	-0,02	-0,04	-0,03	-0,05	-0,06	-0,07	-0,04	-0,05	-0,12	-0,02
5,20-5,00	-0,08	-0,03	-0,01	-0,03	-0,02	-0,05	-0,06	-0,07	-0,08	-0,07	-0,08	-0,01
MIN	-11,56	-9,15	-12,85	-5,78	-10,98	-10,07	-11,68	-8,64	-11,63	-13,27	-13,27	
MAX	-0,08	-0,03	-0,01	-0,03	-0,02	-0,05	-0,06	-0,07	-0,04	-0,05		-0,01

Največje tlačne horizontalne deformacije nastanejo zaradi tovornjaka na 140 cm nasipu (-13,3%). Pod vsemi nasipi so deformacije zaradi tovornjaka tik pod površino zelo velike v primerjavi s nateznimi horizontalnimi deformacijami. Vendar se že v zgornjih 20 cm zmanjšajo na stotino največje vrednosti. Deformacije pod vsemi nasipi so podobno velike, v zadnjih 20 cm so tudi deformacije zaradi tovornjaka brez nasipa v tem velikostnem redu, sicer so večje. Najmanjše deformacije nastanejo zaradi tovornjaka na 40 cm visokem nasipu.



Slika 44: Potek vertikalnih deformacij v zgornjem metru temeljnih tal

Preglednica 31: Tlačne horizontalne deformacije po prerezih zaradi obtežbe tovarnjaka in gradnje

Globina [m]	Vertikalne deformacije $\epsilon_{yy}$ [‰]										MIN	MAX
	brez nasipa	tovornjak na 20 cm nasipu	med gradnjo 20 cm nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu	med gradnjo 40 cm nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu	tovornjak na 80 cm nasipu	tovornjak na 100 cm nasipu	tovornjak na 120 cm nasipu	tovornjak na 140 cm nasipu		
6,00-5,81	-7,76	-5,31	-4,22	-5,09	-4,00	-4,92	-5,19	-5,47	-5,89	-6,18	-7,76	-4,00
5,80-5,61	-4,22	-2,24	-0,98	-1,78	-1,08	-1,79	-1,93	-2,15	-2,47	-2,77	-4,22	-0,98
5,60-5,41	-2,91	-1,22	-0,42	-1,08	-0,50	-1,11	-1,22	-1,34	-1,71	-2,08	-2,91	-0,42
5,40-5,21	-2,10	-0,73	-0,23	-0,57	-0,31	-0,71	-0,74	-0,93	-1,19	-1,50	-2,10	-0,23
5,20-5,00	-1,38	-0,39	-0,16	-0,38	-0,22	-0,44	-0,55	-0,73	-0,99	-1,29	-1,38	-0,16
MIN	-7,76	-5,31	-4,22	-5,09	-4,00	-4,92	-5,19	-5,47	-5,89	-6,18	-7,76	
MAX	-1,38	-0,39	-0,16	-0,38	-0,22	-0,44	-0,55	-0,73	-0,99	-1,29		-0,16

Tudi največje vertikalne deformacije (-7,8‰) nastanejo v primeru, ko nasip ni zgrajen, sicer niso tik pod površjem ampak na globini 5 cm. Na sliki 31 vidim, da se deformacije z višino nasipa zmanjšujejo, izjema so deformacije zaradi tovarnjaka na 20 cm nasipu. Najmanjše deformacije nastanejo zaradi tovarnjaka na 40 cm nasipu. Z oddaljevanjem od površja se deformacije manjšajo.

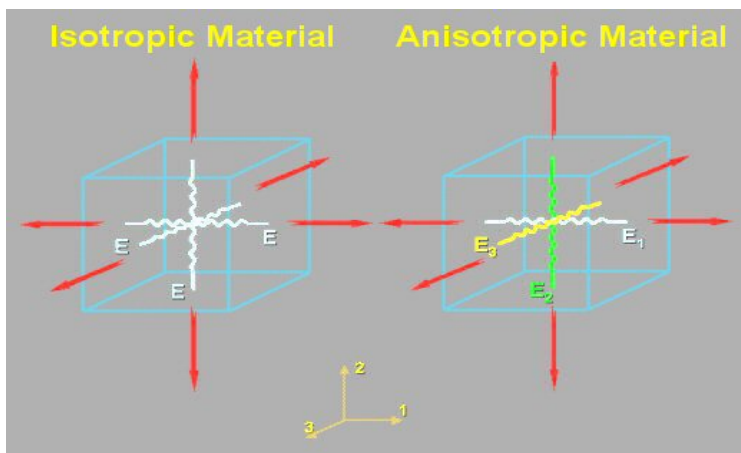
## 5 DOLOČITEV VIŠINE ZAŠČITNEGA SLOJA

### 5.1 Mejne deformacije materialov

Sedaj, ko sem izračunala deformacije v tleh, moram ugotoviti, kaj to pomeni za arheološke najdbe. Kot sem že na začetku povedala, sem predpostavila, da se bodo najdbe deformirale tako kot temeljna tla. Če poznam mejne deformacije materialov, ki sestavljajo artefakte, lahko ocenim, ali jih bo prekrivni sloj zaščitil pred poškodbami ali ne. V primeru, da so deformacije tal zaradi obtežbe nasipa in tovornjaka manjše od mejnih vrednosti deformacij materialov, je zaščita z nasipom učinkovita.

Med arheološkimi najdbami najdemo različne materiale, najpogostejši pa so: steklo, kosti, keramika, bron, baker, železo, les, kamen. Ker imajo vsi ti materiali različne mehanske lastnosti, se na enako obtežbo različno odzivajo. Odvisnost med obtežbo in pomiki (napetostmi in deformacijami) opisujejo materialne ali konstitutivne enačbe. Odvisnosti se pri različnih materialih močno razlikujejo. Na mehansko obnašanje snovi odločilno vpliva njena struktura. To je način, kako so molekule sestavljene v kompaktno celoto. Trdne snovi glede na strukturo delimo v amorfne, kristalne in kristalaste snovi. Amorfne snovi so sestavljene iz popolnoma naključno razvrščenih in medsebojno povezanih osnovnih delcev. Med amorfne materiale spadajo steklo, smole in podobne snovi. Kristalno strukturo opazimo predvsem pri mineralih. Za kristalne snovi je značilna po posebnih zakonitostih urejena razvrstitev in medsebojna povezanost molekul. Kristalaste snovi so sicer sestavljene iz pravilnih kristalov, ki pa so lahko različnih oblik in orientacije ter brez posebnega pravila povezani med seboj. Kristalasta struktura je značilna za kovine. Med kristalaste snovi uvrščamo tudi sestavljene materiale, kot je na primer beton, pri katerem so mineralna zrna različnih velikosti in leg s cementnim vezivom povezana med seboj.

Od strukture je v največji meri odvisno, ali se snov obnaša izotropno ali anizotropno. Izotropija je lastnost snovi, da se obnaša enako v vseh smereh, in je posebej značilna za amorfne snovi.



Slika 45: Primerjava mehanskega obnašanja izotropnega in anizotropnega materiala [19]

Tudi kristalaste snovi imajo navadno izotropne lastnosti. Čeprav je vsak od kristalov, ki sestavljajo tako snov, sam zase anizotropen, se telo zaradi njihove naključne razporeditve v celoti obnaša kot izotropno. Snovi s kristalno strukturo pa se pravilom obnašajo anizotropno, kar pomeni, da so njihove mehanske lastnosti v različnih smereh različne. [20]

Napetosti povzročajo deformacije, ki so sprva v elastičnem območju. Če pride v tem območju do razbremenitve, poteka razbremenitev po enaki poti kot obremenitev. Elastična deformacija popolnoma izgine in snov se vrne v nedeformirano stanje. Snov je v elastičnem območju, dokler napetost ne doseže meje elastičnosti. Nad to mejo že majhno povečanje napetosti povzroči velik prirastek deformacije. V tem območju se po razbremenitvi snov ne vrne v začetno stanje in obliko, ampak obdrži plastične deformacije.

Za mejne deformacije materialov bom določila deformacije, ki so še elastične. V linearno elastičnem območju je odvisnost med vzdolžno deformacijo in napetostjo opisana s Hookovim zakonom:

$$\sigma_l = E \cdot \varepsilon_l \quad (42)$$

oziroma:

$$\varepsilon_l = \frac{\sigma_l}{E} \quad (43)$$

Parameter  $E$  imenujemo modul elastičnosti ali Youngov modul. Prečna deformacija je v linearno elastičnem območju premosorazmerna vzdolžni deformaciji:

$$\varepsilon_p = -\nu \cdot \varepsilon_l = -\frac{\nu}{E} \cdot \sigma_l \quad (44)$$

Konstantni brezdimenzijski parameter  $\nu \geq 0$ , ki je znan kot koeficient prečne kontrakcije ali Poissonov količnik.

Zveza med strižno napetostjo in strižno deformacijo je v linearno elastičnem območju podana z enačbo:

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (45)$$

Parameter G imenujemo strižni modul. [20]

### Steklo

Steklo je eno najstarejših gradiv, ki jih je naredil človek. Uporabljali so ga za izdelavo orožij, orodij in nakita. Po mnenju zgodovinarjev so steklo začeli proizvajati približno 5000 let pred našim štetjem na območju današnje Sirije. Osnovna surovina za izdelavo stekla je kremenčev pesek (kremen,  $\text{SiO}_2$ ). Z dodajanjem različnih kovinskih oksidov se dosega barvitost stekla. [21]

### Železo

V zemeljski skorji je okoli 4,7% železa, zato je bila njegova uporaba razširjena pri mnogih starih civilizacijah. Ker je čisto železo razmeroma mehka kovina, so njegovo uporabnost povečali z legiranjem z ogljikom in tako dobili jeklo ali lito železo. Železo se pridobiva s plavžnim procesom, ki je redukcija oksidnih železovih rud s koksom. Železove rude so magnetit, hematit, takonit, siderit, limonit in pirit. [21]

### Baker

Baker je kovina, ki jo človeštvo uporablja že od zgodnjih začetkov civilizacij. Odkritje se pogosto pripisuje Egipčanom (3500 let pr.n.š). Prvotno so ga obdelovali s kovanjem in vlivanjem. V naravi se nahaja v številnih rudah. Tudi bakrene zlitine sodijo med najstarejše kovine, ki jih človek uporablja. Zlitine na osnovi bakra tvorijo dve veliki skupini, znani kot medenine in bron. Medenine so zlitine bakra in cinka z manjšim deležem ostalih kovin, bron pa zlitine bakra in različnih kovin. [21]

### Les

Les je od nekdaj predstavljal eno izmed osnovnih dobrin, ki si jih je prisvojil človek. Njegovo vrednost in plemenitost dokazuje uporaba od prvih bivališč dalje in sodobna uporaba za mnoge namene, od katerih je vloga odličnega gradiva samo ena izmed njih. V tehničnem smislu je les naravni, vlaknasti, organski kompozitni material, ki je večinoma sestavljen iz celuloze, olesenel del pa je zaradi vložkov iz lignina. [21]

### Keramika

Stopnjo razvitosti starih civilizacij je opredeljevala tudi stopnja razvitosti veččin za izdelovanje keramik. Surovinska osnova vsebuje dva najbolj razširjena elementa v litosferi – kisik in silicij, ki v obliki kremenca ( $\text{SiO}_2$ ) predstavljata osnovo surovine za izdelavo keramike, ki se imenuje glina. Ta je produkt razpadanja silikatnih kamnin. Glina se oblikuje v tekočem, plastičnem, polplastičnem, suhem

ali praškastem stanju. Izdelki se sušijo ali pečejo na različnih temperaturah in s tem dobijo določene mehanske lastnosti. [21]

### Kosti

Kosti so togi organi, ki predstavljajo del endoskeleta vretenčarjev. Živalske kosti, rogovje in zobje so bili v kameni dobi zelo pomembne surovine za izdelavo različnega orodja in orožja, pa tudi okrasnih predmetov. Kosti so dragocena priča vsakdanjega življenja in obnašanja ljudi [22]. Kosti so različnih oblik in imajo zapleteno notranjo in zunanjo strukturo. Njihove materialne karakteristike so odvisne od vrste, starosti, anatomske lege, vsebnosti tekočine,...

Preglednica 32: Trdnosti in deformacije človeške stegenice v odvisnosti od starosti [23]

Starost (v letih)							
Lastnosti	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80
Trdnost [MPa]							
Nateg	114	123	120	112	93	86	86
Tlak	-	167	167	161	155	145	-
Upogib	151	173	173	162	154	139	139
Torzija	-	57	57	52	52	49	49
Mejna deformacija [%]							
Nateg	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3
Tlak	-	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	-
Torzija	-	2,8	2,8	2,5	2,5	2,7	2,7

### Kamen

V času kamene dobe so ljudje svoja orodja in orožja izdelovali predvsem iz kamna. Fizikalne in mehanske lastnosti kamenin so odvisne od geoloških razmer, pri katerih so nastale (poznejše geološke spremembe vplivajo na dodatne spremembe lastnosti), razporeditve kamnitih masivov, plastovitosti itd. [21]



Preglednica 33: Mehanske lastnosti materialov [24]-[35]

	Modul elastičnosti E [GPa]	Strižni modul G [GPa]	Natezna trdnost [MPa]	Tlačna trdnost [MPa]	Strižna trdnost [MPa]	$\nu$	$\epsilon$ (nateg) [%]	$\epsilon$ (tlak) [%]	$\gamma$ (strižne) [%]
Medenina	96-110	36-41	200-620	200-620	235	0,34	2,08-5,64 (36%)		5,73-6,53
Bron	96-120	36-44	200-830	200-830	169	0,34	2,08-6,92 (37%)		3,84-4,69
Lito železo	83-170	32-69	200	201	260	0,3	1,18-2,41 (2%)		2,90-6,25
Kovano železo	190-210	75	234-372	234-373	193-310	0,3	1,23-1,77 (15%)		2,57-4,96
Baker in bakrove zlitine	110-120	40-47	220	221	143	0,34	1,83-2 (36%)		3,58-3,04
Steklo	48-83	19-35	30-70	950		0,18-0,3	0,63-0,84	11,44	
Hrastov les (pravokotno na vlakna)	0,75	0,7	0,6	8,8	3,8	0,3	0,80	11,73	5,43
Hrastov les (vzporedno z vlakni)	9,40	0,7	24	26	3,8	0,3	2,55	2,77	5,43
Borov les (pravokotno na vlakna)	0,37	0,69	0,4	0,53	2,5	0,3	1,08	1,43	3,62
Borov les (vzporedno z vlakni)	11,00	0,69	14	21	2,5	0,3	1,27	1,91	3,62
Beton	18-30	0,8-12,5	1-11,5	10-115	3-11	0,1-0,2	0,35	3,5	0,75-3,75
Keramika	10-207		2-138	5-1043			0,1-0,67	1-5	
Kamen (granit)	10-70	24	7-25	100-250	14-50	0,1-0,3	0,1-2,5	1,43-25	0,58-2,08
Porcelan	48-70		10-17	172-344			0,21-0,24	3,58-4,91	

V zgornji preglednici so podane elastične vrednosti mejnih deformacij. Kovine lahko izven elastičnega območja prenesejo večje deformacije, preden se poškodujejo, zato je v oklepajih zapisana tudi vrednost prestrižne deformacije. Po primerjavi mejnih deformacij materialov, ki so zapisane v preglednicah 32 in 33, z izračunanimi deformacijami v temeljnih tleh pod zaščitnim slojem optimalne višine, ki so zapisane v preglednicah 40 in 41, lahko ocenimo, ali se bodo najdbe poškodovale. Najvišja natezna deformacija, ki jo bodo prenesle vse najdbe brez poškodb, mora biti manjša od 0,1%, pri večji deformaciji bo najprej prišlo do poškodb keramičnih najdb. Za tlačne deformacije je mejna vrednost deformacij, ki še ne povzroča poškodb -1%, pri večjih deformacijah pa se bodo najprej poškodovale kamnite najdbe. Največja strižna deformacija brez poškodb najdb je 0,75%, pri večjih deformacijah se bodo kot prve poškodovale najdbe iz betona.

## **5.2 Višina zaščitnega sloja na glinenih temeljnih tleh**

Vse višine zaščitnega sloja, ki jih bom določila v tem poglavju, se nanašajo na obravnavane pogoje in jih ni možno povzeti kot splošno pravilo, ki bi veljalo v vseh primerih.

### **5.2.1 Uporaba običajnega nasipnega materiala**

Če bi izbirala optimalno višino zaščitnega sloja samo na podlagi volumskih deformacij (slika 24, preglednica 12), bi izbrala 40 cm. Tik pod površino so v tem primeru deformacije večje kot pod nasipi višine 60 cm, vendar pa se to spremeni že po prvih 5 cm. V naslednjem delu so deformacije pod nasipom višine 60 cm najmanjše (manjše deformacije nastanejo samo med gradnjo nasipa). V zadnjih 40 cm pa nižji nasip 20 cm povzroča manjše deformacije. Pravzaprav bi bila za najdbe, ki ležijo več kot pol metra pod površino možna rešitev tudi, da nasipa sploh ne bi zgradili. Deformacije so v tem primeru v zgornjih 20 cm med večjimi, vendar pa so v spodnjih 40 cm večje samo od tistih, ki nastanejo med gradnjo 20 cm nasipa. Če torej najdbe ležijo v zgornjih 50 cm, jih varujemo z 40 cm zaščitnim slojem, sicer pa nasip ni smiseln.

Če presojam smiselno višino nasipa glede na strižne deformacije (slika 25, preglednica 13), vidim, da tovrnjak, ki ni na zaščitnem sloju, povzroča po celotni globini največje deformacije. Torej bo vsaka višina zaščitnega sloja izboljšala stanje. Za zaščito pred nateznimi deformacijami izberem 140 cm, saj so v tem primeru najmanjše. Za zmanjšanje tlačnih deformacij pa bi za najdbe v zgornjih 30 cm izbrala nasip višine 100 cm, za nižje ležeče najdbe pa nasip višine 40 cm. Največja razlika med deformacijama pri obeh nasipih je tik pod površjem in znaša 0,5%. Pri nateznih deformacijah so razlike med deformacijami pod različnimi višinami nasipov zelo majhne, zato za optimalno višino odločim na podlagi tlačnih strižnih deformacij.

Horizontalne deformacije (sliki 26 in 27, preglednici 14 in 15) so največje v zgornjih 20 cm, ko nasip ni zgrajen. Za varovanje arheoloških najdb pred nateznimi horizontalnimi deformacijami izberem nasip višine 140 cm, za varovanje pred tlačnimi deformacijami pa nasip višine 40 cm.

Za varovanje pred vertikalnimi deformacijami (slika 28, preglednica 16) je najbolj primerna višina nasipa 40 ali 60 cm. Oba nasipa povzročata podobne velikosti deformacij. S tako višino nasipa bodo zaščitene najdbe v zgornjih 60 cm tal. Nižje pa so manjše deformacije, če nasipa ne zgradim.

Ker moram najdbe hkrati ščititi pred deformacijami v vseh smereh, moram sedaj izbrati primerno višino nasipa in pri tem upoštevati zgornje ugotovitve. Po pregledu vseh slik in preglednic ugotovim, da se volumske in vertikalne deformacije v zgornjem sloju temeljnih tal z višanjem nasipa večajo. Strižne deformacije zmanjšamo z vsakim nasipom, za zaščito pa izberem nasip višine 100 cm. Horizontalne deformacije so približno enako velike ne glede na višino nasipa, izjema je nasip višine 20 cm, kjer so deformacije podobno velike, kot če zaščitnega sloja ni. Zato za zaščito pred horizontalnimi deformacijami izberem nasip višine 40 cm. Za optimalno višino varovanja arheoloških najdb v obravnavnih pogojih izberem 40 cm visok nasip. Niso vse deformacije pod tako visokim nasipom najmanjše, predstavlja pa ta višina kompromis za vse vrste deformacij.

Preglednica 34: Višina zaščitnega sloja iz običajnega materiala in globina najdbe, pri kateri so presežene mejne vrednosti deformacij v glinenih temeljnih tleh

Deformacije [%o]	Višina zaščitnega nasipa [cm]							
	0	20	40	60	80	100	120	140
Globina najdb [cm]								
0 - 20	$\epsilon_{xx}^- > -1$	$\epsilon_{xx}^- > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx}^- > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx}^- > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx}^- > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx}^- > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx}^- > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx}^- > -1$
20 - 40	$\epsilon_v > -1$		$\epsilon_v > -1$	$\epsilon_v > -1$				
40 - 60	$\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$	$\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_v > -1$			
60 - 80	$\gamma_{xy} < 0,75$	$\epsilon_{yy} > -1$			$\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\epsilon_{yy} > -1$		
80 - 100	$\epsilon_{xx+} < 0,1$	$\epsilon_{xx+} < 0,1$	$\epsilon_{x+} < 0,1$	$\epsilon_{x+} < 0,1$	$\epsilon_{x+} < 0,1$	$\epsilon_{x+} < 0,1$	$\epsilon_v > -1$ $\epsilon_{yy} > -1$ $\epsilon_{x+} < 0,1$	$\epsilon_v > -1$ $\epsilon_{yy} > -1$ $\epsilon_{x+} < 0,1$
volumske deformacije: $\epsilon_v$ , strižne deformacije: $\gamma_{xy}$ , natezne/tlačne horizontalne deformacije: $\epsilon_{xx+/-}$ , vertikalne deformacije: $\epsilon_{yy}$								

V zgornji preglednici 34 je zapisano, pri kateri globini izračunane deformacije povzročajo škodo na najdbah. Višje ležeče najdbe bodo poškodovane zaradi deformacij enake vrste in smeri, nižje ležeče

najdbe pa ne, ker se deformacije manjšajo z večanjem globine. Kot mejno vrednost deformacije sem upoštevala tisto deformacijo, ki jo prenesejo vsi materiali brez poškodb. To pomeni, da se pri globinah, določenih v preglednici 34, zaradi izračunanih deformacij ne bodo poškodovale vse najdbe. Enako velja tudi za rezultate zapisane v naslednjih treh preglednicah (preglednice 35, 36, 37).

### 5.2.2 Uporaba nasipnega materiala z majhno prostorninsko težo

Določitev optimalne višine zaščitnega sloja na podlagi volumskih deformacij (slika 29, preglednica 17) je enostavna, saj sem že prej zapisala, da se deformacije večajo z višanjem nasipa. Kot je že omenjeno, 20 cm nasip povzroča največje deformacije v zgornjem delu, 40 cm nasip pa povzroča veliko deformacijo tik pod nasipom, nižje je potek deformacij podoben kot pod višjimi nasipi. Razlike med 80 in 140 cm nasipom so pri površju majhne, nato se z globino večajo, zato bom za optimalno višino določila 60 cm nasip. Če se najdbe nahajajo v spodnjih 30 cm obravnavanega prereza, ni potreben zaščitni sloj, saj so deformacije v tem primeru najmanjše.

Največje strižne deformacije (slika 30, preglednica 18) nastanejo pod obtežbo tovornjaka, ko nasipa ni in pod najnižjim nasipom. Ker se deformacije manjšajo z višanjem nasipa, je primerna izbira za zaščito pred strižnimi deformacijami nasip čim večje višine (140 cm), pod katerim so deformacije najmanjše.

Tudi horizontalne deformacije (sliki 31 in 32, preglednici 19 in 20), ki nastanejo pod nasipi višine 80, 100, 120 in 140 cm, so približno enako velike. Velja, da se deformacije manjšajo z višanjem nasipa, torej izberem zaščitni sloj višine 140 cm.

Vertikalne deformacije (slika 33, preglednica 21) so podobne volumskim. Največje deformacije nastanejo, ko nasipa ni, ter pod 20 in 40 cm visokim nasipom. Pri višjih nasipih sta si potek in velikost deformacij med seboj zelo podobna (nekoliko odstopajo deformacije pod 60 cm visokim nasipom v zgornjih 20 cm), velja pa, da deformacije naraščajo z višanjem nasipa. Torej je za varovaje arheoloških najdb v analiziranih primerih najprimernejši nasip višine 80 cm.

Če sedaj pogledam celotno sliko, je najprimernejša višina 80 cm. Pri vseh deformacijah namreč velja, da so tiste, ki nastanejo, ko ni zaščitnega sloja in pod najnižjima nasipoma, precej večje kot deformacije pod višjimi nasipi. Vidimo tudi, da so deformacije pod nasipi višjimi od 40 cm podobno velike.

Če primerjam deformacije pod obema vrstama nasipa, vidim, da pod lažjim nasipnim materialom nastajajo manjše deformacije. To je še posebej očitno pri volumskih, horizontalnih in vertikalnih

deformacijah, medtem, ko je pri strižnih deformacijah razlika manjša, še posebej pri višjih nasipih. Če izberem višino nasipa iz materiala z majhno prostorninsko težo na podlagi tega, da bodo deformacije manjše kot so pri navadnem nasipu, potem zadostuje višina 40 cm. Vendar je 80 cm tista višina, pri kateri so vse deformacije pri analizi najmanjše.

Pričakovala sem, da bo v drugem primeru potreben nižji nasip, vendar temu ni tako. To je zaradi tega, ker pri običajnem materialu višji nasipi povzročajo večje deformacije, zato težimo k temu, da najdemo optimalno višino pri čim nižjem nasipu. Ker pa pri materialih z majhno prostorninsko težo tega problema ni, vidimo, da višji nasip bolje zaščiti temeljna tla.

Preglednica 35: Višina zaščitnega sloja iz lažjega materiala in globina najdbe pri kateri so presežene mejne vrednosti deformacij v glinenih temeljnih tleh

Deformacije [%]	Višina zaščitnega nasipa [cm]							
	0	20	40	60	80	100	120	140
Globina najdb [cm]								
0 - 20	$\epsilon_{xx} > -1$	$\epsilon_{xx} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx} > -1$ $\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx} > -1$ $\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx} > -1$ $\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx} > -1$ $\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx} > -1$ $\epsilon_{yy} > -1$
20 - 40	$\epsilon_v > -1$		$\epsilon_{yy} > -1$				$\epsilon_{xx} < 0,1$	$\epsilon_{xx} < 0,1$
40 - 60	$\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{yy} > -1$			$\epsilon_{xx} < 0,1$	$\epsilon_{xx} < 0,1$		
60 - 80	$\gamma_{xy} < 0,75$			$\epsilon_{xx} < 0,1$				
80 - 100	$\epsilon_{xx} < 0,1$	$\epsilon_{xx} < 0,1$	$\epsilon_{xx} < 0,1$					
volumske deformacije: $\epsilon_v$ , strižne deformacije: $\gamma_{xy}$ , natezne/tlačne horizontalne deformacije: $\epsilon_{xx+/-}$ , vertikalne deformacije: $\epsilon_{yy}$								

### 5.3 Višina zaščitnega sloja na peščenih temeljnih tleh

#### 5.3.1 Uporaba običajnega nasipnega materiala

Izbira optimalne višine zaščitnega sloja na podlagi volumskih deformacij (slika 34, preglednica 22) je enostavna, saj sem že prej zapisala, da se deformacije večajo z višanjem nasipa, izjema je nasip višine 20 cm. V zgornjih 10 cm najmanjše deformacije nastanejo pod 60 cm nasipom, nižje pa pod 40 cm

nasipom. Zato izberem nasip višine 40 cm. Tudi gradnja nasipa ni problematična saj povzroča manjše deformacije.

Tako natezne kot tlačne strižne deformacije (slika 35, preglednica 23), so v primeru brez nasipa nekajkrat večje, kot če imamo zaščitni sloj. Razlike v deformacijah tik pod površino so večje kot v nižjih plasteh (pri nateznih so razlike med deformacijami pod zgrajenimi nasipi do 3,5%, v spodnjih 20 cm pa so razlike velike samo še 0,08%, pri tlačnih deformacijah pa so zgoraj razlike do 2,61%, spodaj pa 0,04%). Kot optimalno višino nasipa izberem 80 cm.

Glede na natezne horizontalne deformacije (slika 36, preglednica 24) bi bila najboljša izbira višina nasipa 80 cm. V zgornjih 20 cm so pod nekaterimi nasipi res manjše deformacije, vendar so razlike zelo majhne. Za zaščito pred tlačnimi deformacijami (slika 37, preglednica 25) pa izberem nasip višine 120 cm. Pod tako visokim nasipom so deformacije tik pod površjem, kjer nastanejo največje deformacije, najmanjše, v večjih globinah pa so razlike med deformacijami zelo majhne.

Kot je že napisano, se vertikalne deformacije večajo z višanjem nasipa, izjema je 20 cm nasip. Deformacije pod 40 in 60 cm visokim nasipom so si zelo podobne. Za varovanje pred vertikalnimi deformacijami (slika 38, preglednica 26) izberem višino 40 cm.

Sedaj moramo določiti višino nasipa, ki bo arheološke najdbe najboljše zaščitil pred vsemi deformacijami. V tem primeru bo to kar zahtevno, saj je za varovanje pred volumskimi in vertikalnimi deformacijami najboljši 40 cm nasip, za zaščito pred horizontalnimi deformacijami pa višji nasipi. Izbira višine nasipa bo kompromis, ki bo najboljše zaščitil najdbe pred vsemi deformacijam. Za izbrane podatke izberem nasip višine 60 cm.

Preglednica 36: Višina zaščitnega sloja iz običajnega materiala in globina najdbe pri kateri so presežene mejne vrednosti deformacij v peščenih temeljnih tleh

Deformacije [%o]	Višina zaščitnega nasipa [cm]							
	0	20	40	60	80	100	120	140
Globina najdb [cm]								
0 - 20		$\varepsilon_{xx-} > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\varepsilon_{xx-} > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\varepsilon_{xx-} > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\varepsilon_{xx-} > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\varepsilon_{xx-} > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\varepsilon_{xx-} > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$ $\varepsilon_{xx-} > -1$
20 - 40	$\varepsilon_{xx-} > -1$	$\gamma_{xy} < 0,75$	$\varepsilon_V > -1$ $\varepsilon_{yy} > -1$	$\varepsilon_V > -1$	$\varepsilon_{xx+} < 0,1$	$\varepsilon_{xx+} < 0,1$		
40 - 60	$\varepsilon_{xx+} < 0,1$	$\varepsilon_V > -1$ $\varepsilon_{yy} > -1$		$\varepsilon_{yy} > -1$ $\varepsilon_{xx+} < 0,1$	$\varepsilon_V > -1$ $\varepsilon_{yy} > -1$	$\varepsilon_V > -1$ $\varepsilon_{yy} > -1$		
60 - 80			$\varepsilon_{xx+} < 0,1$				$\varepsilon_V > -1$ $\varepsilon_{yy} > -1$	
80 - 100	$\varepsilon_V > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\varepsilon_{yy} > -1$ $\varepsilon_{xx+} < 0,1$	$\varepsilon_{xx+} < 0,1$					$\varepsilon_{xx+} < 0,1$	$\varepsilon_V > -1$ $\varepsilon_{yy} > -1$ $\varepsilon_{xx+} < 0,1$
volumske deformacije: $\varepsilon_V$ , strižne deformacije: $\gamma_{xy}$ , natezne/tlačne horizontalne deformacije: $\varepsilon_{xx+/-}$ , vertikalne deformacije: $\varepsilon_{yy}$								

### 5.3.2 Uporaba nasipnega materiala z majhno prostorninsko težo

Najboljšo zaščito pred volumskimi deformacijami (slika 39, preglednica 27), dosežemo z nasipom višine 60 cm. Pri nižjih nasipih so deformacije večje, pri višjih pa so podobno velike, tako da 60 cm izberemo na podlagi ekonomičnosti in racionalnosti porabe materiala.

Pred strižnimi deformacijami (slika 40, preglednica 28) temeljna tla najboljše zaščitimo z nasipom višine 140 cm. Pod nižjimi nasipi nastanejo v zgornjih 20 cm precej večje deformacije (razlika je tudi 2,16‰ in več), nižje pa so deformacije pod najvišjim nasipom sicer večje, vendar so razlike med deformacijami pod nižjimi nasipi zelo majhne.

Največje natezne horizontalne deformacije (slika 41, preglednica 29) nastanejo, ko temeljna tla niso zaščitena z nasipom, torej bo vsaka višina nasipa doprinesla k izboljšavi. Razlike med deformacijami, ki nastanejo pod različno visokimi nasipi, so zelo majhne. Izberem višino nasipa 40 cm. Pri tlačnih deformacijah (slika 42, preglednica 30) je situacija podobna, samo razlike v zgornjih 20 cm so večje. Na podlagi teh razlik določim višino nasipa 40 cm.

Največje vertikalne deformacije nastanejo, ko ni zgrajen zaščitni sloj. Z višanjem nasipa se deformacije večajo, izjema je 20 cm visok nasip. Izberemo 40 cm za višino zaščitnega sloja, saj v tem primeru nastanejo najmanjše deformacije.

Na podlagi zgoraj napisanega, vseh slik in preglednic določim 40 cm kot optimalno višino zaščitnega sloja iz materiala z majhno prostorninsko težo za obravnavane primere.

Ker sem pri glinenih temeljnih tleh določila višji nasip iz materiala z majhno prostorninsko težo, kot je nasip iz običajnega materiala, sem pričakovala podoben rezultat tudi pri peščenih temeljnih tleh. Vendar se je izkazalo, da mora biti nasip iz navadnega materiala višji kot nasip iz lažjega materiala. Pod lažjim nasipom so torej nastale manjše deformacije, zato je potreben tudi nižji nasip za varovanje arheoloških najdb.

Preglednica 37: Višina zaščitnega sloja iz lažjega materiala in globina najdbe pri kateri so presežene mejne vrednosti deformacij v peščenih temeljnih tleh

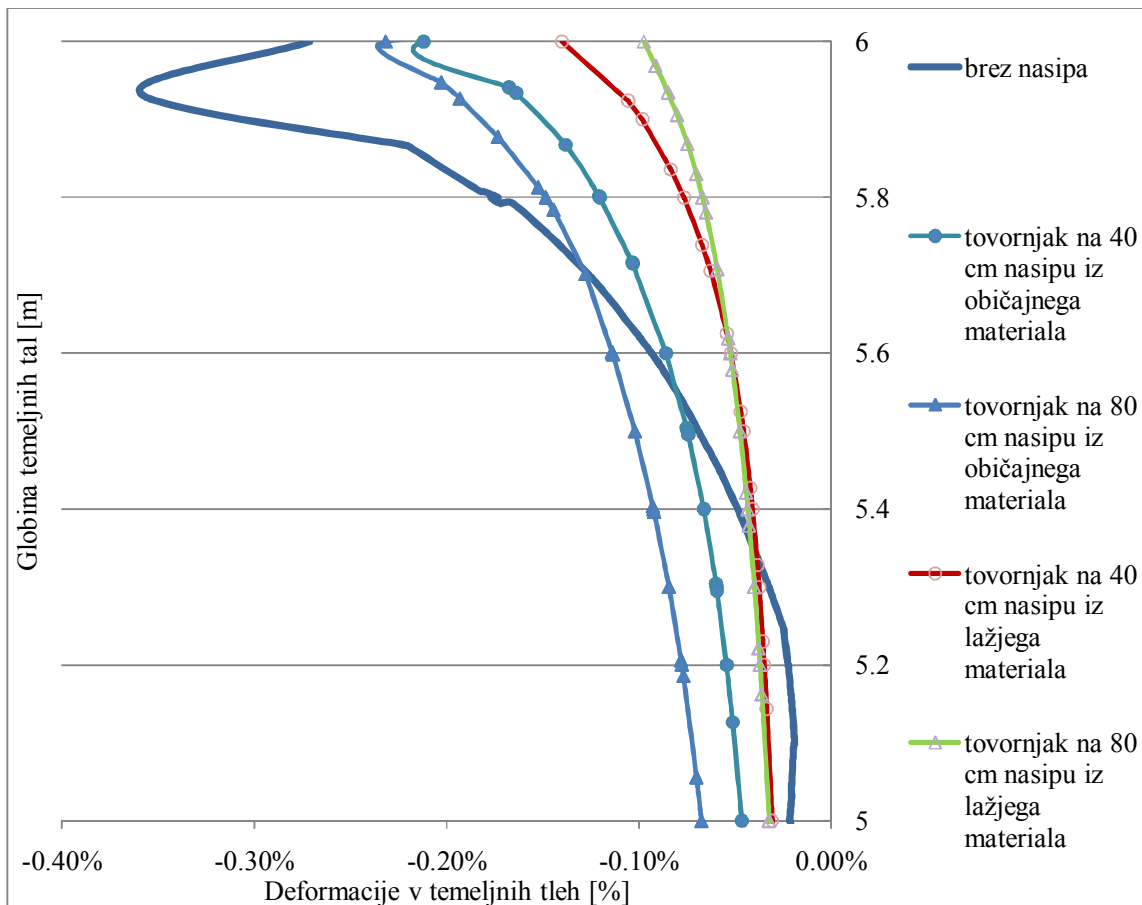
Deformacije [%]	Višina zaščitnega nasipa [cm]								
	0	20	40	60	80	100	120	140	
Globina najdb [cm]									
0 - 20		$\epsilon_{xx-} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx-} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx-} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx-} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx-} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx-} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx-} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{xx-} > -1$
20 - 40	$\epsilon_{xx-} > -1$	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$		$\epsilon_{xx+} < 0,1$	$\epsilon_{xx+} < 0,1$	$\epsilon_{xx+} < 0,1$	$\epsilon_{xx+} < 0,1$	$\epsilon_{xx+} < 0,1$	
40 - 60		$\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_{yy} > -1$ $\epsilon_{xx+} < 0,1$	$\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_{yy} > -1$	$\epsilon_{yy} > -1$			
60 - 80		$\epsilon_{xx+} < 0,1$					$\epsilon_{yy} > -1$		
80 - 100	$\epsilon_v > -1$ $\gamma_{xy} < 0,75$ $\epsilon_{yy} > -1$ $\epsilon_{xx+} < 0,1$							$\epsilon_{yy} > -1$	
volumske deformacije: $\epsilon_v$ , strižne deformacije: $\gamma_{xy}$ , natezne/tlačne horizontalne deformacije: $\epsilon_{xx+/-}$ , vertikalne deformacije: $\epsilon_{yy}$									

#### 5.4 Primerjava deformacij pod optimalnim nasipom iz običajnega materiala in iz lažjega materiala

Na spodnjih slikah so prikazane primerjave deformacij, ki nastanejo v temeljnih tleh pod izbranimi optimalnimi višinami zaščitnega sloja, če uporabimo običajen nasipni material ali pa material z majhno prostorninsko težo.

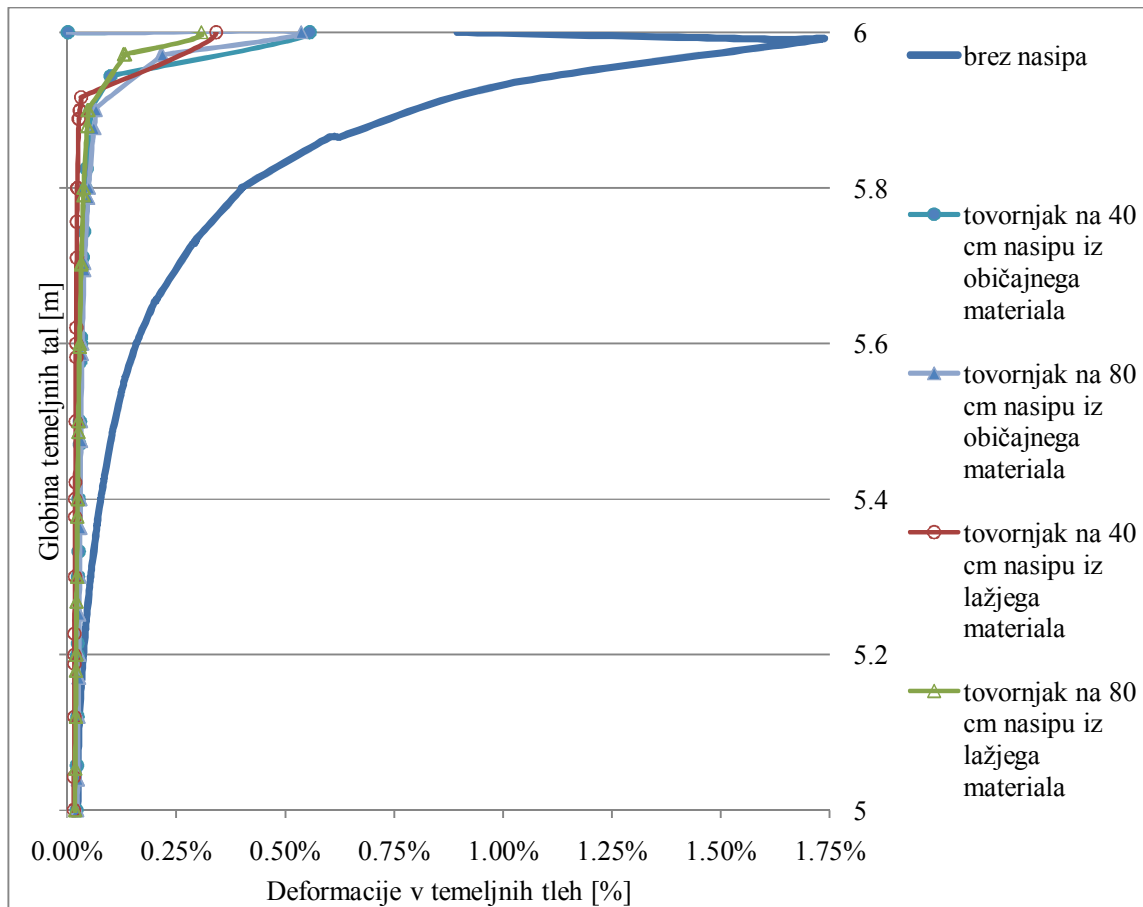


#### 5.4.1 Primerjava deformacij v glinenih temeljnih tleh



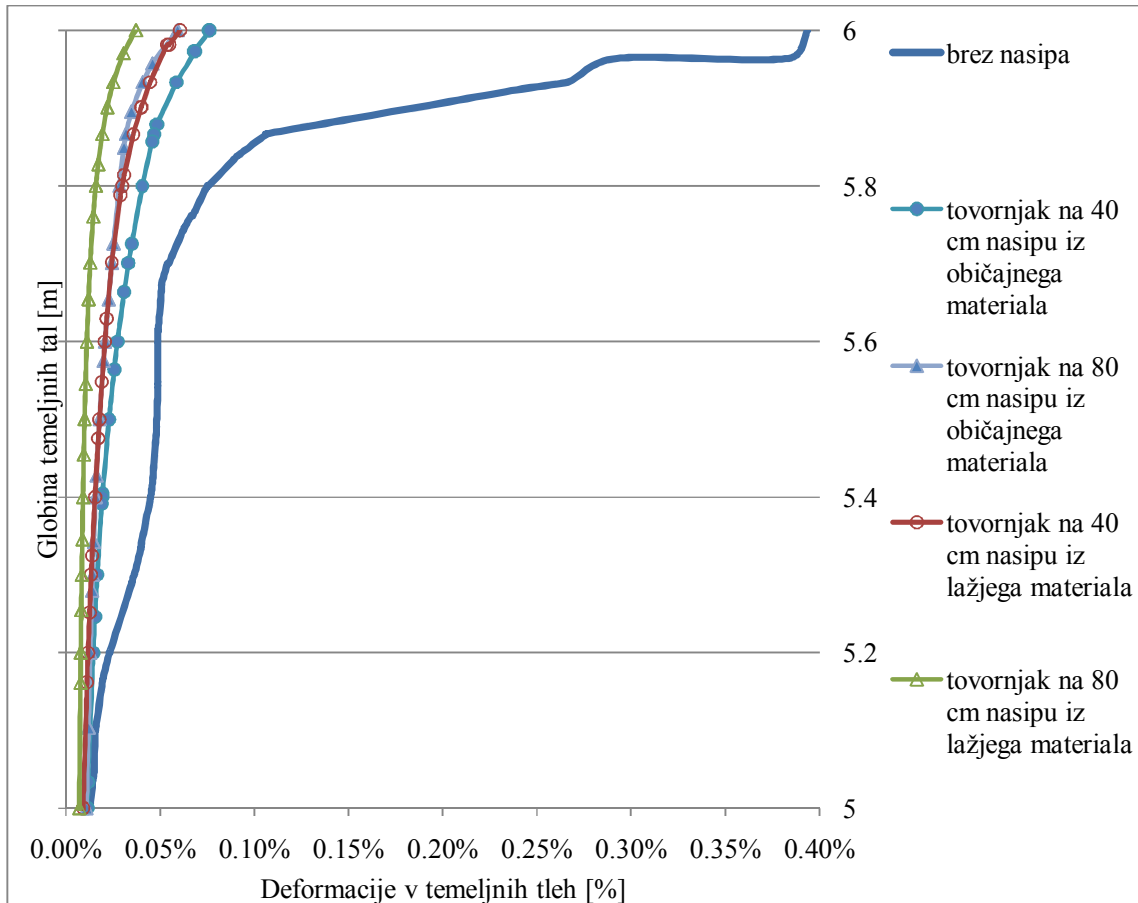
Slika 46: Primerjava volumskih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

Na zgornji sliki vidimo, da so razlike med volumskimi deformacijami, ki nastanejo pod različno visokima nasipoma iz običajnega materiala, približno enake po celotnem obravnavanem prerezu, pod nasipom iz lažjega materiala pa se razlike manjšajo in je potek deformacij v spodnji polovici (0,5 m) skoraj enak. Pod nasipom iz lažjega materiala nastanejo manjše deformacije.



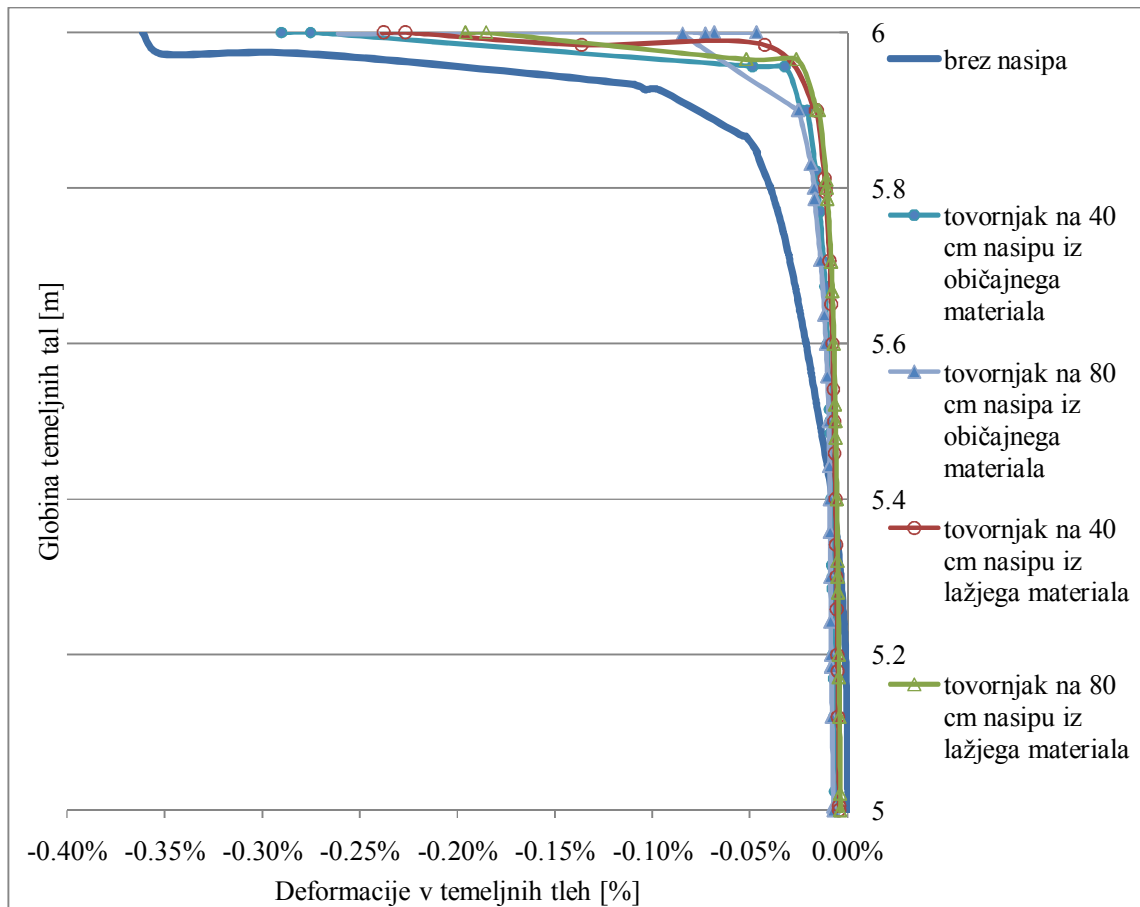
Slika 47: Primerjava strižnih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

Strižne deformacije, ki nastanejo pod običajnim nasipnim materialom, so si podobne. Tik pod nasipom iz lažjega materiala nastanejo manjše deformacije kot pod običajnim nasipom, globlje pa je potek strižnih deformacij skoraj enak.



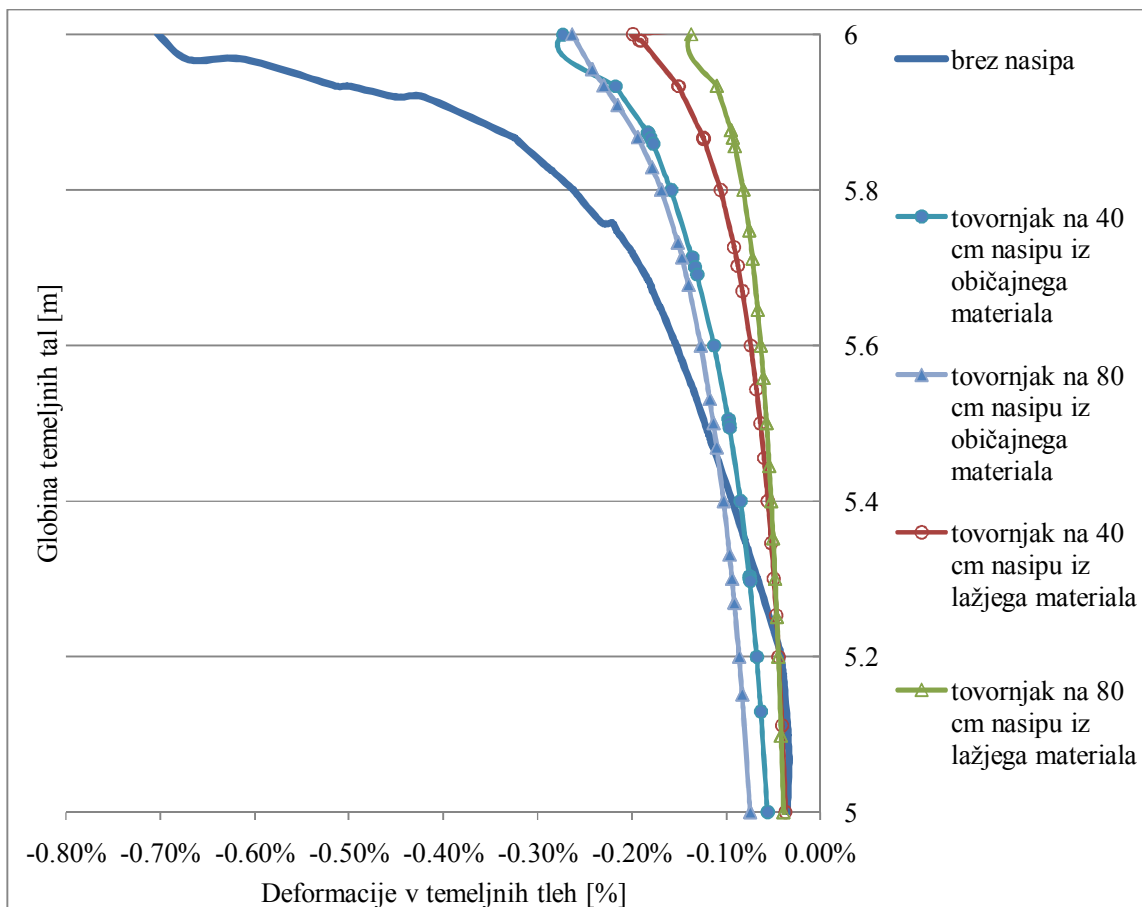
Slika 48: Primerjava nateznih horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

Pri nateznih horizontalnih deformacijah je razlika med različnimi višinami nasipov enako velika tako pri običajnem nasipnem materialu, kot tudi pri lažjem nasipnem materialu. Deformacije pod nižjim nasipom (40 cm) iz težjega materiala sovpadajo z deformacijami, ki nastanejo pod še enkrat tako visokem (80 cm) nasipu iz lažjega materiala.



Slika 49: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

Potek tlačnih horizontalnih deformacij je ne glede na izbiro nasipnega materiala podoben. Velike deformacije tik pod nasipom se zaradi izbire lažjega nasipnega materiala ne zmanjšajo.

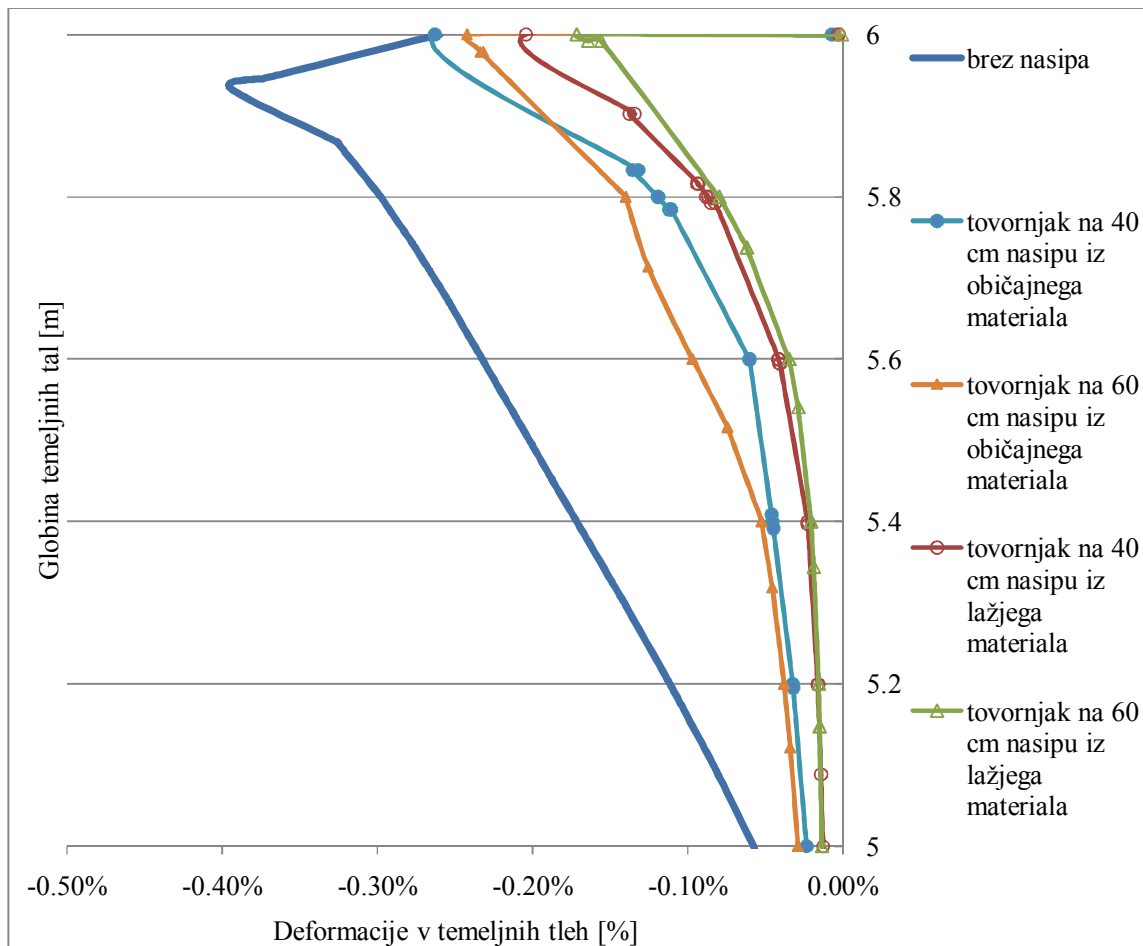


Slika 50: Primerjava vertikalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

Če je nasip iz običajnega materiala, so deformacije v prerezu pod višjim (80 cm) nasipom večje od tistih pod nižjim (40 cm) nasipom. Če pa je nasip iz lažjega materiala, so deformacije pod 80 cm nasipom manjše od tistih pod 40 cm nasipom. Deformacije se z uporabo lažjega nasipnega materiala zmanjšajo, razlika med tistimi, ki nastanejo pod nasipom iz običajnega materiala in iz lažjega materiala, je približno enaka pri obeh višinah nasipa.

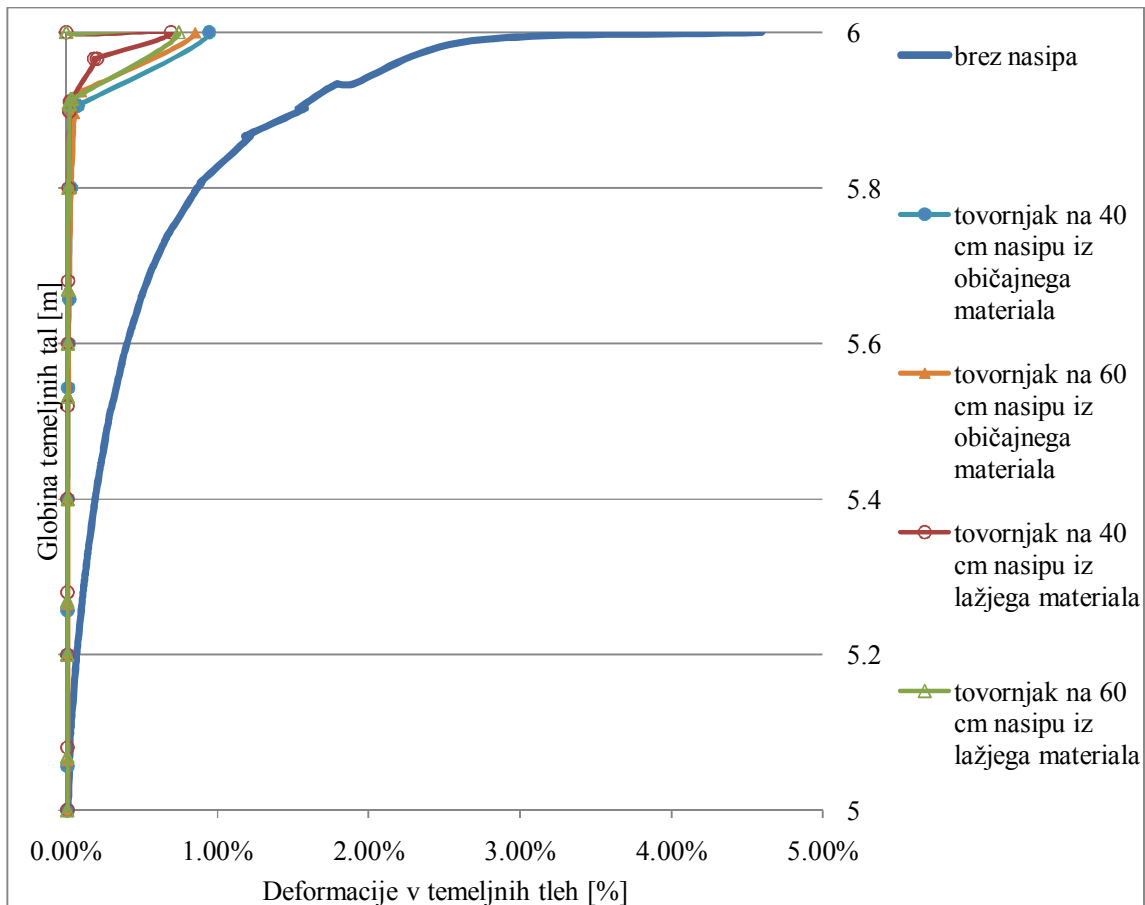
Z uporabo lažjega nasipnega materiala se volumske, natezne horizontalne in vertikalne deformacije zmanjšajo po celotnem prerezu, ostale deformacije pa se tik pod površjem zmanjšajo, nižje pa je potek podoben kot pod nasipom iz običajnega materiala.

### 5.4.2 Primerjava deformacij v peščenih temeljnih tleh



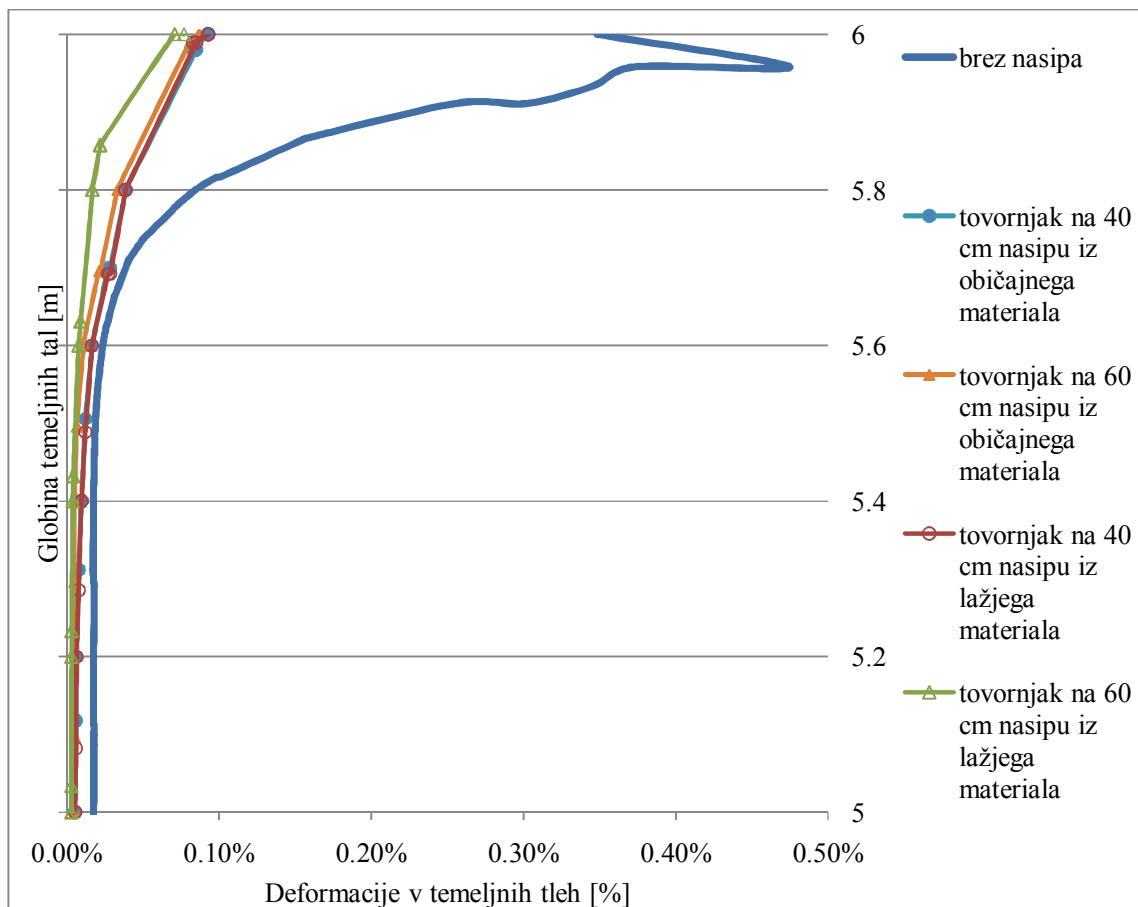
Slika 51: Primerjava volumskih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

Volumske deformacije, ki nastanejo v temeljnih tleh pod 40 cm nasipom iz običajnega materiala so manjše kot tiste, ki nastanejo pod 60 cm nasipom. Pod nasipom iz lažjega materiala pa so volumske deformacije pod višjim (60 cm) nasipom manjše kot tiste pod nižjim (40 cm) nasipom. Če nasip zgradimo iz lažjega nasipnega materiala, se deformacije zmanjšajo glede na uporabo navadnega nasipnega materiala.



Slika 52: Primerjava strižnih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

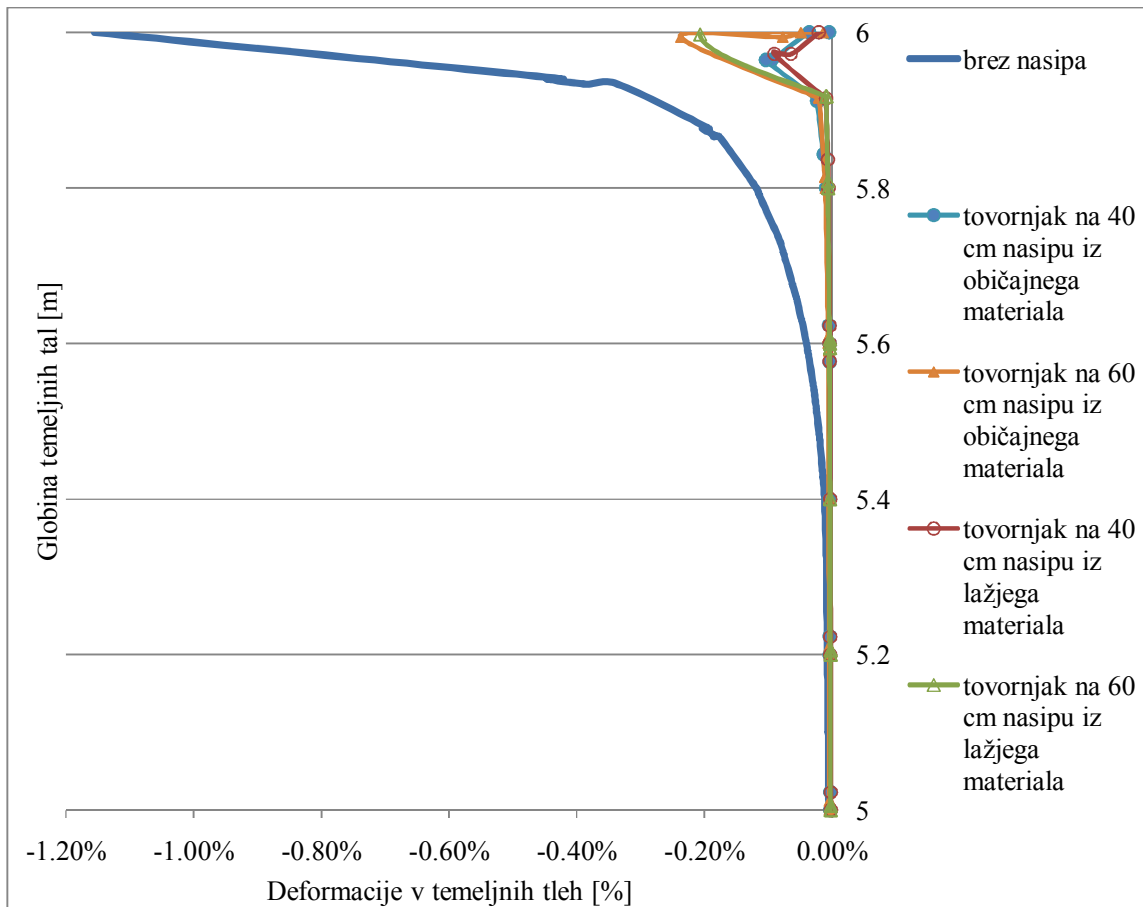
Strižne deformacije se zmanjšajo, če nasip zgradimo iz lažjega nasipnega materiala. Vendar se zmanjšajo zelo malo in samo v delu, ki je tik pod površino temeljnih tal. V večjih globinah je potek deformacij ne glede na vrsto nasipnega materiala podoben.



Slika 53: Primerjava nateznih horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

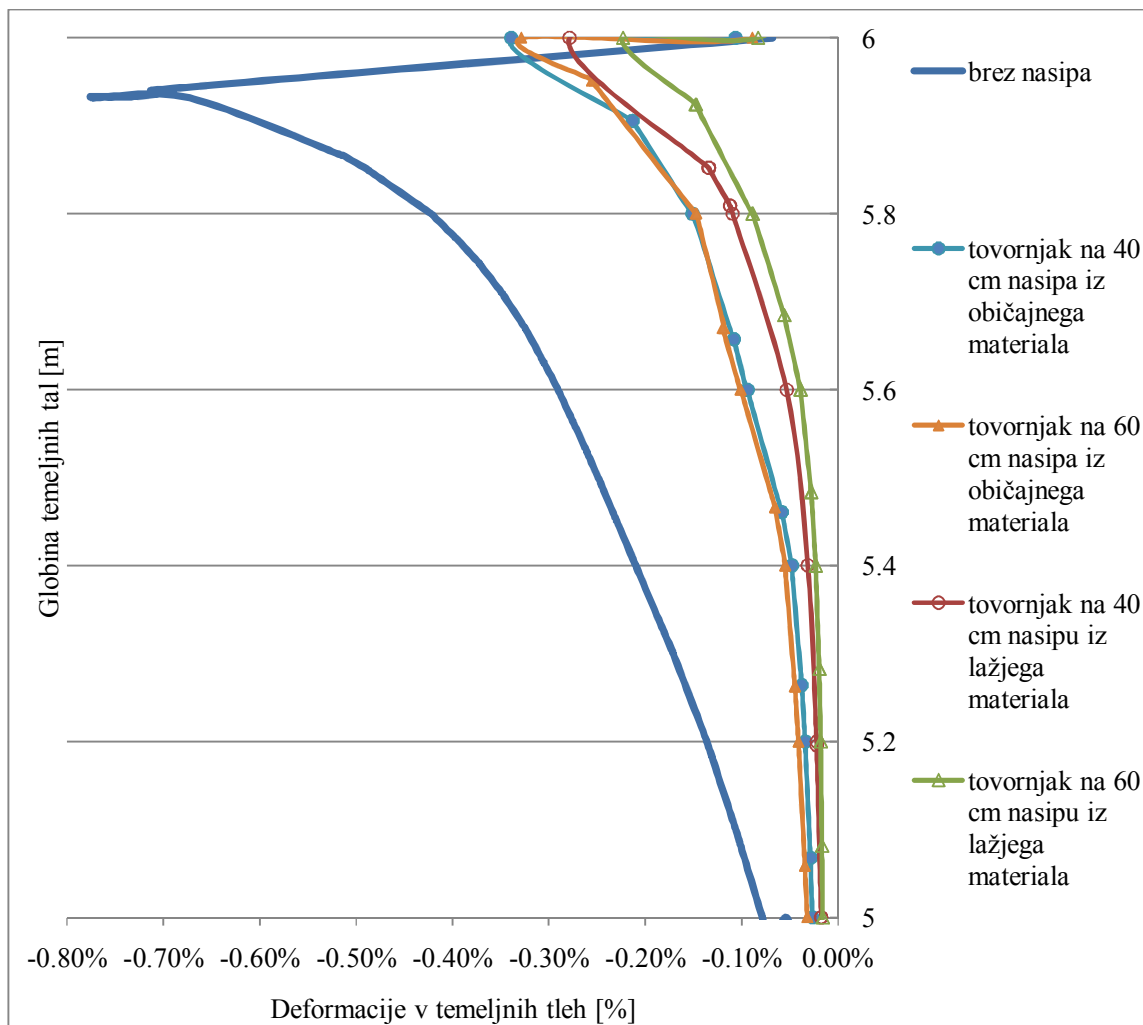
Natezne horizontalne deformacije so pod nasipoma višine 40 cm iz obeh materialov podobno velike. Razlika med deformacijami nastane pri višjem (60 cm) nasipu, kjer se deformacije zmanjšajo, če uporabimo lažji nasipni material. Razlike med deformacijami pod zaščitnimi nasipi so zelo majhne, so pa v zgornjih 30 cm opazno manjše, kot če zaščitni nasip ni zgrajen.





Slika 54: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

Pri tlačnih horizontalnih deformacijah izbira nasipnega materiala ne igra pomembne vloge, saj vidimo, da so si deformacije zelo podobne. Tiste deformacije, ki nastanejo pod višjim (60 cm) nasipom, so večje od tistih pod nižjim (40 cm) nasipom, pri tem pa material, iz katerega je nasip, ni pomemben.



Slika 55: Primerjava vertikalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh pod optimalnim nasipom iz običajnega in lažjega materiala

Vertikalne deformacije, ki nastanejo pod nasipom iz lažjega nasipnega materiala, so manjše kot tiste, ki nastanejo pod nasipom iz običajnega materiala. Deformacije v temeljnih tleh pod navadnim nasipnim materialom so pod višjim nasipom večje kot pod nižjim, pri uporabi lažjega nasipnega materiala pa je ravno obratno.

Podobno kot velja za glinena temeljna tla, lahko zapišemo tudi za peščena. Vertikalne in volumnske deformacije se zaradi lažjega nasipnega materiala zmanjšajo po celotnem prerezu, ostale deformacije pa se zmanjšajo predvsem tik pod nasipom, nižje je potek podoben tistim deformacijam, ki nastanejo pod nasipom iz običajnega materiala.

## 5.5 Uporaba geosintetika pod izbranimi optimalnimi višinami zaščitnega sloja

Z uporabo geosintetika želimo deformacije pod optimalno visokimi zaščitnimi sloji še dodatno zmanjšati. Preverjali bomo vpliv dveh geosintetikov z različno togostjo. Prvi geosintetik ima nosilnost 100 kN/m pri deformaciji 10%, drugi ima desetkrat večjo nosilnostjo pri enaki deformaciji (togost prvega je 1000 kN/m, drugega pa 10000 kN/m).

Preglednica 38: Materialne karakteristike geosintetika 1

Materialni model		Elastičen
Togost		
EA	kN/m	1000

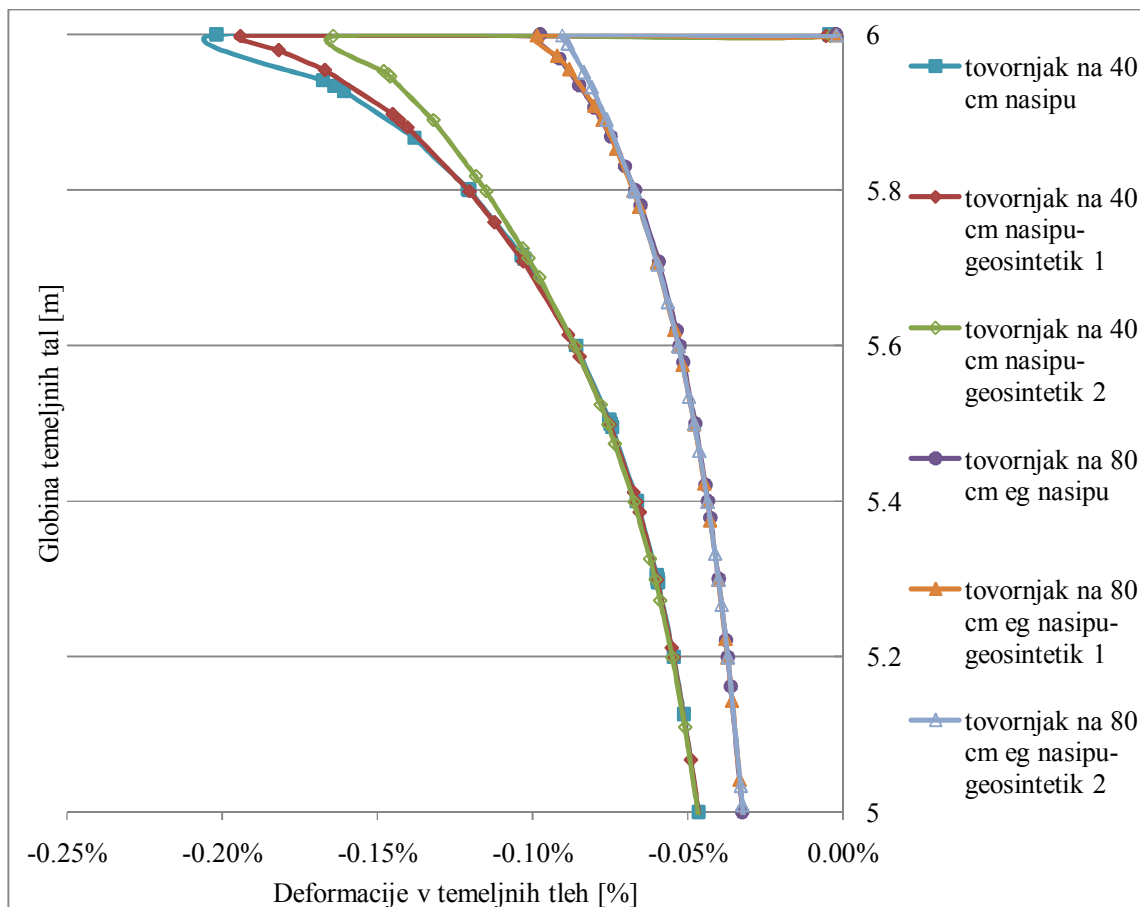
Preglednica 39: Materialne karakteristike geosintetika 2

Materialni model		Elastičen
Togost		
EA	kN/m	10000

Na naslednjih slikah so prikazane deformacije, ki nastanejo brez oziroma z uporabo geosintetika. Geosintetik smo položili na temeljna tla pred pod prvo plast nasipa. Preverjali smo njegov vpliv pri izbrani višini nasipa iz običajnega materiala, pa tudi pod nasipom iz materiala z manjšo prostorninsko težo.

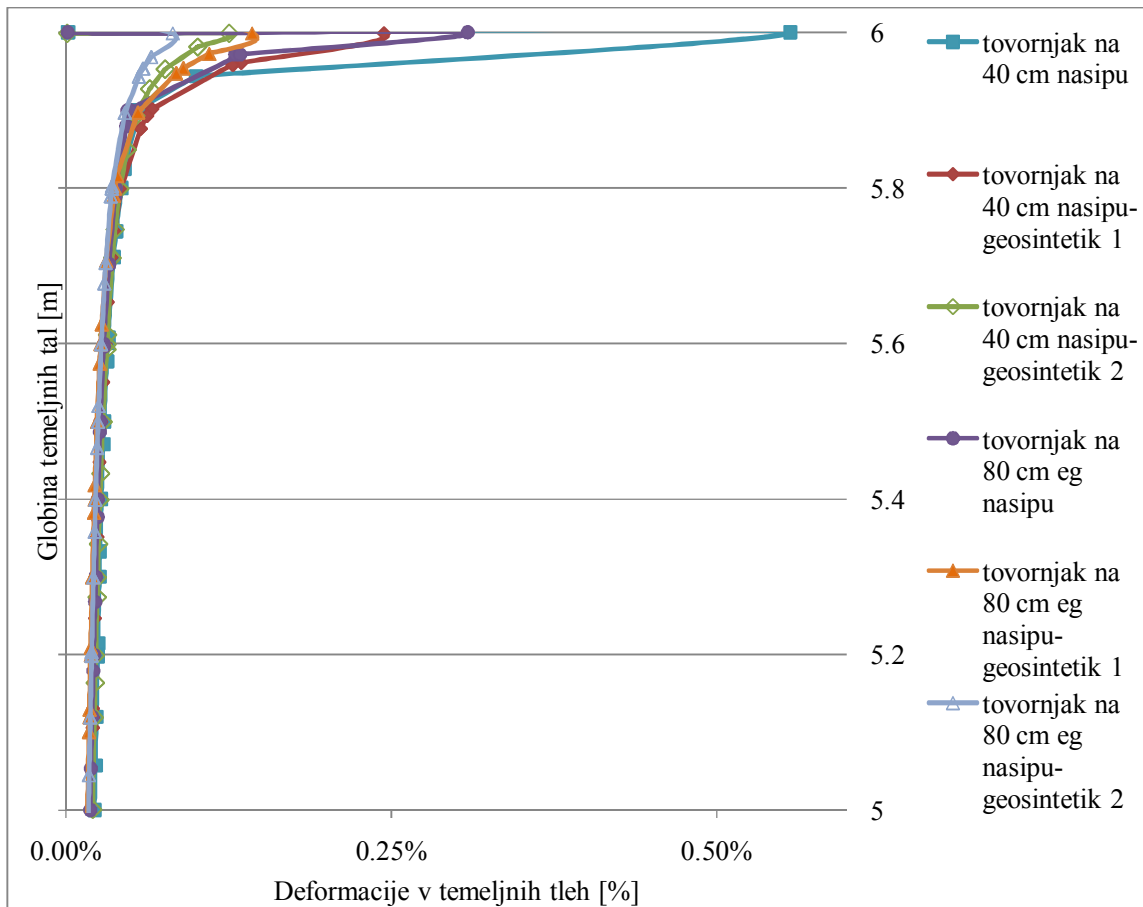
### 5.5.1 Uporaba geosintetika v glinenih temeljnih tleh

Geosintetiki so nameščeni pod optimalnimi višinami zaščitnih nasipov, ki so določene za analizirane primere. To za glinena tla pomeni 40 cm visok nasip iz običajnega materiala in 80 cm visok nasip iz materiala z manjšo prostorninsko težo.



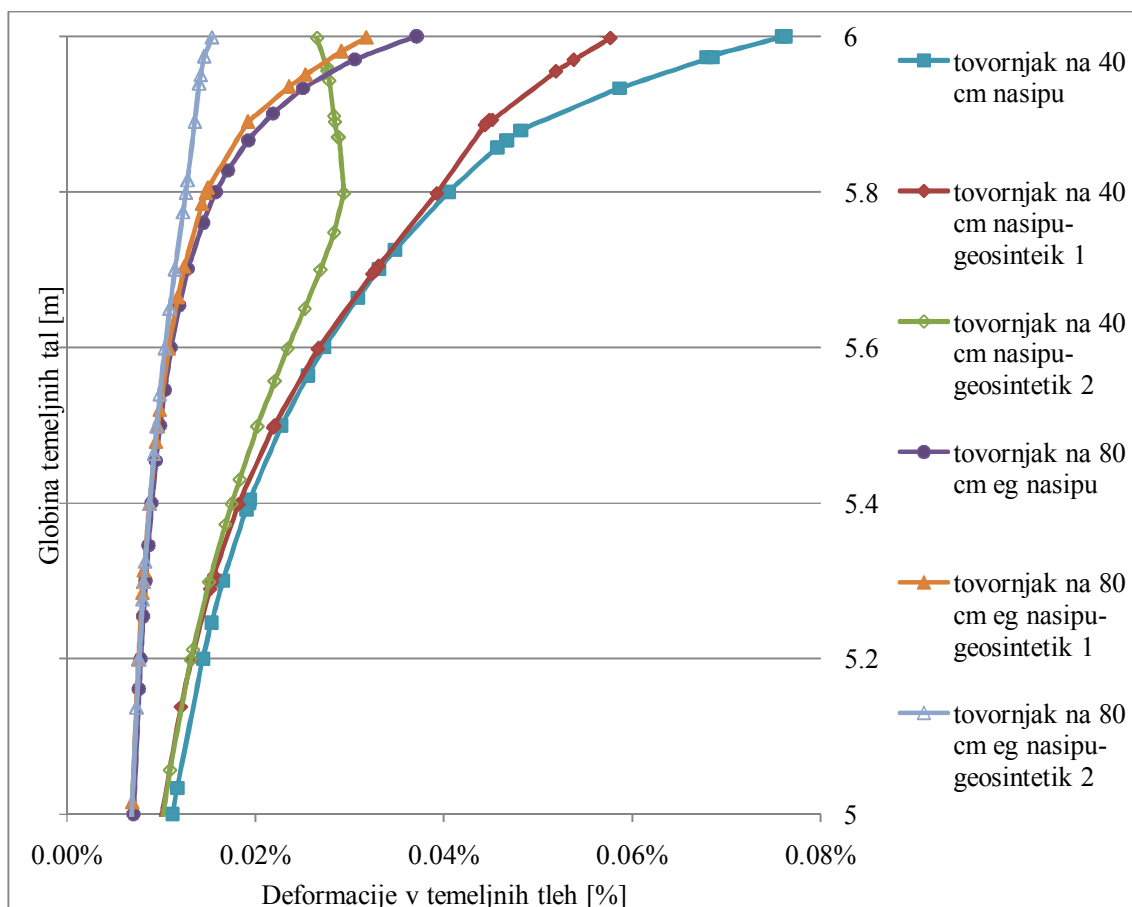
Slika 56: Primerjava volumskih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Volumske deformacije v glinenih tleh se po uporabi geosintetika pod nasipom iz navadnega materiala zmanjšajo v zgornjih 40 cm, pod nasipom iz lažjega materiala pa se zmanjšajo v zgornjih 20 cm, če je v uporabi geosintetik 2, če pa uporabimo geosintetik 1, se deformacije ne zmanjšajo. Najbolj se deformacije zmanjšajo tik pod nasipom, kjer so tudi največje. Pod navadnim nasipom je razlika pri uporabi geosintetika večja kot pod nasipom iz lažjega materiala. Deformacije se bolj učinkovito zmanjšajo pri geosintetiku z večjo togostjo.



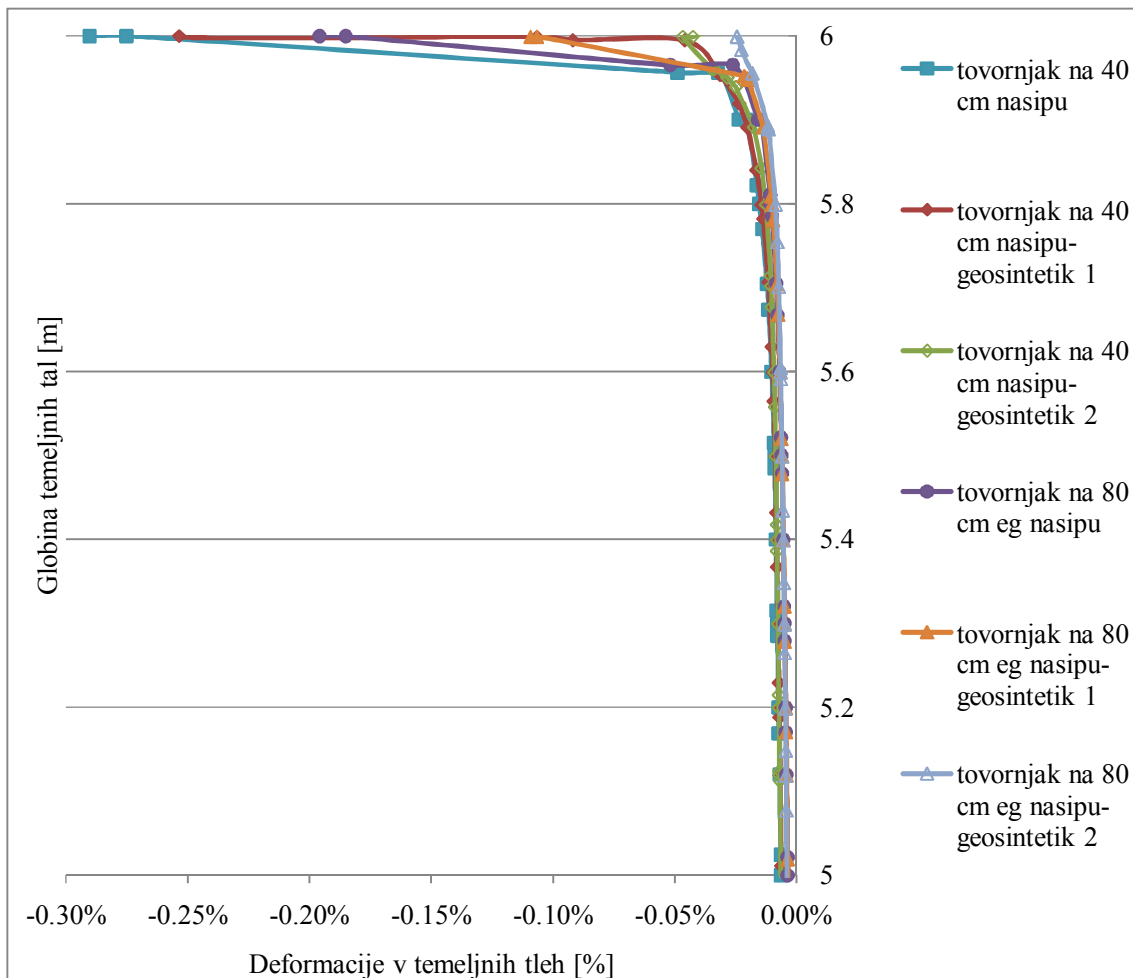
Slika 57: Primerjava strižnih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Potek strižnih deformacij pod različnima nasipoma lahko opazujemo v zgornjih 20 cm, potem so razlike med deformacijami zelo majhne. Geosintetika pod obema nasipoma za polovico zmanjšata deformacije. Tako se največje deformacije tik pod nasipom prepolovijo. Uporaba geosintetika bolj vpliva na zmanjšanje deformacij pod običajno težkim nasipom.



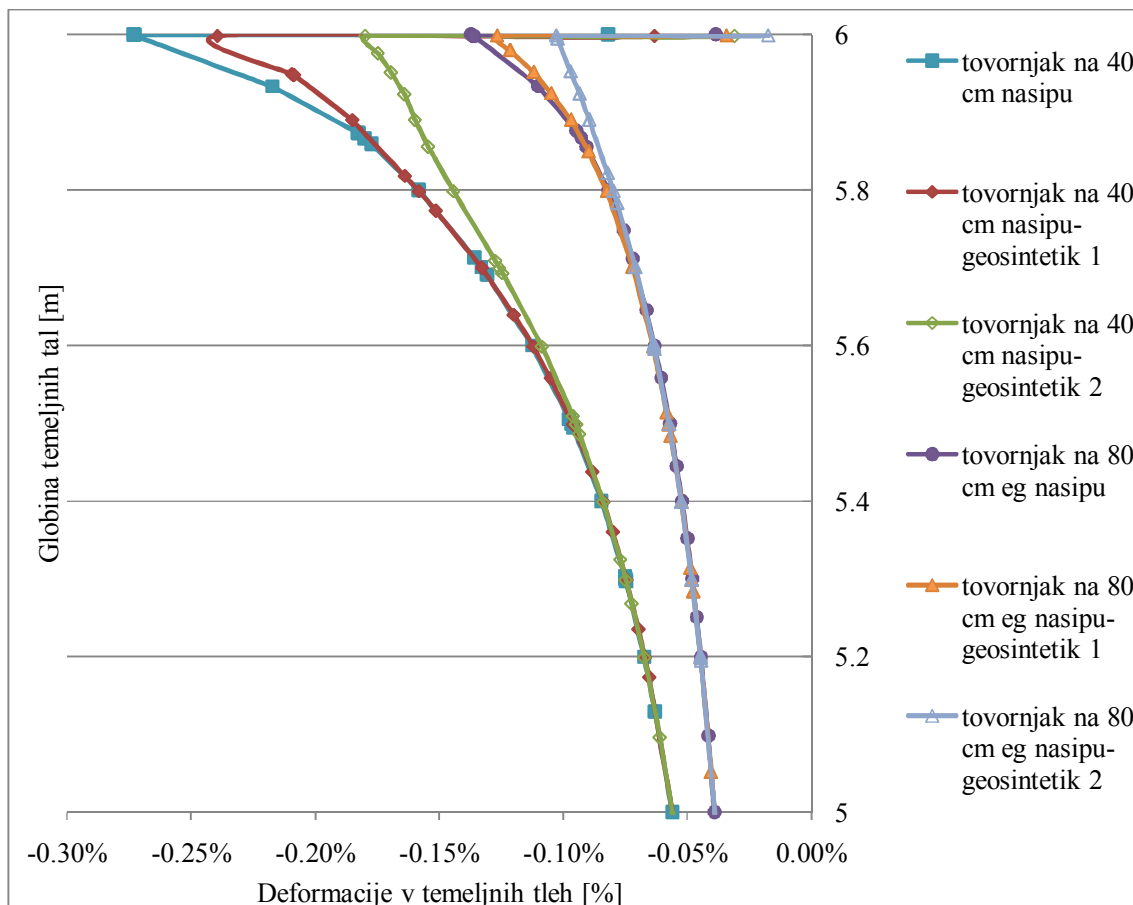
Slika 58: Primerjava nateznih horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Natezne horizontalne deformacije pod lažjim nasipom so manjše od tistih pod težjim po celotni globini. Vpliv geosintetika pod navadnim nasipom je možno zaznati po celotni globini. Geosintetik 2 v zgornji polovici bolj uspešno zmanjša deformacije, v spodnji polovici je njegov učinek podoben geosintetiku z manjšo nosilnostjo. Tudi pod nasipom iz lažjega materiala geosintetik 2 bolj učinkovito zmanjša deformacije. Vendar se deformacije zaradi geosintetikov zmanjšajo samo v zgornjih 30 cm, nižje pa opazne razlike ni več.



Slika 59: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Vidimo, da so deformacije tik pod nasipom po namestitvi geosinteikov, še posebej geosintetika 2, precej manjše kot sicer. Vendar pa se horizontalne deformacije v zgornjih 10 cm zmanjšajo iz 0,3% na približno 0,01% tudi brez geosinteikov.



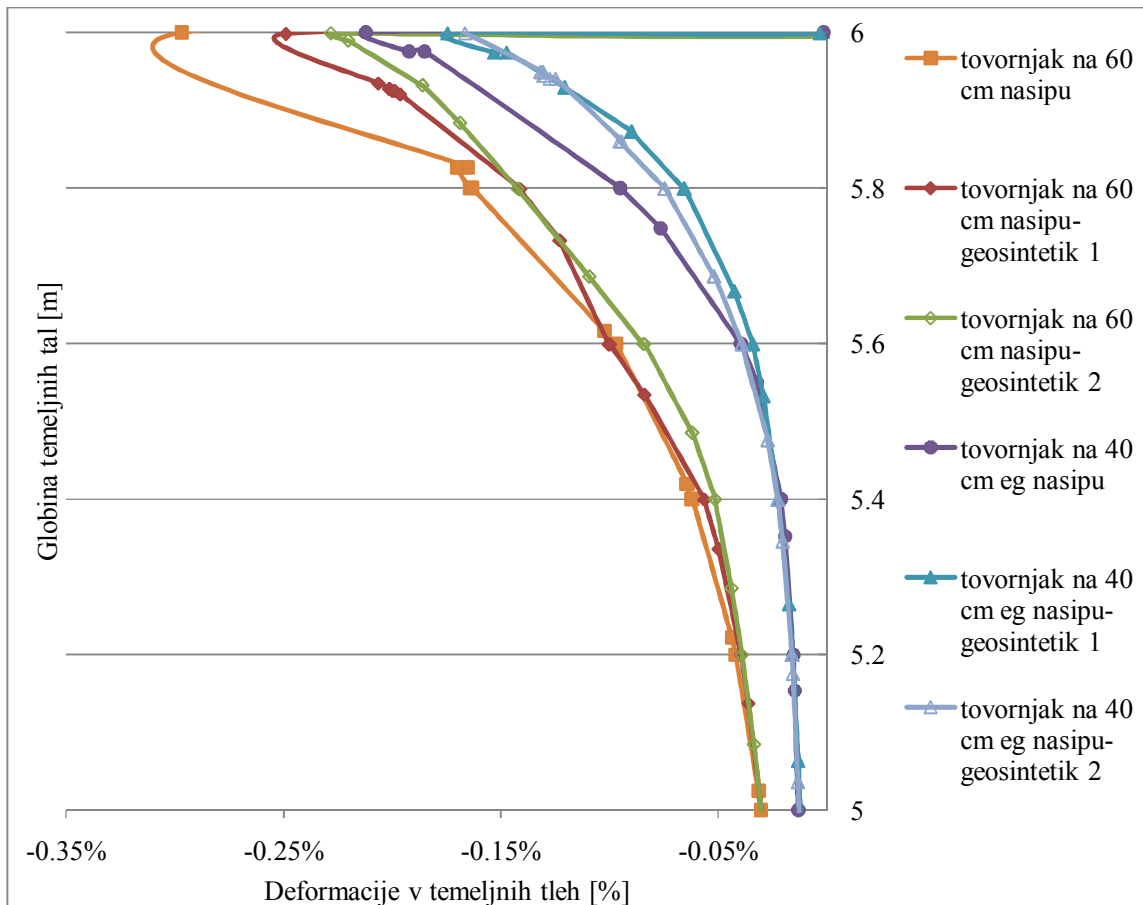
Slika 60: Primerjava vertikalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Vertikalne deformacije, ki nastanejo pod 40 cm nasipom iz navadnega materiala, so večje kot deformacije pod višjim nasipom iz lažjega materiala. Tudi zmanjšanje deformacij po uporabi geosintetika je večje pod prvim nasipom. Deformacije se pod prvim nasipom zmanjšajo v zgornjih 40 cm, pod drugim nasipom pa v zgornjih 20 cm. Bolj učinkovito deluje geosintetik z večjo nosilnostjo. V spodnji polovici obravnavanega prereza ni opaziti učinka delovanja geosintetikov, ker so deformacije enako velike pred in po njegovi uporabi.

### 5.5.2 Uporaba geosintetika v peščenih temeljnih tleh

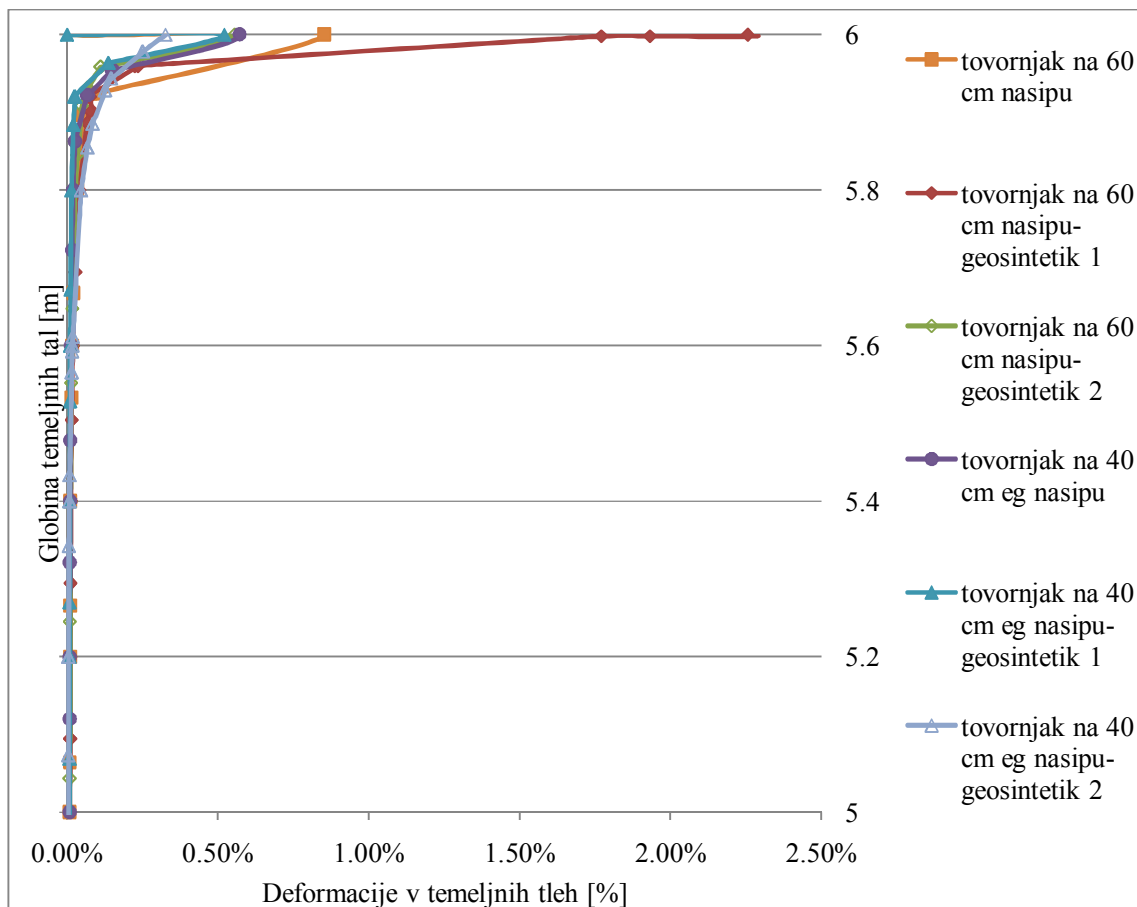
Geosintetiki na peščenih tleh so nameščeni pod 60 cm visokim nasipom iz navadnega materiala in pod 40 cm visokim nasipom iz ekspanzirane gline.





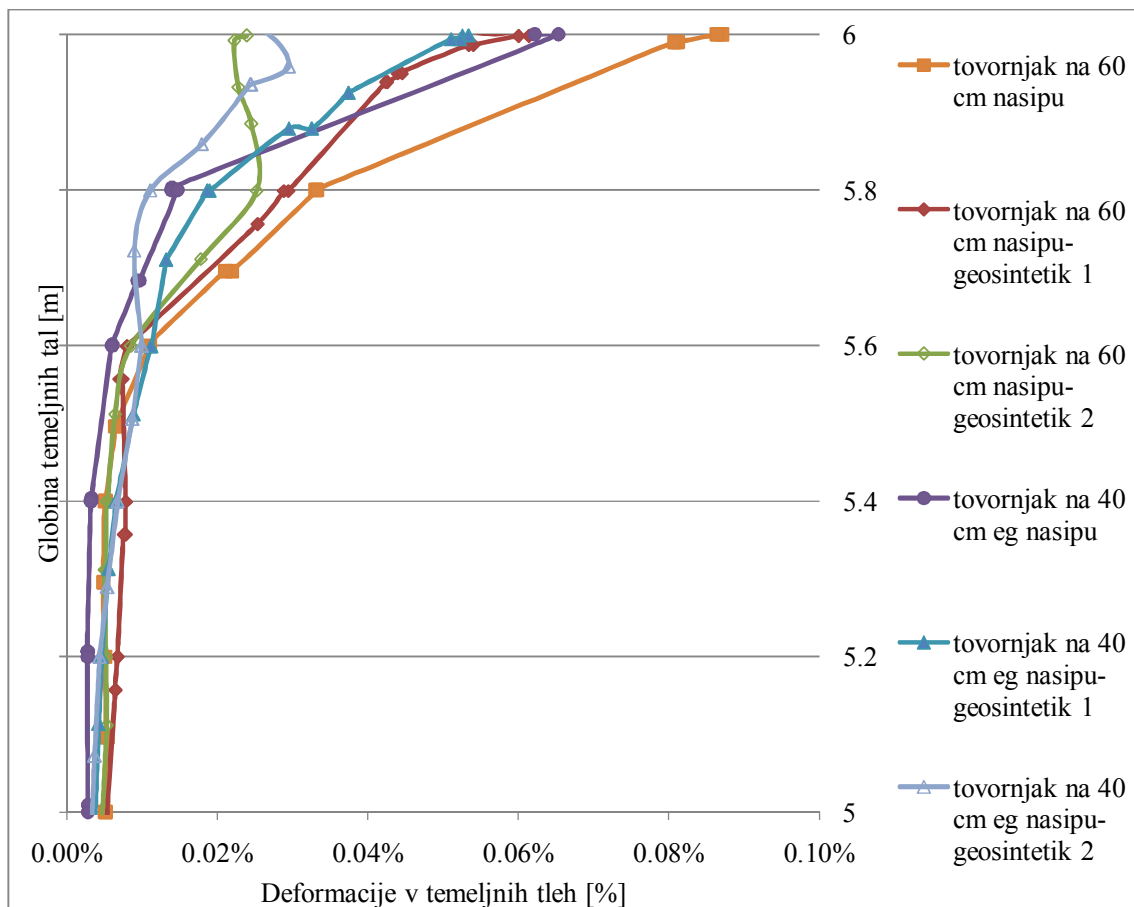
Slika 61: Primerjava volumskih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Volumske deformacije v peščenih temeljnih tleh so pod nasipom iz težjega materiala večje, kot tiste pod nasipom iz lažjega materiala. Pod nasipom iz navadnega materiala se deformacije zaradi geosintetika 1 zmanjšajo v zgornjih 40 cm, zaradi geosintetika 2 pa v zgornjih 60 cm. V spodnjem delu ni vpliva geosintetikov na potek deformacij. Med zmanjšanjem deformacij zaradi geosintetikov 1 in 2 ni tako velike razlike kot je bila pri glinenih temeljnih tleh. Geosintetika pod nasipom iz ekspandirane gline zmanjšata deformacije v zgornjih 40 cm, nižje pa nimata več vpliva. Deformacije so po uporabi geosintetikov približno enake.



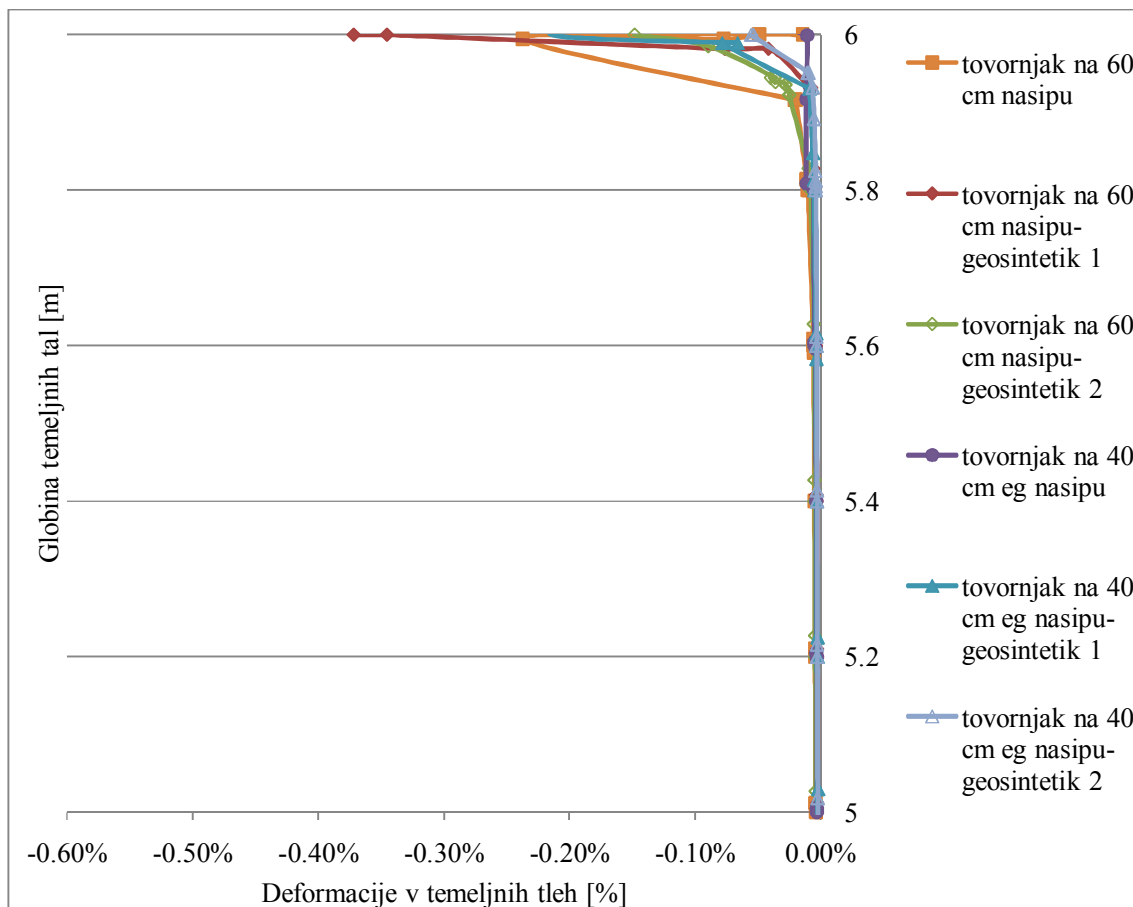
Slika 62: Primerjava strižnih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Strižne deformacije so tik pod nasipom iz navadnega materiala velike 8,5‰ po uporabi geosintetika 1 2,25%, šele geosintetik 2 jih zmanjša na 0,56‰. Deformacije pod nasipom iz lažjega materiala so tik pod nasipom velike 5,7‰. Z uporabo geosintetika 1 so deformacije skoraj enako velike, 5,2‰, zmanjšajo se šele z uporabo geosintetika z večjo nosilnostjo, 3,3‰. Potek deformacij lahko opazujemo v zgornjih 15 cm, nižje so razlike med deformacijami zelo majhne.



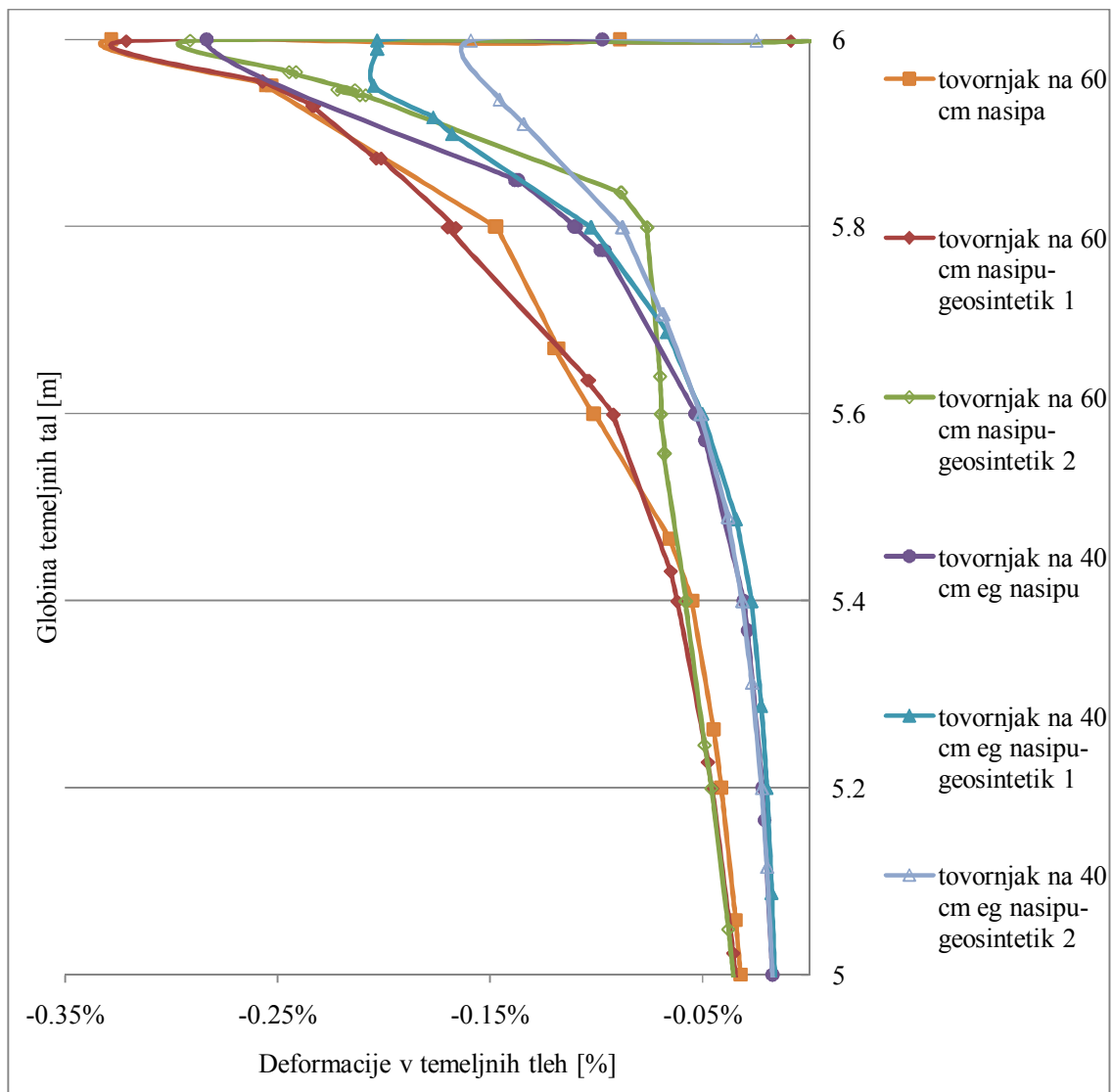
Slika 63: Primerjava nateznih horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Natezne horizontalne deformacije so največje v zgornjih 20 cm potem so razlike med njimi majhne in njihov potek je medseboj podoben. Tik pod nasipom iz navadnega materiala nastane največja deformacija, ki pa jo z uporabo geosintetikov zmanjšamo. Geosintetika deformacije pod navadnim nasipom v zgornjih 20 cm zmanjšata, nato pa nekoliko povečata v naslednjih 20 cm. Deformacije pod nasipom iz lažjega materiala so precej manjše, z geosintetikoma pa jih še dodatno zmanjšamo.



Slika 64: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Tlačne horizontalne deformacije so pod obema vrstama nasipa podobno velike. Uporaba geosintetikov deformacije zmanjša. Pri uporabi geosintetikov pod nasipom iz lažjega materiala nastanejo najmanjše deformacije. Geosintetik z večjo togostjo bolj učinkovito zmanjša deformacije.



Slika 65: Primerjava vertikalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh (optimalna višina nasipa z/brez geosintetika)

Vertikalne deformacije so pod nasipom iz lažjega materiala manjše kot tiste pod nasipom iz navadnega materiala. Z uporabo geosintetika 1 in 2 se dodatno zmanjšajo. Vendar je vpliv geosintetika samo v zgornjih 30 cm, potem so deformacije z oziroma brez uporabe geosintetikov približno enake. Tudi deformacije pod navadnim nasipom se zmanjšajo, če uporabimo geosintetik. Vpliv geosintetikov je možno zaznati v zgornjih 60 cm.

### **5.6 Primerjava deformacij pod izbranimi višinami zaščitnega sloja z uporabo geosintetika**

Sedaj, ko smo izračunali vpliv geosintetikov pod izbranimi višinami zaščitnega sloja, lahko prikažemo najmanjše deformacije, ki nastanejo, ko arheološko najdišče varujemo s prekrivanjem. Pri glinenih in peščenih temeljnih tleh so deformacije pod obema vrstama nasipa najmanjše po uporabi geosintetika z večjo togostjo. V preglednicah 37 in 38 so prikazane deformacije, ki nastanejo pod izbranimi optimalnimi višinami. To je 40 cm za navaden nasipni material in 80 cm za nasip zgrajen iz ekspanzirane gline na glinenih temeljnih tleh in 60 cm za nasip iz običajnega materiala in 40 cm za nasip iz ekspandirane gline na peščenih temeljnih tleh.

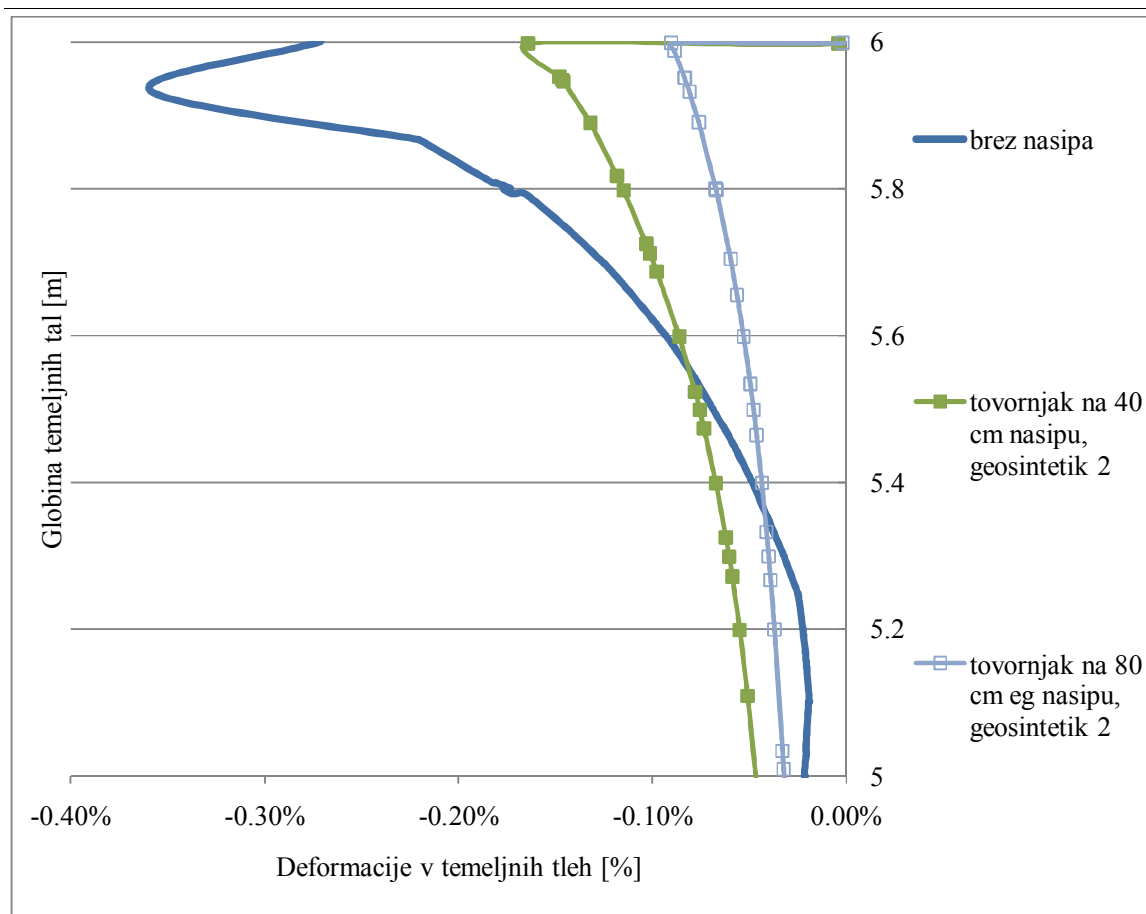
Preglednica 40: Primerjava deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2

Globina [m]	$\epsilon_v$			$\gamma_{xy}$			$\epsilon_{xx+}$			$\epsilon_{xx-}$			$\epsilon_{yy}$		
	brez nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 80 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2	brez nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 80 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2	brez nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 80 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2	brez nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 80 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2	brez nasipa	tovornjak na 40 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 80 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2
6,00-5,81	-3,59	-1,54	-0,90	17,28	1,25	0,82	3,94	0,29	0,15	-3,61	-0,47	-0,24	-7,03	-1,80	-1,03
5,80-5,61	-1,77	-1,15	-0,67	4,02	0,41	0,35	0,76	0,29	0,13	-0,40	-0,12	-0,09	-2,62	-1,44	-0,80
5,60-5,41	-0,93	-0,86	-0,53	1,85	0,31	0,27	0,49	0,23	0,10	-0,21	-0,09	-0,07	-1,53	-1,09	-0,64
5,40-5,21	-0,49	-0,67	-0,44	0,77	0,26	0,23	0,45	0,17	0,09	-0,08	-0,08	-0,05	-0,93	-0,84	-0,52
5,20-5,00	-0,22	-0,55	-0,37	0,37	0,23	0,20	0,23	0,13	0,08	-0,01	-0,07	-0,05	-0,41	-0,67	-0,45

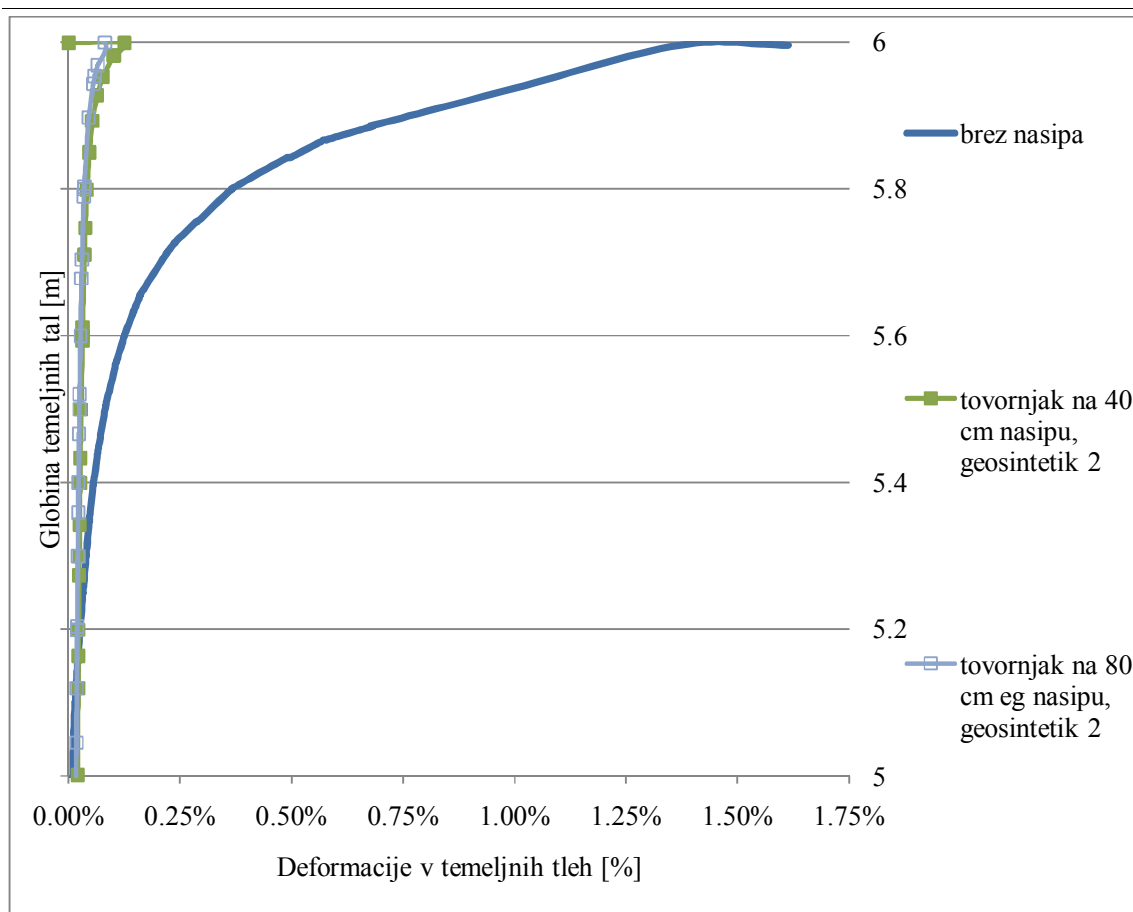
Preglednica 41: Primerjava deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2

Globina [m]	$\epsilon_v$			$\gamma_{xy}$			$\epsilon_{xx+}$			$\epsilon_{xx-}$			$\epsilon_{yy}$		
	brez nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 40 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2	brez nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 40 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2	brez nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 40 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2	brez nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 40 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2	brez nasipa	tovornjak na 60 cm nasipu - geosintetik 2	tovornjak na 40 cm nasipu (eksp. glina) - geosintetik 2
6,00-5,81	-3,94	-2,28	-1,66	46,29	5,56	3,27	4,75	0,24	0,29	-11,56	-1,48	-0,55	-7,76	-2,91	-1,59
5,80-5,61	-2,98	-1,42	-0,75	8,70	0,27	0,46	0,84	0,25	0,11	-1,19	-0,08	-0,04	-4,22	-0,76	-0,88
5,60-5,41	-2,32	-0,84	-0,39	4,02	0,16	0,18	0,24	0,08	0,10	-0,40	-0,05	-0,03	-2,91	-0,70	-0,51
5,40-5,21	-1,72	-0,51	-0,23	1,92	0,11	0,07	0,18	0,05	0,07	-0,12	-0,05	-0,03	-2,10	-0,58	-0,31
5,20-5,00	-1,12	-0,39	-0,16	1,07	0,10	0,05	0,18	0,05	0,04	-0,08	-0,05	-0,03	-1,38	-0,46	-0,22

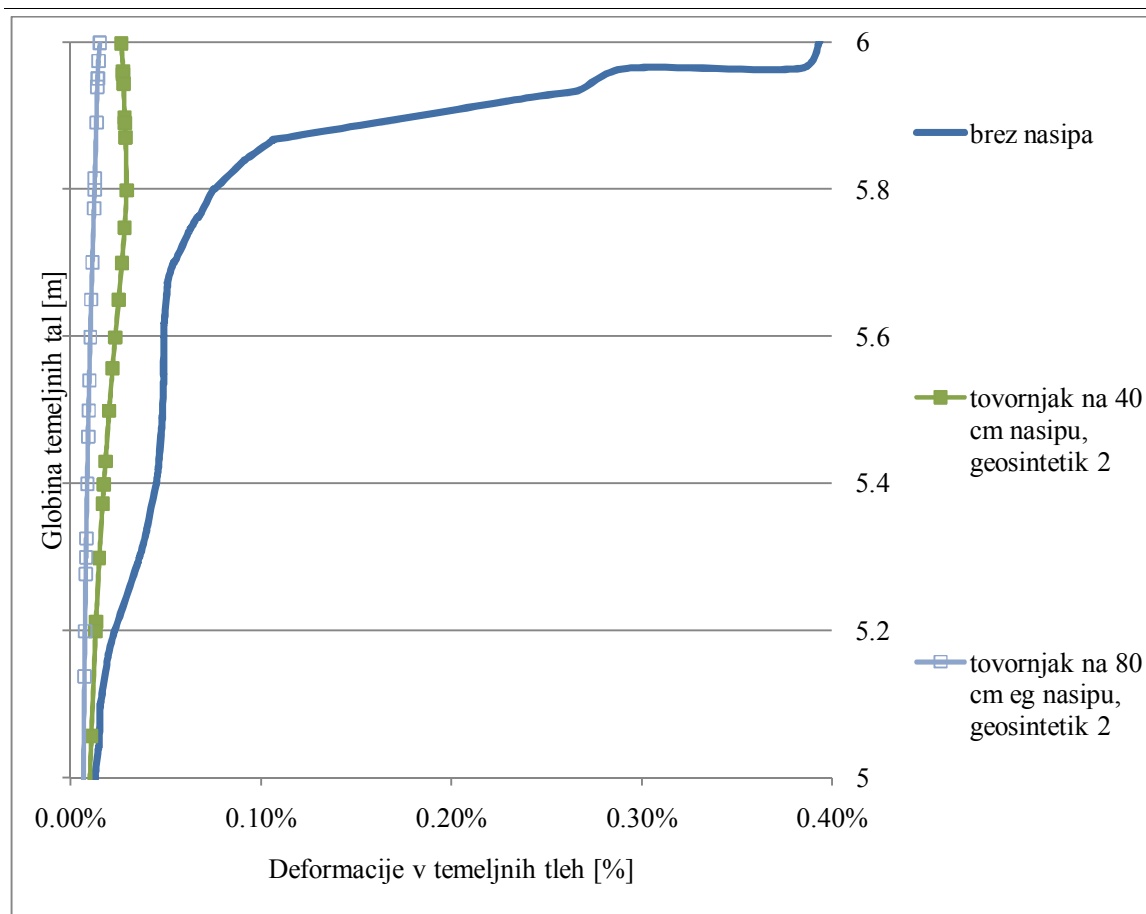




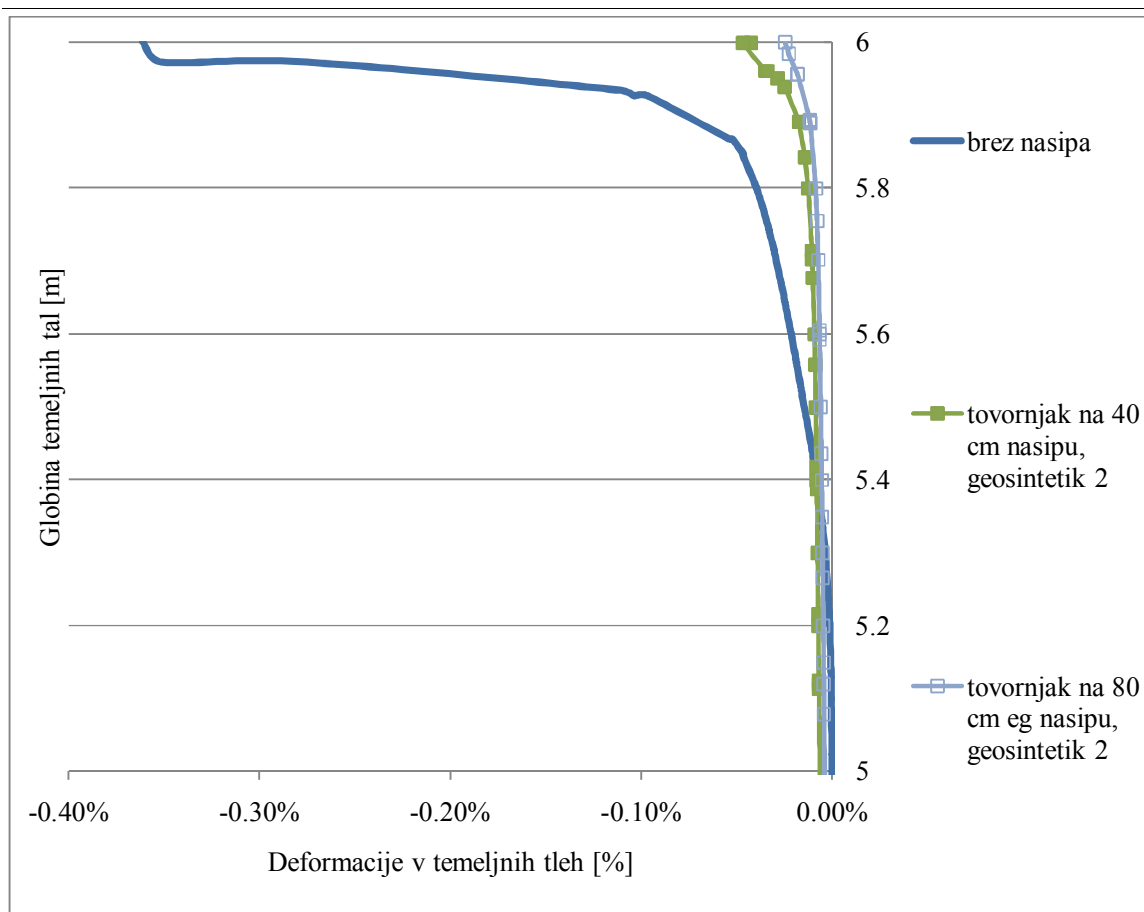
Slika 66: Primerjava vertikalnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovarnjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika



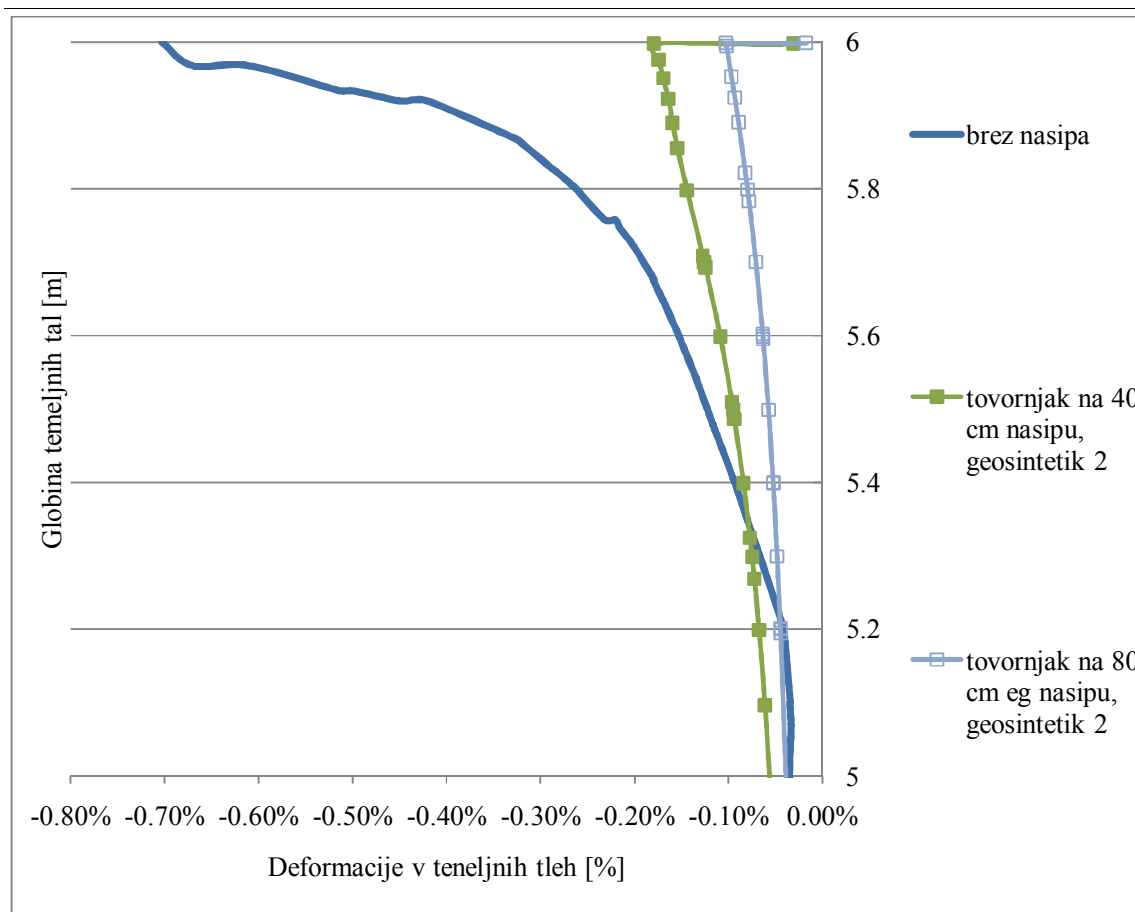
Slika 67: Primerjava strižnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2



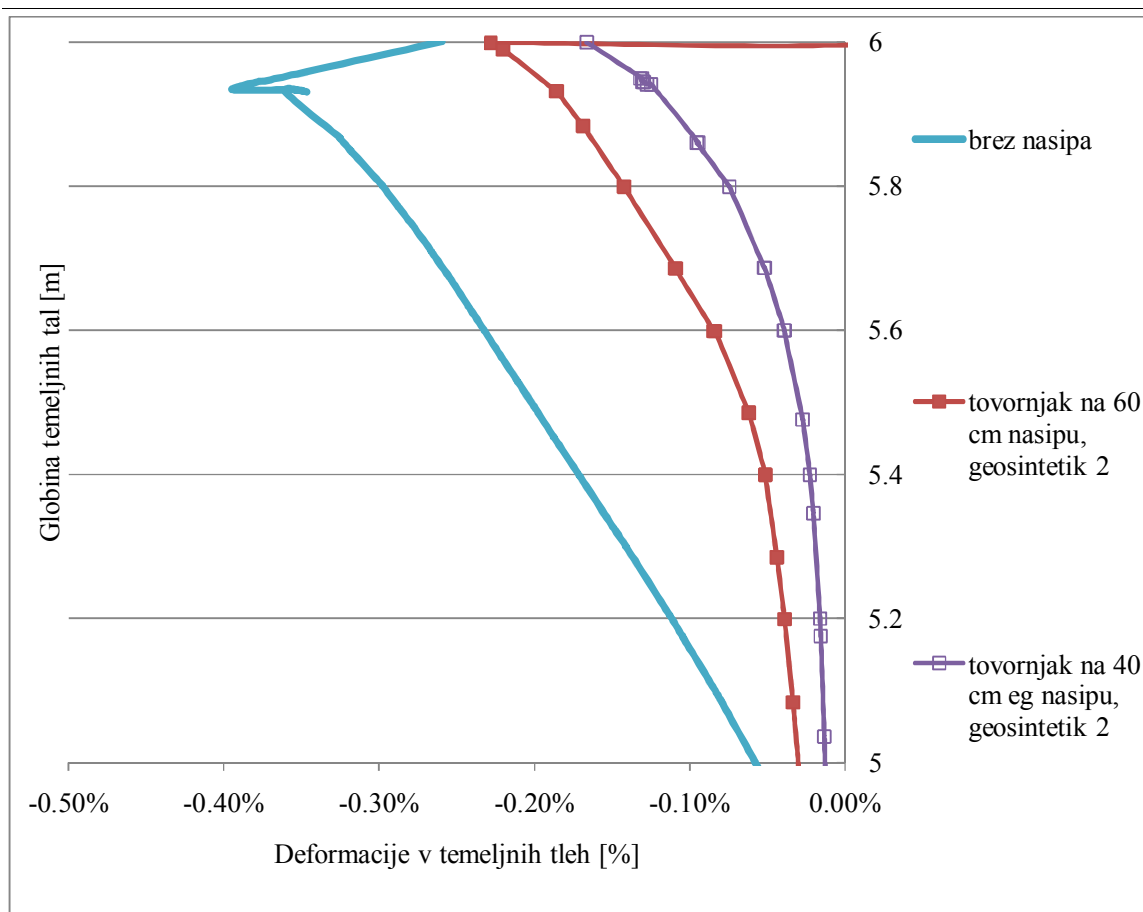
Slika 68: Primerjava nateznih horizontalnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2



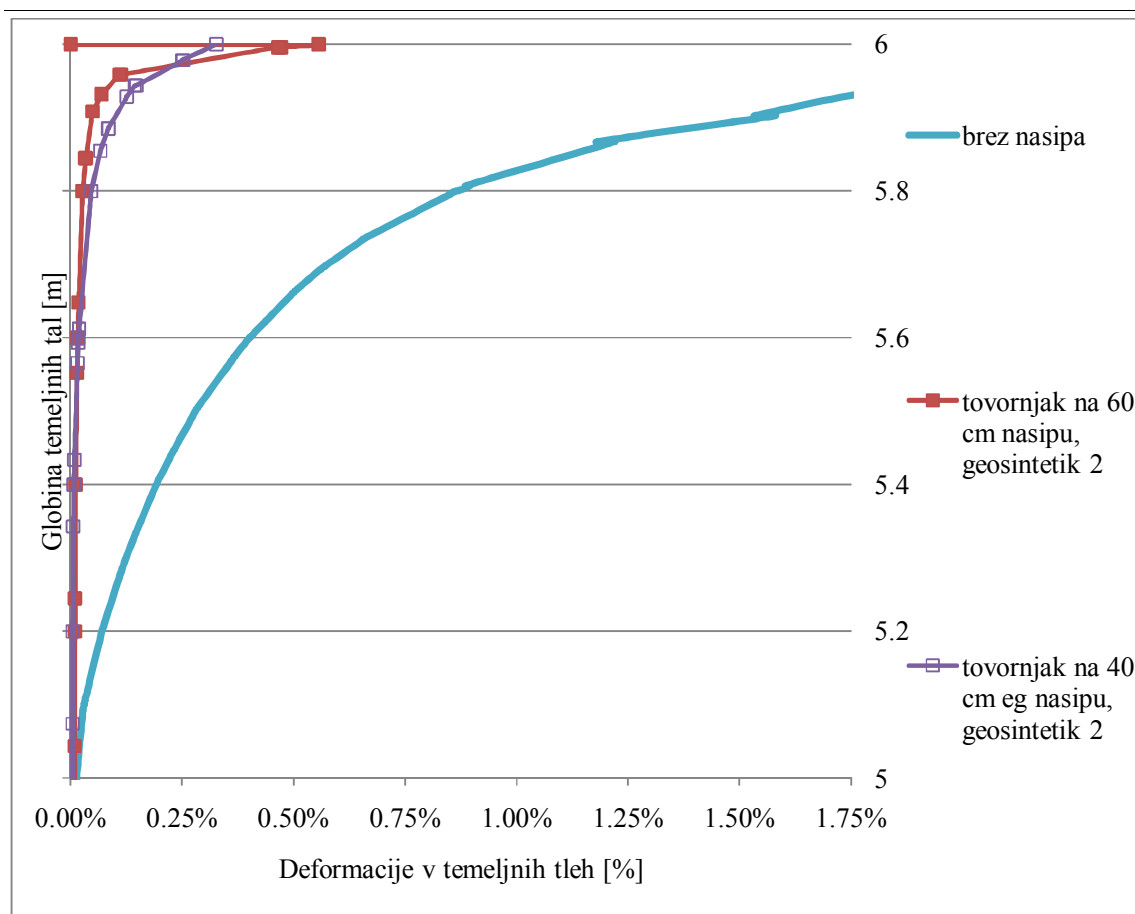
Slika 69: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovojnaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2



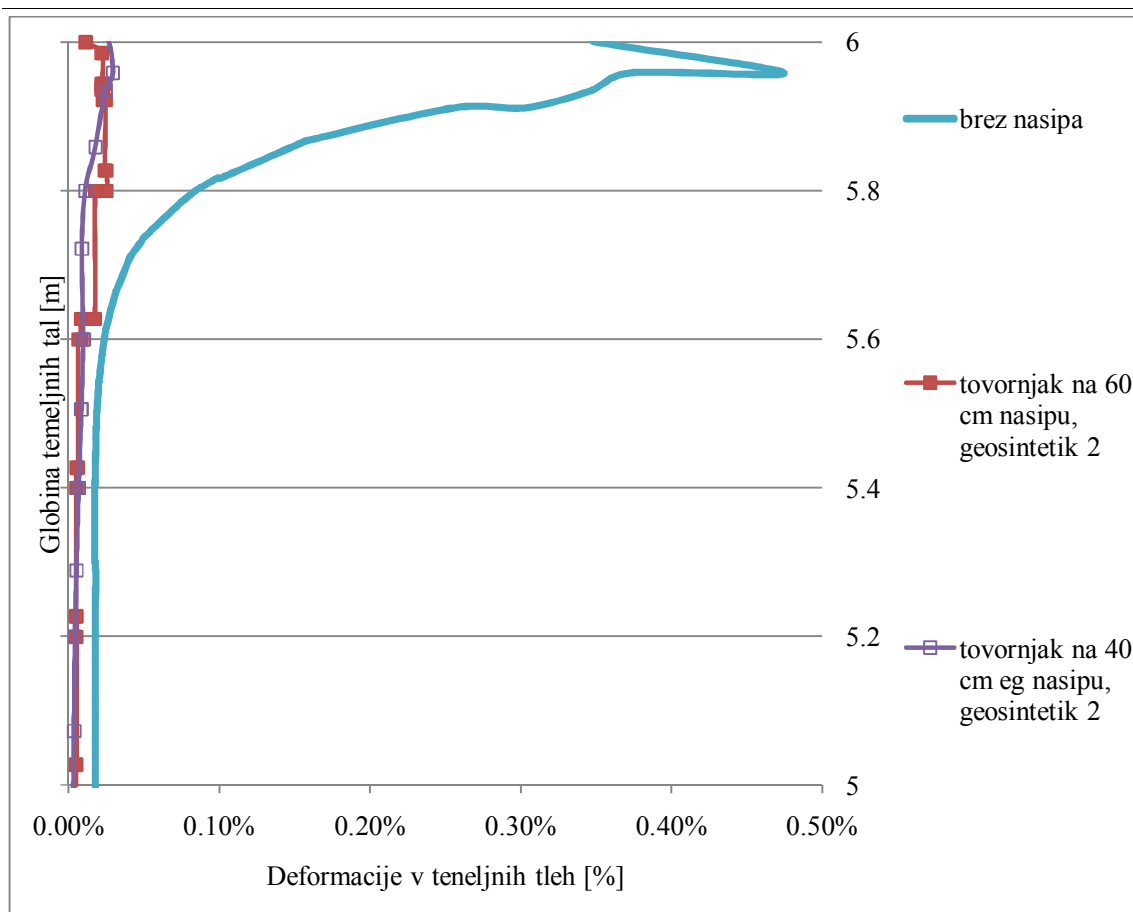
Slika 70: Primerjava vertikalnih deformacij, ki nastanejo v glinenih temeljnih tleh zaradi tovarnjaka, ki ni na nasipu, 40 cm (običajen material) in 80 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika



Slika 71: Primerjava volumskih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovarnjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika

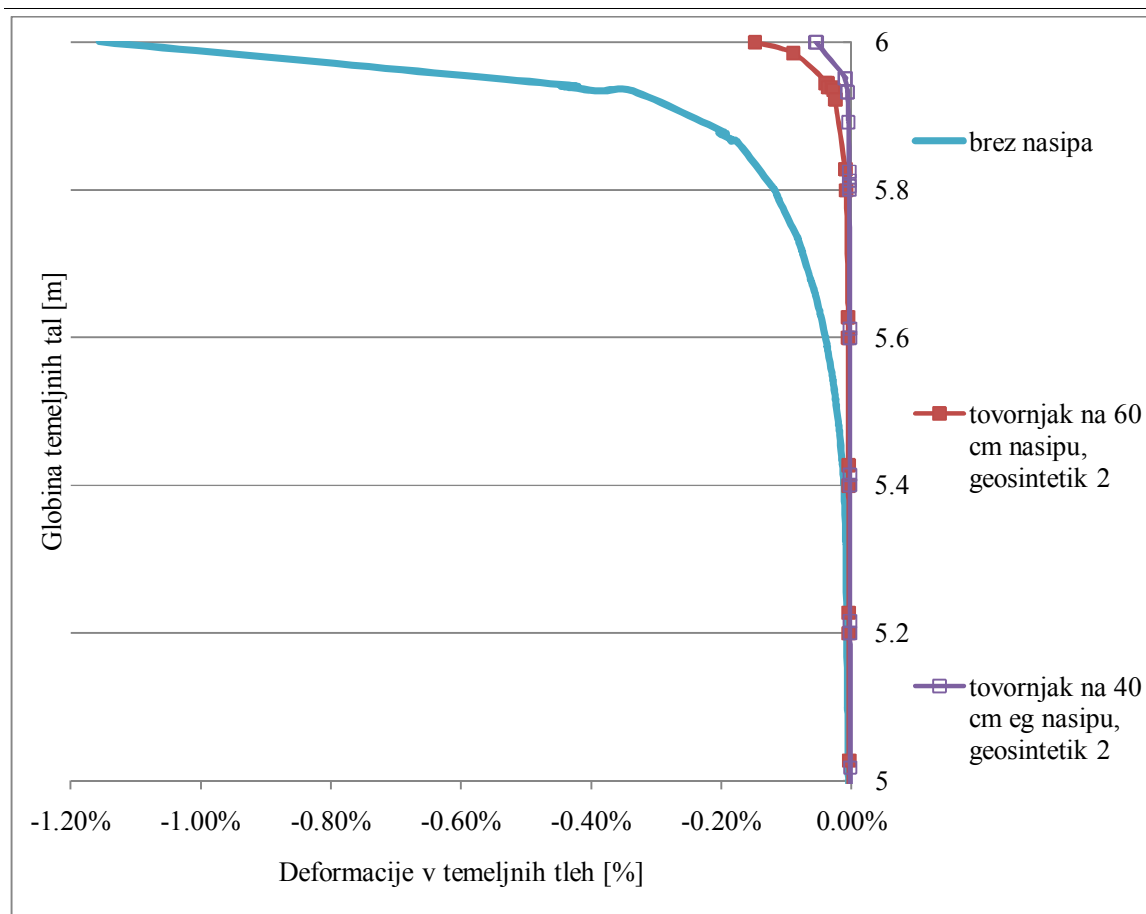


Slika 72: Primerjava strižnih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2

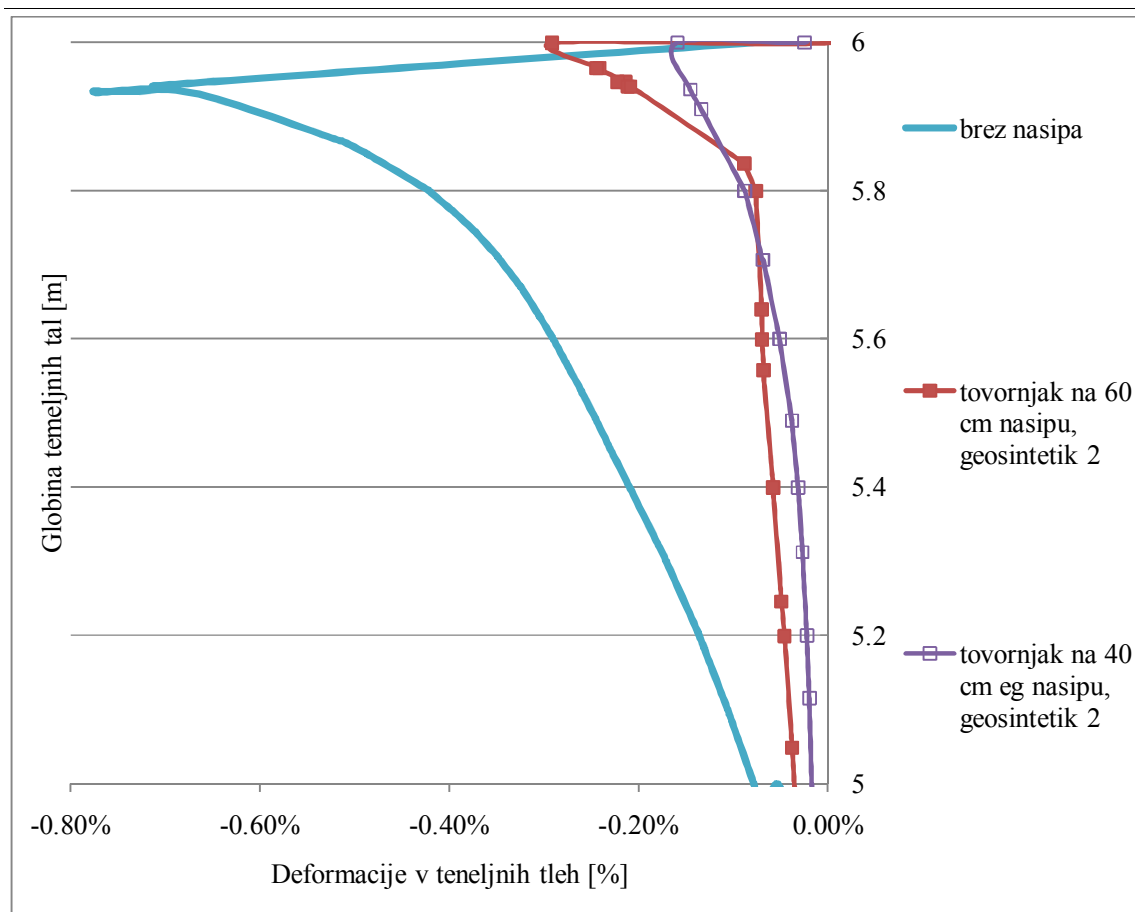


Slika 73: Primerjava nateznih horizontalnih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovarnjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2





Slika 74: Primerjava tlačnih horizontalnih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovornjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2

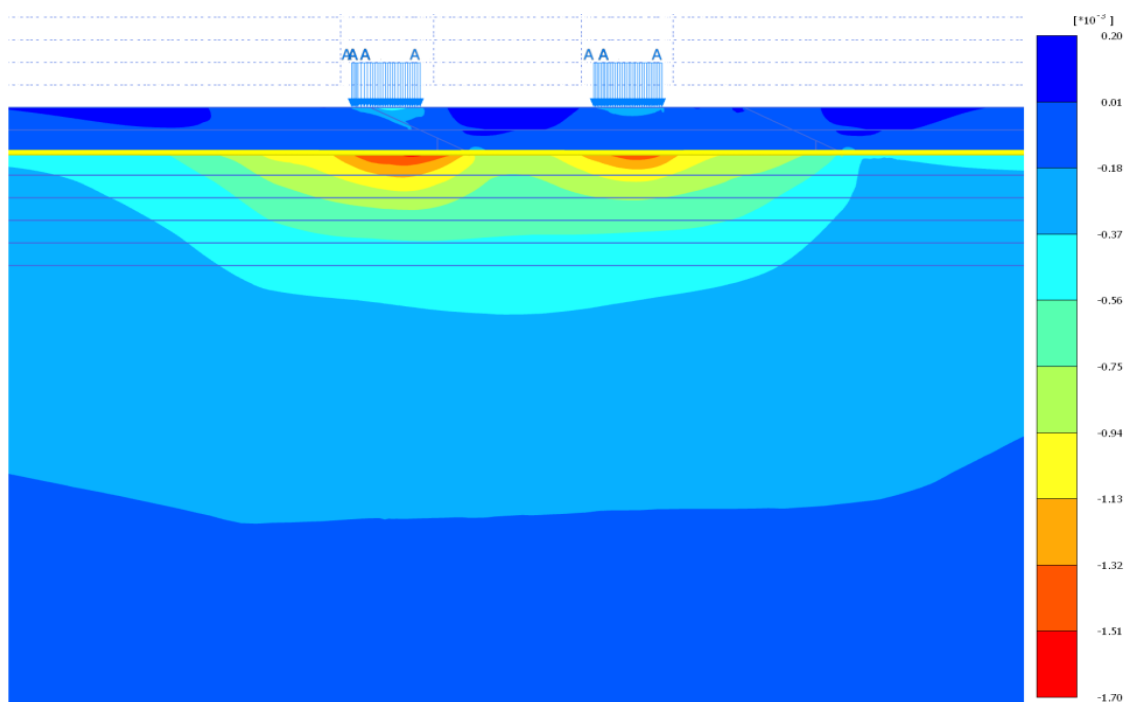


Slika 75: Primerjava vertikalnih deformacij, ki nastanejo v peščenih temeljnih tleh zaradi tovarnjaka, ki ni na nasipu, 60 cm (običajen material) in 40 cm (ekspandirana glina) nasipu z uporabo geosintetika 2

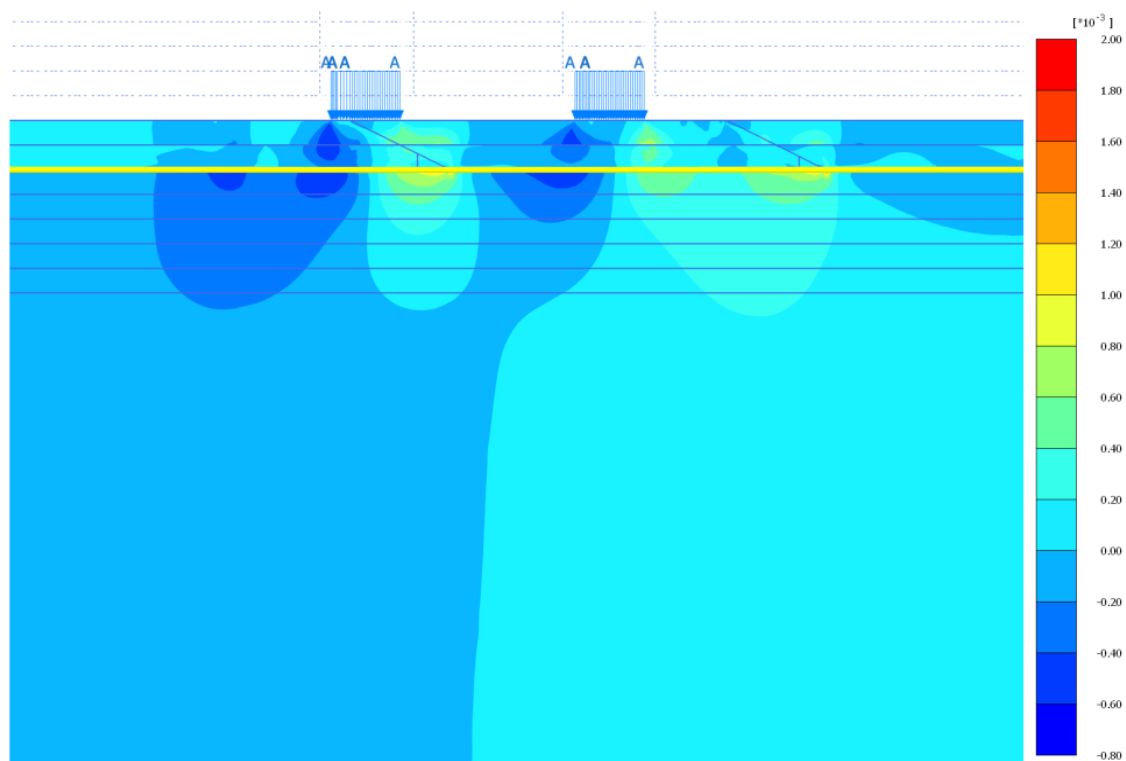
### 5.7 Razpored deformacij po celotnih temeljnih tleh pri izbranih višinah zaščitnega sloja

Sedaj, ko sem določila optimalne višine zaščitnega sloja, bom na spodnjih slikah prikazala razpored deformacij pod celotnim nasipom in ne samo v najbolj kritičnih prerezi. Pod nasipom je nameščen geosintetik 2.

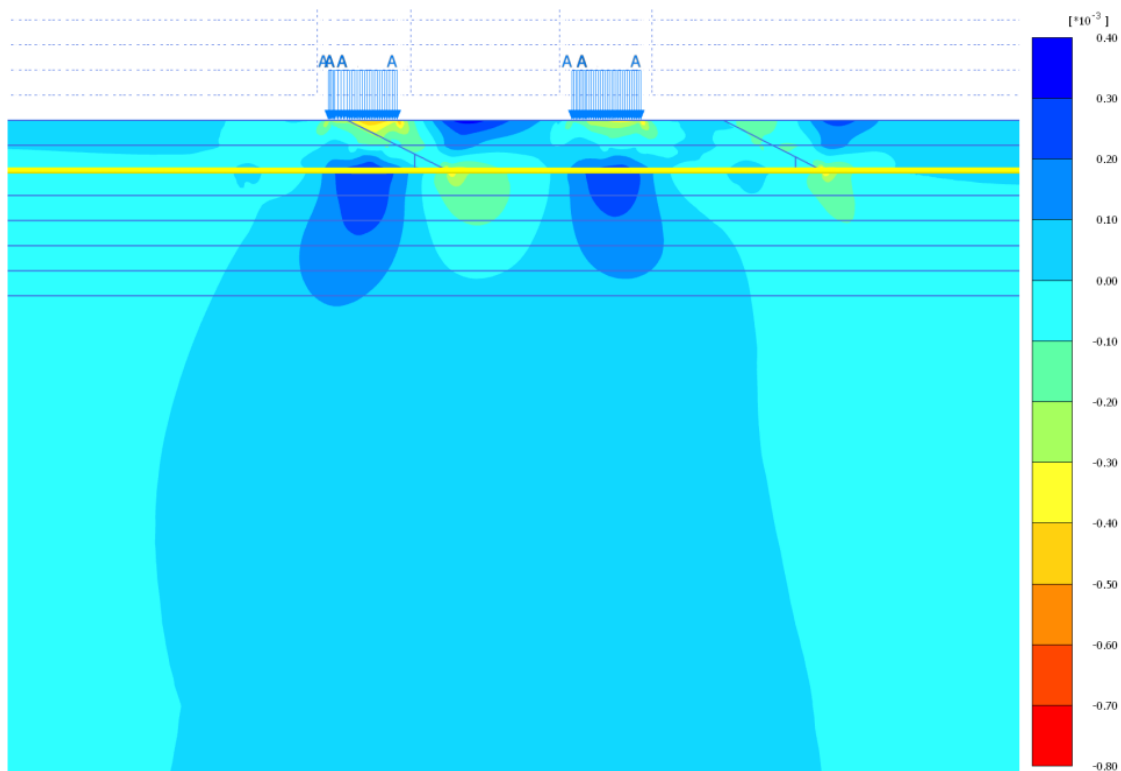
### 5.7.1 Glinena temeljna tla, nasip 40 cm iz običajnega materiala



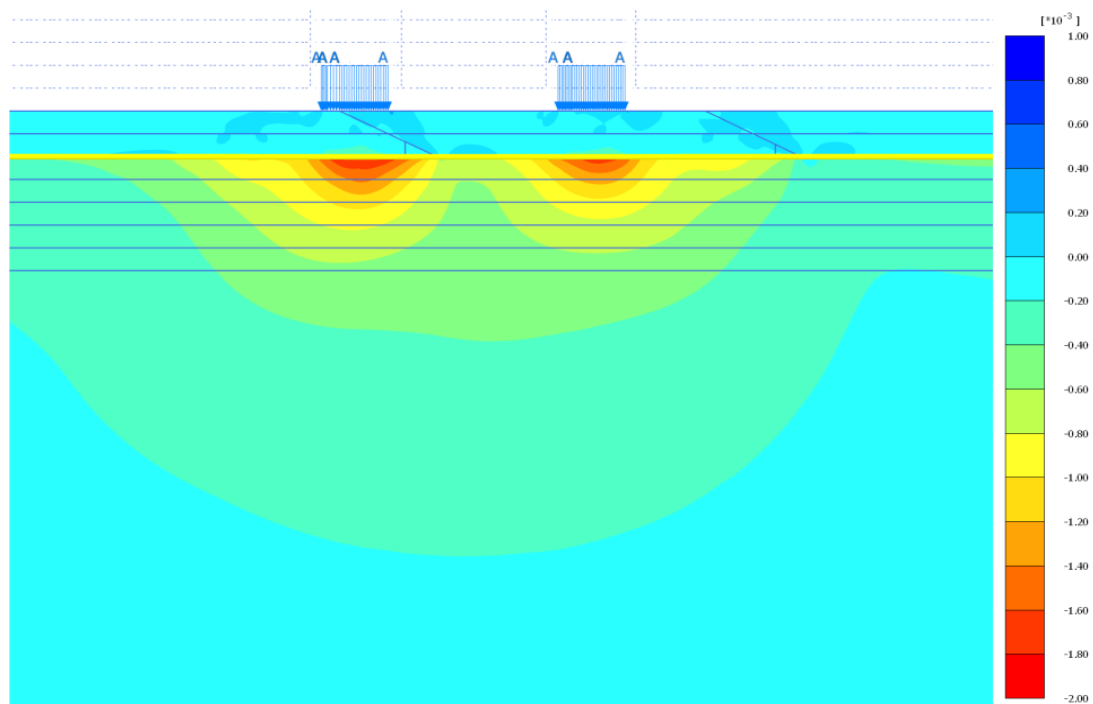
Slika 76: Volumske deformacije v temeljnih tleh zaradi tovarnjaka na 40 cm nasipu



Slika 77: Strižne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovarnjaka na 40 cm nasipu

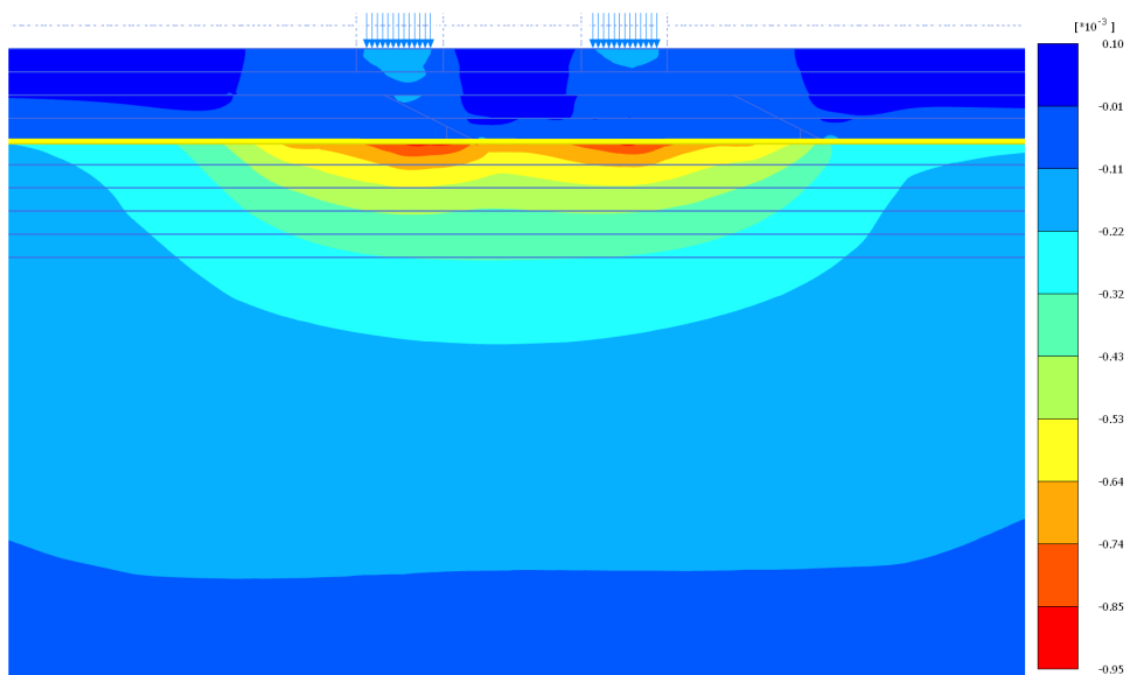


Slika 78: Horizontalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovarnjaka na 40 cm nasipu

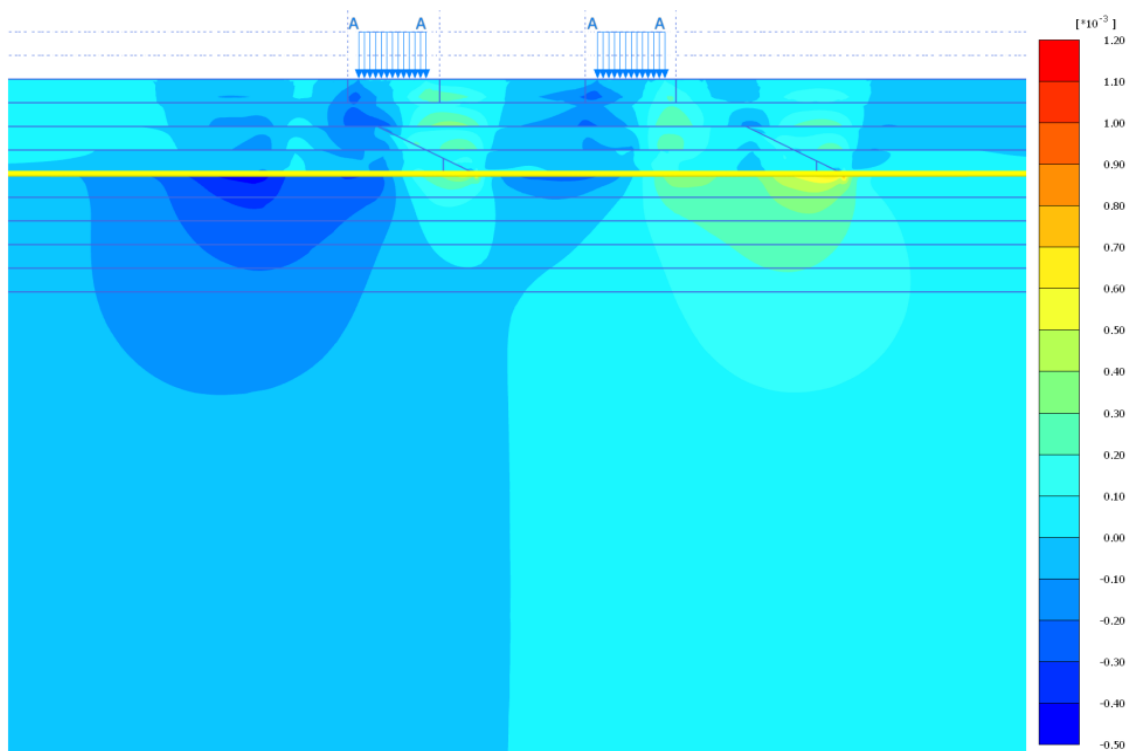


Slika 79: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovarnjaka na 40 cm nasipu

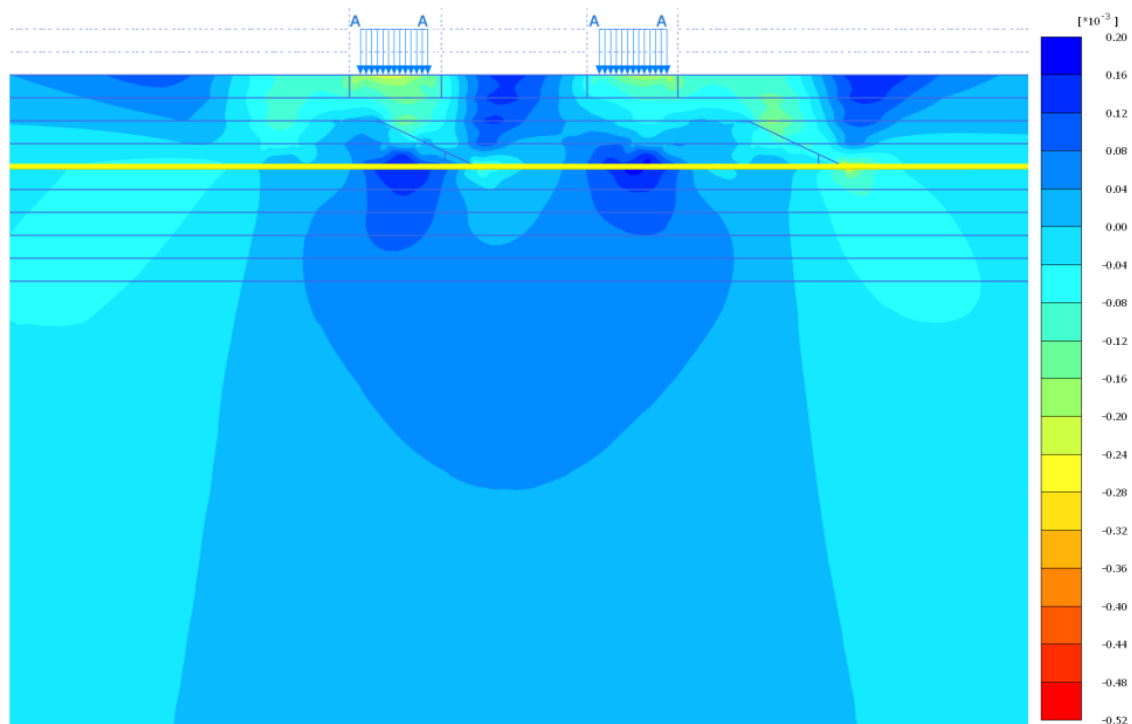
### 5.7.2 Glinena temeljna tla, nasip 80 cm iz materiala z majhno prostorninsko težo



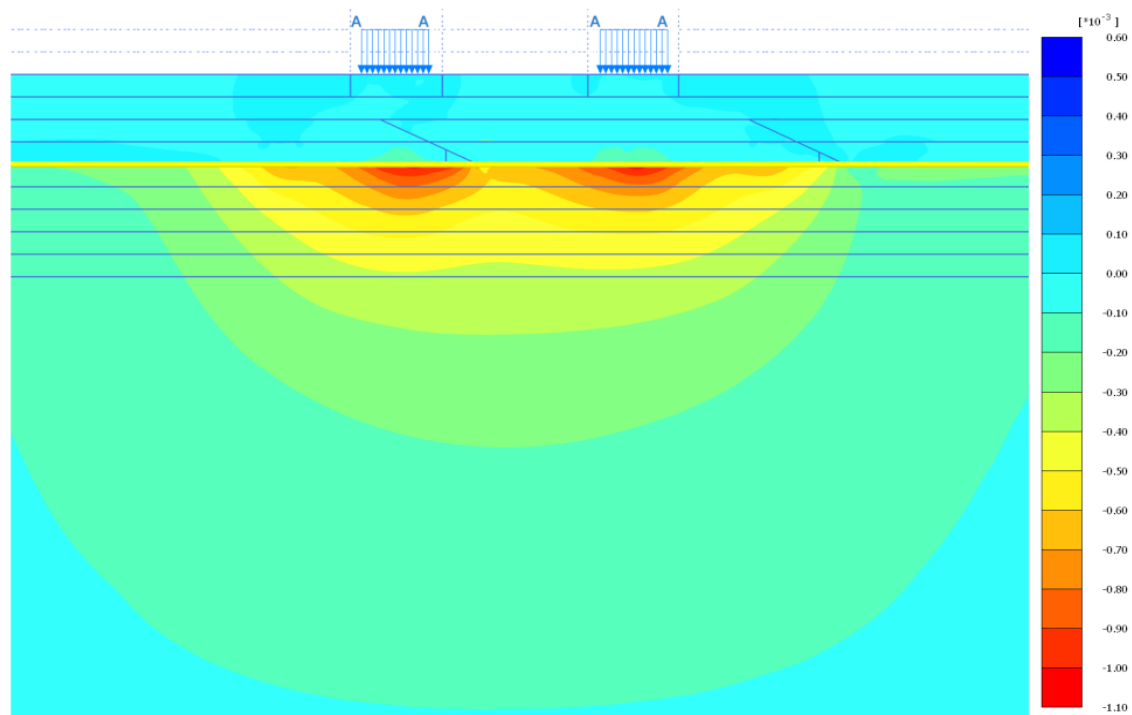
Slika 80: Volumske deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 80 cm nasipu iz ekspandirane gline



Slika 81: Strižne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovrnjaka na 80 cm nasipu iz ekspandirane gline

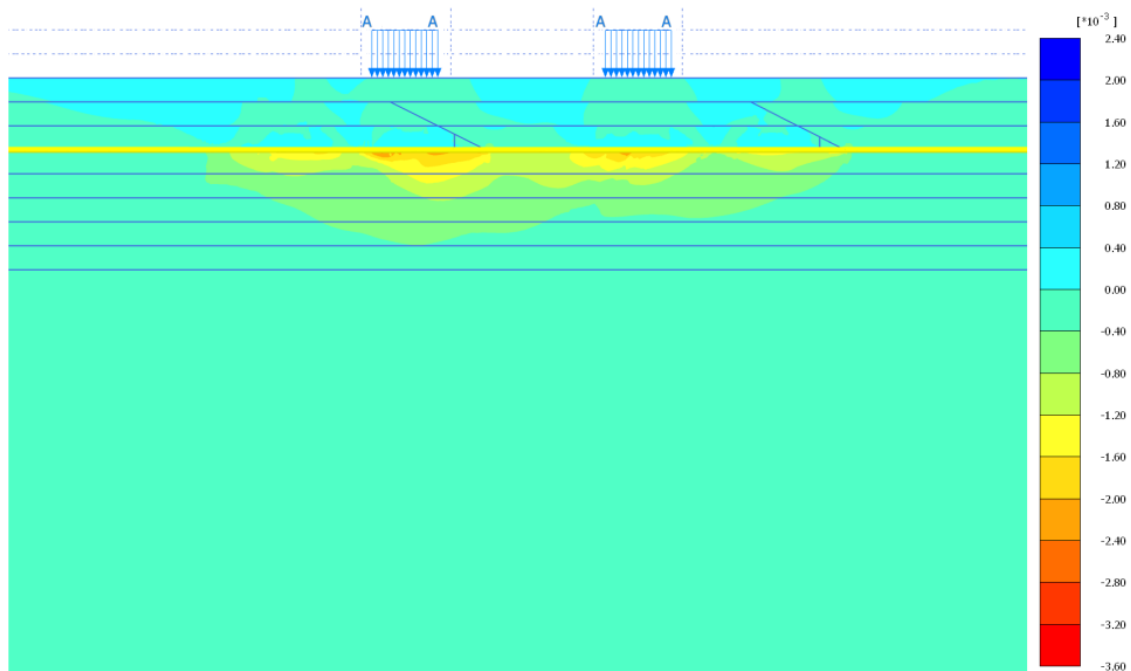


Slika 82: Horizontalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovornjaka na 80 cm nasipu iz ekspanzirane gline

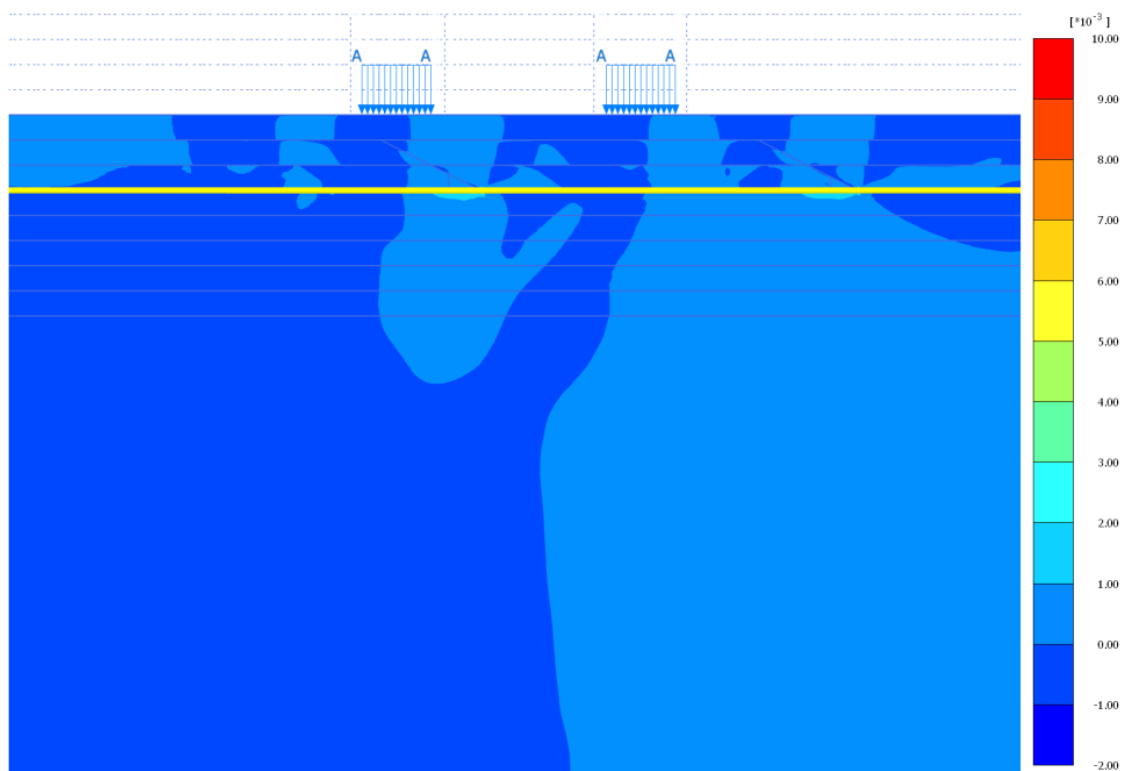


Slika 83: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovornjaka na 80 cm nasipu iz ekspanzirane gline

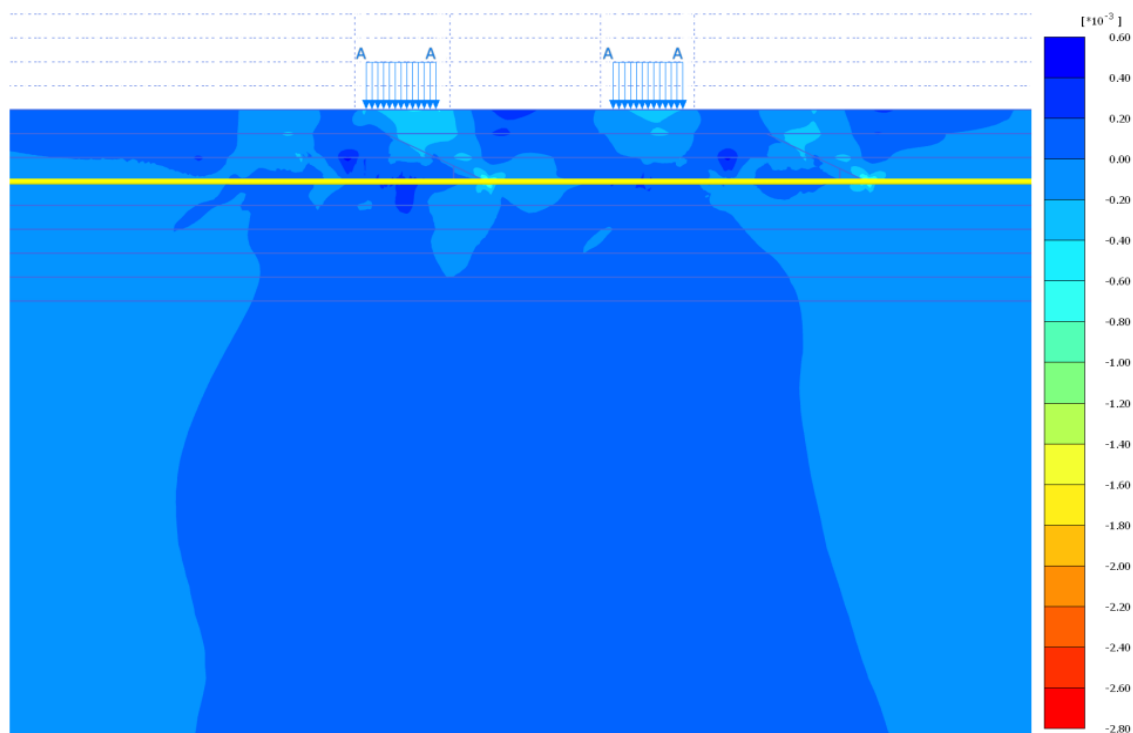
### 5.7.3 Peščena temeljna tla, nasip 60 cm iz običajnega materiala



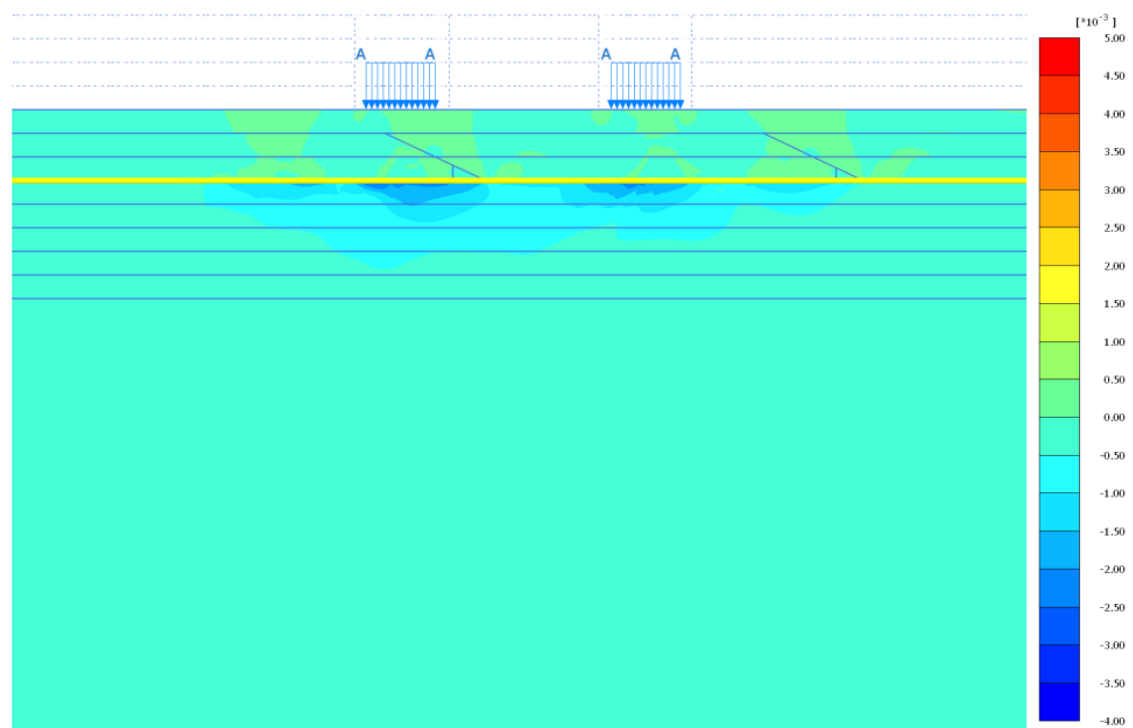
Slika 84: Volumske deformacije v temeljnih tleh zaradi tovornjaka na 60 cm nasipu



Slika 85: Strižne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovornjaka na 60 cm nasipu



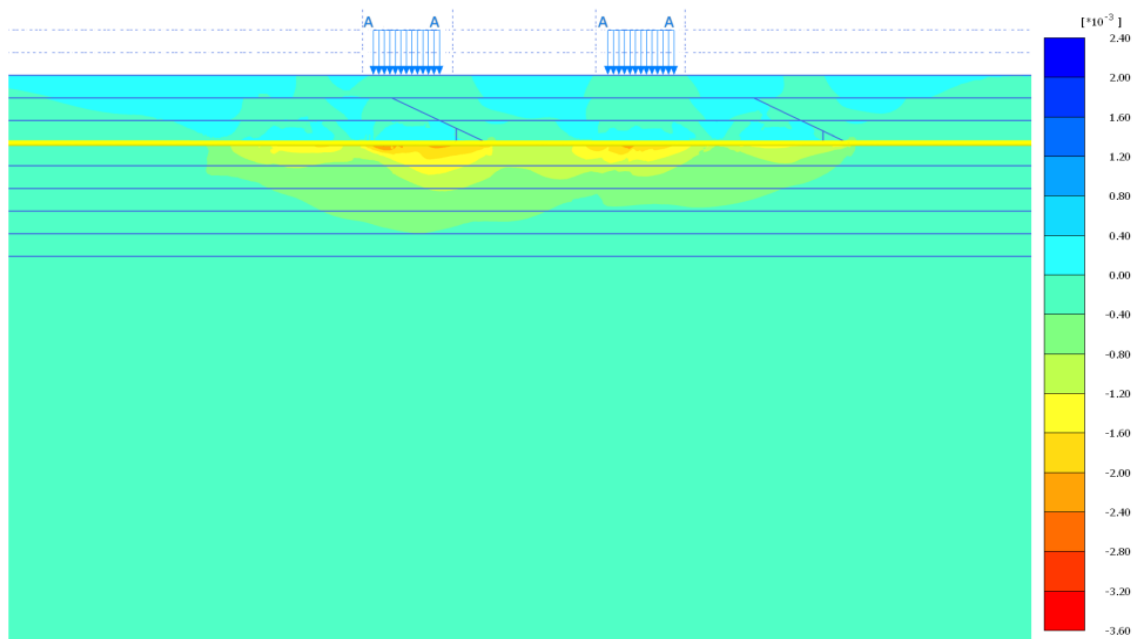
Slika 86: Horizontalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovarnjaka na 60 cm nasipu



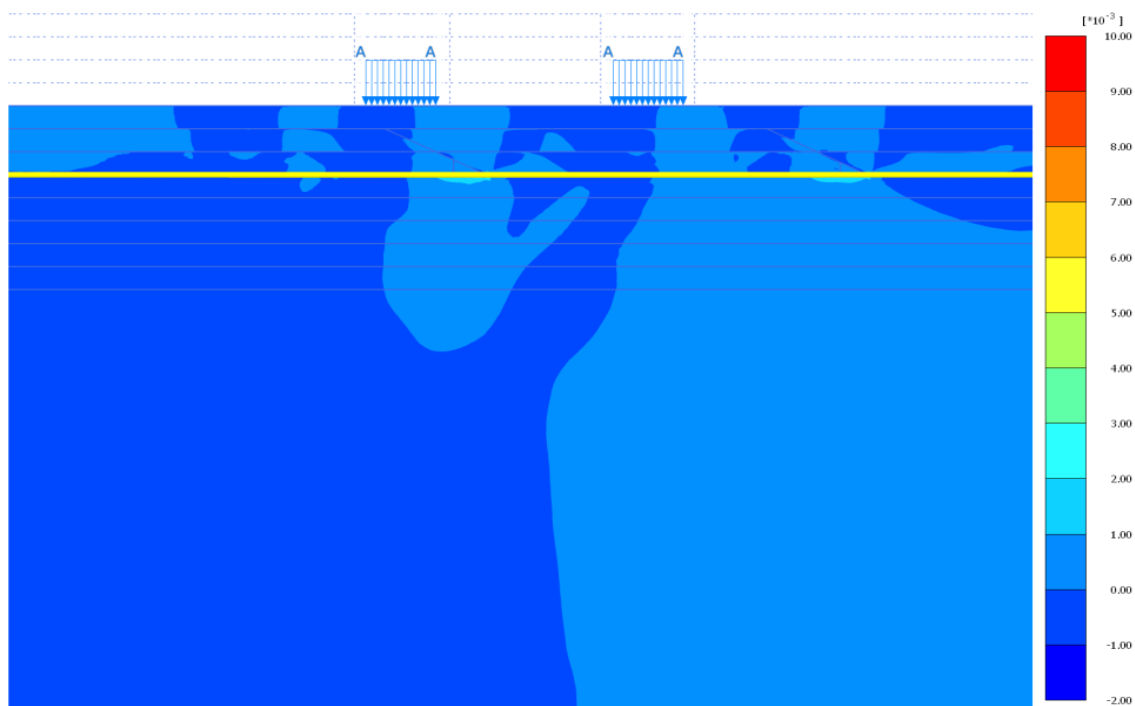
Slika 87: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovarnjaka na 60 cm nasipu



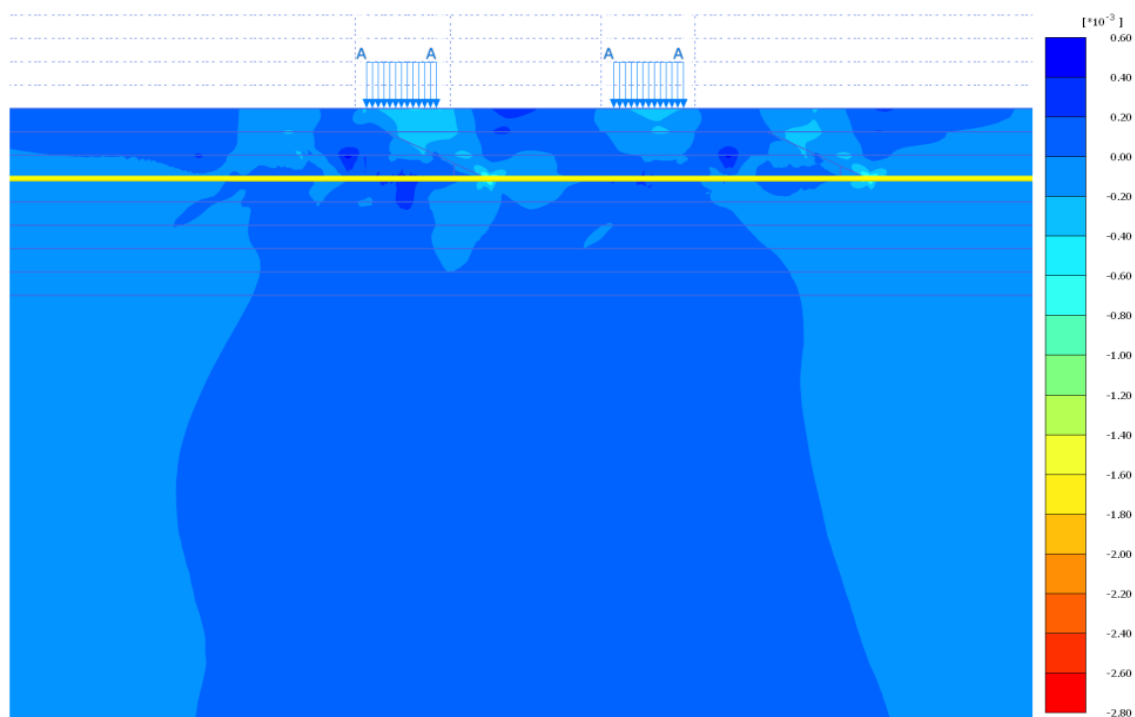
### 5.7.4 Peščena temeljna tla, nasip 40 cm iz material z majhno prostorninsko težo



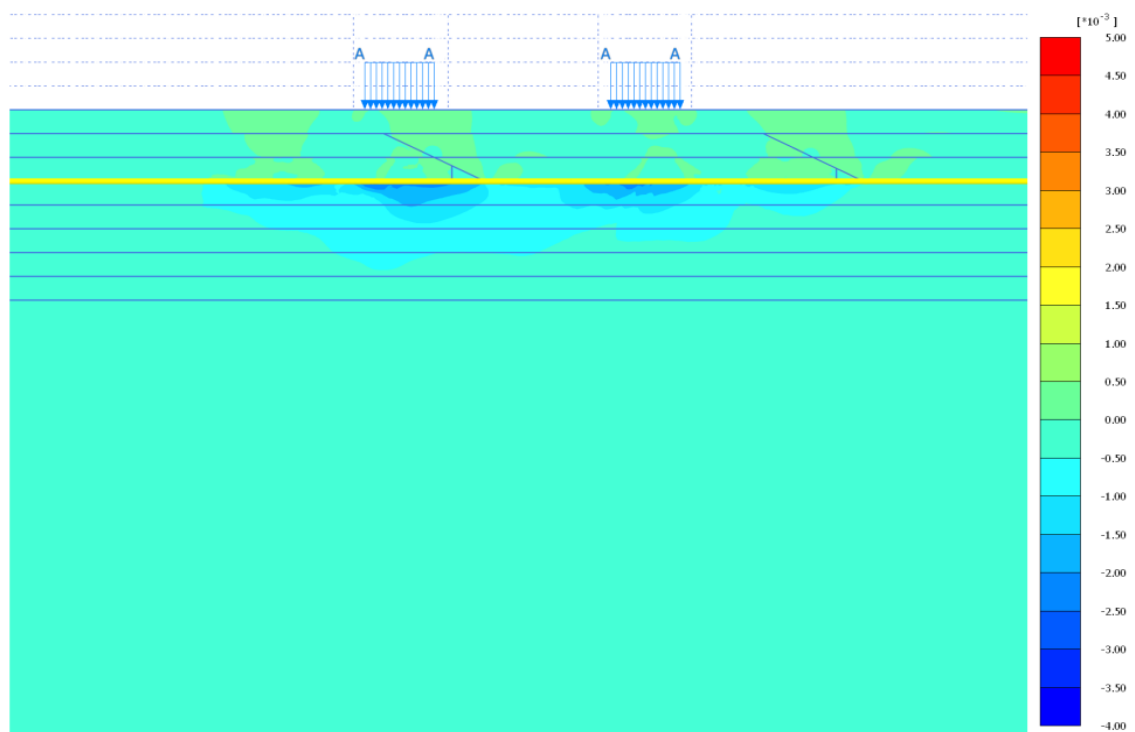
Slika 88: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovornjaka na 40 cm nasipu iz ekspanzirane gline



Slika 89: Strižne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovornjaka na 40 cm nasipu iz ekspanzirane gline



Slika 90: Horizontalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovornjaka na 40 cm nasipu iz ekspandirane gline



Slika 91: Vertikalne deformacije v temeljnih tleh zaradi tovornjaka na 40 cm nasipu iz ekspandirane gline

Na slikah od 76 do 91 vidim, da je potek deformacij podoben, razlike nastanejo pri velikostih deformacij.

### 5.8 Poškodbe najdb pod optimalnim zaščitnim nasipom

Kako bomo najdbe varovali, je odvisno predvsem od tega, iz kakšnega materiala so, na kateri globini in v kakšni vrsti tal se nahajajo. Če poznamo material, ki sestavlja najdbo, bomo poznali mejne deformacije, ki povzročajo nepovratne poškodbe in uničenje. Največ težav pri varovanju predstavljajo najdbe, ki so sestavljene iz materialov, ki imajo majhno nosilnosti v nategu. Taki materiali so npr.: beton, kamen, keramika, porcelan. Pomembna je tudi vrsta in smer deformacije glede na položaj najdbe, saj so npr. horizontalne deformacije precej manjše kot vertikalne. Tudi sprememba višine nasipa deluje različno pri različnih deformacijah, vertikalne in volumske deformacije se z višanjem nasipa večajo, strižne pa manjšajo. Iz grafov in preglednic vidimo, da se deformacije po globini spreminjajo, z globino se manjšajo. V večji nevarnosti so torej najdbe, ki ležijo bližje površja. Vse deformacije, ki sem jih izračunala, veljajo za temeljna tla, vendar sem predpostavila, da se bodo najdbe enako deformirale.

Na deformacije pa poleg vrste tal vpliva tudi izbira nasipnega materiala. Pri izbiri materiala z manjšo prostorninsko težo smo deformacije v tleh zmanjšali. V računih sem uporabila ekspanzirano glino, ki ima prostorninsko težo  $5 \text{ kN/m}^3$  (preglednice 7, 8, 9). Navaden nasipni material ima zasičeno prostorninsko težo vsaj  $19 \text{ kN/m}^3$ , nezasičeno pa  $18 \text{ kN/m}^3$  (preglednice 4, 5, 6). Torej je lastna teža nasipa, grajenega iz lažjega materiala, manjša za približno 3,5 krat glede na običajne nasipne materiale. Dodatno zmanjšanje deformacij smo dosegli z uporabo geosintetikov pod nasipom. Bolj učinkovit je tisti, ki ima večjo togost, to pomeni večjo nosilnost pri enaki deformaciji (v naših primerih je to geosintetik 2). Geosintetiki zmanjšajo deformacije v zgornji polovici opazovanega prereza (do globine okrog 0,5m), nižje pa ne vplivajo. Tudi to je dovolj, saj v tem delu nastanejo največje deformacije. Treba je preveriti, ali je bolj smiselno uporabiti geosintetik ali pa nasip iz lažjega materiala ali morda oboje.

Zaščitni sloj zgradimo, da zavarujemo predvidene arheološke najdbe pred poškodbami. Po izgradnji pa lahko zaščitni nasip uporabljamo za različne namene (kmetijstvo, parkirišče, prometnice), vendar moramo to predhodno upoštevati pri projektiranju nasipa. V zgornjih analizah sem poskušala s čim nižjim nasipom doseči manjše deformacije, vendar pa je v nekaterih primerih kasnejše rabe (prometnice) potrebno imeti določeno debelino nasipa za ustrezno izvedbo zgornjega in spodnjega ustroja. V takih primerih je torej višji zaščitni nasip celo zaželen.

### 5.8.1 Poškodbe najdb v glinenih temeljnih tleh

Kakšne so torej primerne odločitve, če se arheološko najdišče nahaja v glinenih tleh? Najprej je potrebno vedeti, kakšne materiale lahko pričakujemo na določenih globinah. Na podlagi rezultatov iz razpredelnice 37 se nato odločimo za vrsto nasipnega materiala. Višina zaščitnega sloja je že določena tako, da povzroča najmanjše deformacije. Po potrebi uporabimo tudi geosintetik. V preglednici 40 so podani rezultati z uporabo geosintetika, za primerjavo ali je potreben, pa moramo pregledati tudi druge preglednice (preglednice 12-21). Če ne bi bilo zaščitnega sloja, bi nepopravljivo škodo doživele vse najdbe v zgornjih 20 cm temeljnih tal, ne glede na vrsto materiala, saj nastanejo v obravnavanih prerezih prevelike deformacije. Nižje bi ostali nepoškodovani tisti materiali, ki imajo ustrezno natezno nosilnost. Najbolj kritične so najdbe v zgornjih 20 cm, kjer so deformacije največje.

V zgornjih 20 cm bi se, ob predpostavki, da se najdbe deformirajo enako kot zemljina, pod nasipom iz navadnega materiala, zaradi volumskih deformacij, poškodovale najdbe iz kovine, mehkega lesa in kamna, 20 cm nižje pa samo še izdelki iz litega železa. Nižje pa izračunane deformacije ne poškodujejo najdb.

Če bi uporabili geosintetik, bi bile nevarnosti poškodb v zgornjih 20 cm za izdelke iz litega železa, mehkega lesa obremenjenega pravokotno na vlakna in kamna. 20 cm nižje se lahko poškodujejo samo še kamnite najdbe, v nižjih globinah pa so zaščitene vse najdbe.

Če bi nasip zgradili iz materiala z manjšo prostorninsko težo, uporaba geosintetika ne bi bila potrebna, saj so deformacije premajhne, da bi se najdbe v obravnavanem prerezu lahko poškodovale.

Najdbe, ki jih moramo zaščititi pred strižnimi deformacijami, ležijo v zgornjih 20 cm, nižje pa so deformacije premajhne, da bi lahko povzročale škodo. Brez uporabe geosintetika bi bile pod navadnim nasipom v nevarnosti najdbe iz lesa, kamna, betona, kovin, z izjemo medeninastih najdb.

Po namestitvi geosintetika se deformacije tako zmanjšajo, da so v nevarnosti za poškodbe samo betonske in kamnite najdbe.

Če uporabimo nasip iz lažjega materiala brez geosintetika, so v nevarnosti najdbe iz železa, bakra, kamna in betona, ostali materiali pa nastale strižne deformacije prenesejo brez poškodb.

Po uporabi geosintetika se v zgornjih 20 cm zaradi strižnih deformacij poškodujejo samo betonske in kamnite najdbe.

Pod nasipom iz navadnega materiala nastanejo v zgornjih 20 cm tako velike natezne horizontalne deformacije, da se poškodujejo materiali z majhno natezno nosilnostjo (beton, steklo, porcelan, kamen). 40 cm nižje so deformacije še vedno tako velike, da poškodujejo porcelanaste najdbe. Betonske najdbe pa se bodo poškodovale do 40 cm globine. Kamnite in keramične najdbe se zaradi nateznih horizontalnih deformacij poškodujejo v vsaki globini. Tlačne horizontalne deformacije v

zgornjih 20 cm ne poškodujejo najdb iz stekla, trdega lesa obremenjenega pravokotno na vlakna, betona in porcelana. Nižje so izračunane deformacije premajhne, da bi lahko škodovale najdbam.

Po uporabi geosintetika se lahko zaradi nateznih deformacij poškodujejo porcelansti izdelki v zgornjih 40 cm, kamniti in keramični izdelki v celotnem prerezu, tlačne deformacije pa so tako majhne, da ne poškodujejo nobenih najdb.

Pod nasipom z majhno prostorninsko težo nastanejo v zgornjih 20 cm prevelike natezne horizontalne deformacije za izdelke iz porcelana in betona, 40 cm nižje pa izdelke iz kamna in keramike. Tlačne horizontalne deformacije v prvih 20 cm poškodujejo najdbe iz železa, bakra, mehkega lesa in betona. Nižje tlačne horizontalne deformacije ne uničujejo najdb.

Po uporabi geosintetika se deformacije zmanjšajo, poškodovale se bodo kamnite in keramične najdbe zaradi horizontalnih nateznih deformacij v zgornjih 60 cm.

Če najdbe ščitimo samo z navadnim nasipom, se bodo v zgornjih 20 cm zaradi vertikalnih deformacij poškodovale vse kovine, mehek les in kamnite najdbe, 20 cm nižje pa najdbe iz kamna, litega in kovanega železa in mehkega lesa, ki so obremenjene pravokotno na vlakna.

Z geosintetikom zmanjšamo deformacije tako, da so v zgornjih 40 cm nevarne samo za izdelke iz železa, mehkega lesa obremenjenega pravokotno na vlakna in kamna. Druge najdbe v ostalih globinah niso v nevarnosti za poškodbe zaradi vertikalnih deformacij.

Če uporabim olažji nasipni material, potem so v zgornjih 20 cm v nevarnosti izdelki iz železa in kamna. Nižje so deformacije premajhne, da bi povzročale nevarnost za poškodbo.

V primeru, da uporabimo obe izboljšavi, lažji nasipni material in geosintetik, pa po celotnem prerezu preprečimo poškodbe najdb.

V spodnji preglednici 42 bom prikazala zgoraj zapisano besedilo. Velja, da pri globini, pri kateri sta zapisani vrsta in smer deformacije, te deformacije začnejo povzročati škodo na najdbah. Ker se deformacije manjšajo z globino, so nižjeležeče najdbe na varnem, višjeležeče pa se bodo poškodovale.

Preglednica 42: Vrsta in smer deformacije, ki povzroča poškodbe najdb na različnih globinah v glinenih temeljnih tleh pod optimalno določenimi višinami nasipa v obravnavanih primerih

Globina najdb [cm]	Medenina	Bron	Lito železo	Kovano železo	Baker in bakrove zlitine	Steklo	Hrastov les (pravokotno na vlakna)	Hrastov les (vzporedno z vlakni)	Borov les (pravokotno na vlakna)	Borov les (vzporedno z vlakni)	Beton	Keramika	Kamen (granit)	Porcelan
Brez nasipa														
0 - 20	$\epsilon_V, \epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$
20 - 40	$\gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_{xx+}$			$\epsilon_V, \gamma_{xy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$			$\epsilon_V$	
40 - 60			$\epsilon_{yy}$	$\epsilon_{yy}$					$\epsilon_{yy}$				$\epsilon_{yy}$	
60 - 80											$\gamma_{xy}, \epsilon_{xx+}$			
80 - 100												$\epsilon_{xx+}$	$\epsilon_{xx+}$	$\epsilon_{xx+}$
Zaščitni nasip višine 40 cm iz običajnega materiala														
0 - 20	$\epsilon_V, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_{xx+}$	$\gamma_{xy}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}, \epsilon_{yy}$	$\gamma_{xy}$	$\epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	
20 - 40			$\epsilon_V, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_{yy}$					$\epsilon_{yy}$		$\epsilon_{xx+}$		$\epsilon_{yy}$	
40 - 60														$\epsilon_{xx+}$
60 - 80														
80 - 100												$\epsilon_{xx+}$	$\epsilon_{xx+}$	

se nadaljuje...



### 5.8.2 Poškodbe najdb v peščenih temeljnih tleh

V peščenih tleh nastanejo večje deformacije. Deformacije, ki nastanejo pod optimalnimi nasipi in so dodatno zmanjšane z uporabo geosintetikov, so zapisane v preglednici 41. Deformacije, ki nastanejo pod katerokoli višino nasipa in brez zaščite z geosintetikom, so zapisane v preglednicah 22-31. V peščenih tleh bi se brez zaščitnega nasipa poškodovale najdbe iz kateregakoli materiala v celotnem obravnavanem prerezu.

Volumske deformacije, ki nastanejo pod nasipom iz navadnega materiala, z uporabo ali brez uporabe geosintetika, bi povzročile škodo na vseh najdbah v zgornjih 20 cm, razen na steklu, porcelanu, betonu in trdem lesu obremenjenem vzporedno z vlakni. 20 cm nižje so možnosti poškodb za železne najdbe, ne glede na to ali uporabimo geosintetik ali ne. V nižjih globinah pa so vse najdbe pod nasipom iz navadnega materiala zaščitene pred poškodbami.

Z izbiro lažjega nasipnega materiala, brez uporabe geosintetika, nastanejo poškodbe zaradi volumskih deformacij na najdbah iz železa, bakra in njegovih zlitin in mehkega lesa v zgornjih 20 cm.

Če pa pod nasip namestimo geosintetik, v globini do 20 cm, zavarujemo tudi bakrene najdbe in najdbe iz mehkega lesa obremenjenega vzporedno z vlakni. V večjih globinah so najdbe pred poškodbami zaščitene tudi, če ne uporabimo geosintetika.

Strižne deformacije so, ne glede na vrsto nasipnega materiala in uporabo geosintetika, nevarne samo v zgornjih 20 cm, nižje pa so tako majhne, da ne bodo povzročile škode. Če poleg preglednic pogledamo še sliki 35 in 40, vidimo, da so deformacije nevarno velike pravzaprav samo v zgornjih 10 cm.

Ker so tako velike, je potrebno najdbe zaščititi z nasipom iz lažjega materiala in z uporabo geosintetika. Tudi s temi zaščitnimi ukrepi so možnosti za poškodbo pri železnih, bakrovih, kamnitih, betonskih izdelkih in izdelkih iz mehkega lesa.

Tudi pri horizontalnih deformacijah se deformacije po zgornjih 20 cm tako zmanjšajo, da nižje za večino materialov niso več nevarne. Če uporabimo navaden nasipni material, brez geosintetika, potem so pred tlačnimi deformacijami v zgornjih 20 cm varne samo najdbe iz stekla, trdega lesa, betona in keramike. Natezne deformacije bodo v tej globini poškodovale najdbe iz stekla, trdega lesa obremenjega pravokotno na vlakna, porcelana, betona, kamna in keramike. 20 cm nižje bodo pred tlačnimi horizontalnimi deformacijami varne vse najdbe, natezne horizontalne deformacije pa povzročajo škodo na porcelanastih, betonskih, keramičnih in kamnitih najdbah. Natezne horizontalne deformacije 40 cm nižje poškodujejo najdbe iz keramike in kamna.

Po namestitvi geosintetika se bodo zaradi nateznih deformacij poškodovale v zgornjih 40 cm porcelanaste najdbe, 20 cm nižje pa tudi najdbe iz kamna in keramike. Zaradi tlačnih horizontalnih



deformacij se bodo v zgornjih 20 cm poškodovale najdbe iz železa, kamna in mehkega lesa, ki je obremenjen pravokotno na vlakna. Nižje ni nevarnosti poškodb zaradi tlačnih horizontalnih deformacij.

Horizontalne deformacije pod optimalnim nasipom iz ekspandirane gline so v zgornjih 20 cm obravnavanega prereza precej večje kot pod izbranim nasipom iz navadnega materiala. Horizontalnih deformacij z lažjim nasipnim materialom dejansko ne zmanjšamo. Nastale tlačne horizontalne deformacije bi v zgornjih 20 cm prenesli samo stekleni izdelki in izdelki iz trdega lesa obremenjenega pravokotno na vlakna, natezne horizontalne deformacije bi poškodovale vse najdbe razen tistih, ki so iz trdega lesa obremenjenega vzporedno z vlakni, 40 cm nižje pa keramične in kamnite najdbe.

Tako moramo pod nasipom iz ekspandirane gline nujno uporabiti geosintetik, zaradi katerega se deformacije zmanjšajo do take mere, da se lahko poškodujejo v zgornjih 20 cm porcelanaste najdbe, 40 cm nižje pa kamnite in keramične najdbe. V večjih globinah ni nevarnosti poškodb zaradi horizontalnih deformacij.

Vertikalne deformacije, ki nastanejo pod navadnim optimalnim nasipom, brez dodanega geosintetika, lahko poškodujejo v zgornjih 20 cm vse najdbe razen tistih, ki so iz stekla, betona, porcelana in trdega lesa obremenjenega pravokotno na vlakna. 20 cm nižje se deformacije zmanjšajo in so v nevarnosti izdelki iz železa, kamna in mehkega lesa obremenjenega pravokotno na vlakna, nižje pa deformacije ne bodo poškodovale najdb.

Če namestimo geosintetik, so v zgornjih 20 cm še vedno tako velike deformacije, da so ogrožene enake najdbe kot pred uporabo geosintetika, vendar pa so v večjih globinah deformacije premajhne, da bi ogrožale najdbe.

Z uporabo lažjega nasipnega materiala so nevarnosti poškodb v zgornjih 20 cm za najdbe iz kovin, mehkega lesa, trdega lesa obremenjenega vzporedno z vlakni, betona, kamna in porcelana. 20 cm nižje se lahko poškodujejo najdbe iz železa, kamna in mehkega lesa obremenjenega pravokotno na vlakna. 20 cm nižje pred deformacijami še vedno niso zaščitene kamnite najdbe. V spodnjih 40 cm so deformacije premajhne, da bi lahko poškodovale najdbe.

Po uporabi geosintetika se deformacije zmanjšajo in v zgornjih 20 cm so v nevarnosti najdbe iz železa, kamna in mehkega lesa obremenjenega pravokotno na vlakna. Nižje so vse najdbe zavarovane pred poškodbami.

Preglednica 43: Vrsta in smer deformacije, ki povzroča poškodbe najdb na različnih globinah v peščenih temeljnih tleh pod optimalno določenimi višinami nasipa v obravnavanih primerih

Globina najdb [cm]	Medenina	Bron	Lito železo	Kovano železo	Baker in bakrove zlitine	Steklo	Hrastov les (pravokotno na vlakna)	Hrastov les (vzporedno z vlakni)	Borov les (pravokotno na vlakna)	Borov les (vzporedno z vlakni)	Beton	Keramika	Kamen (granit)	Porcelan
Brez nasipa														
0 - 20	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx+}$	$\epsilon_{xx+}$	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx+}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx-}$		$\epsilon_{xx-}$
20 - 40			$\epsilon_{xx-}$	$\epsilon_{xx-}$		$\epsilon_{xx+}$	$\epsilon_{xx+}$				$\epsilon_{xx+}$		$\epsilon_{xx-}$	
40 - 60														$\epsilon_{xx+}$
60 - 80														
80 - 100	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{xx+}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{xx+}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$
Zaščitni nasip višine 60 cm iz običajnega materiala														
0 - 20	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{xx-}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{xx-}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{xx+}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx+}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	$\gamma_{xy}, \epsilon_{xx+}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$	$\epsilon_V, \gamma_{xy}, \epsilon_{xx-}$
20 - 40			$\epsilon_V, \epsilon_{yy}$	$\epsilon_V, \epsilon_{yy}$						$\epsilon_{yy}$			$\epsilon_{yy}$	$\epsilon_{xx+}$
40 - 60												$\epsilon_{xx+}$	$\epsilon_{xx+}$	
60 - 80														
80 - 100														

se nadaljuje...



## 5.9 Vpliv togosti najdb

V vseh prejšnjih analiziranih primerih temeljnih tal sem predpostavila majhne arheološke najdbe, ki bistveno ne spremenijo (povečajo) togosti tal in zaradi tega lahko rečemo, da se bodo najdbe deformirale enako kot temeljna tla v okolici. Vse deformacije so zato izračunane samo za temeljna tla. V primerih večjih najdb (nagrobniki, zidovi) pa ne moremo pričakovati, da se bodo deformirale enako kot zemljina okoli njih. Njihova togost bo večja, zato bodo deformacije manjše. V spodnjih primerih bom pregledala, kaj se zgodi z večjo kamnito najdbo v enakih temeljnih tleh in pod enako obtežbo kot v prejšnjih analizah.



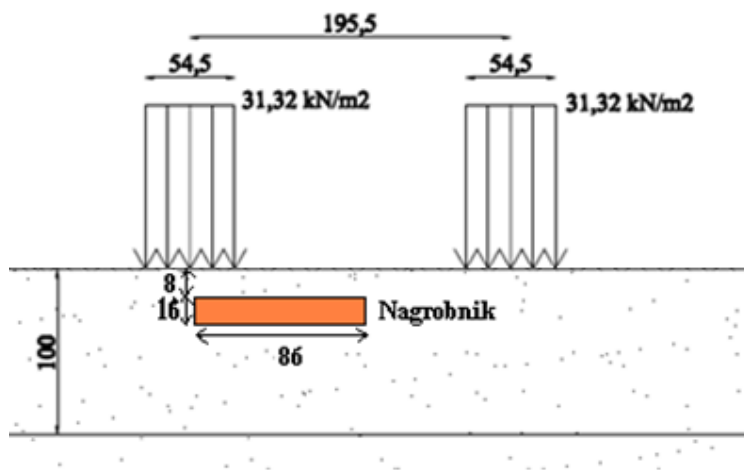
Slika 92: Kamniti nagrobnik [36]

Za večjo kamnito najdbo sem izbrala nagrobnik, ki je prikazan na zgornji sliki. Nagrobnik je visok 86 cm, širok 73 cm, globok je 16 cm. V Plaxisu sem ga modelirala kot linearno elastičen model. Materialne karakteristike so podane v preglednici 44.

Preglednica 44: Materialne karakteristike kamnitega nagrobnika

Materialni model		Linearno elastičen
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	25
Togost		
E	kN/m <sup>2</sup>	6000000
G	kN/m <sup>2</sup>	2400000
$E_{oed}$	kN/m <sup>2</sup>	7200000
$\nu$		0,25

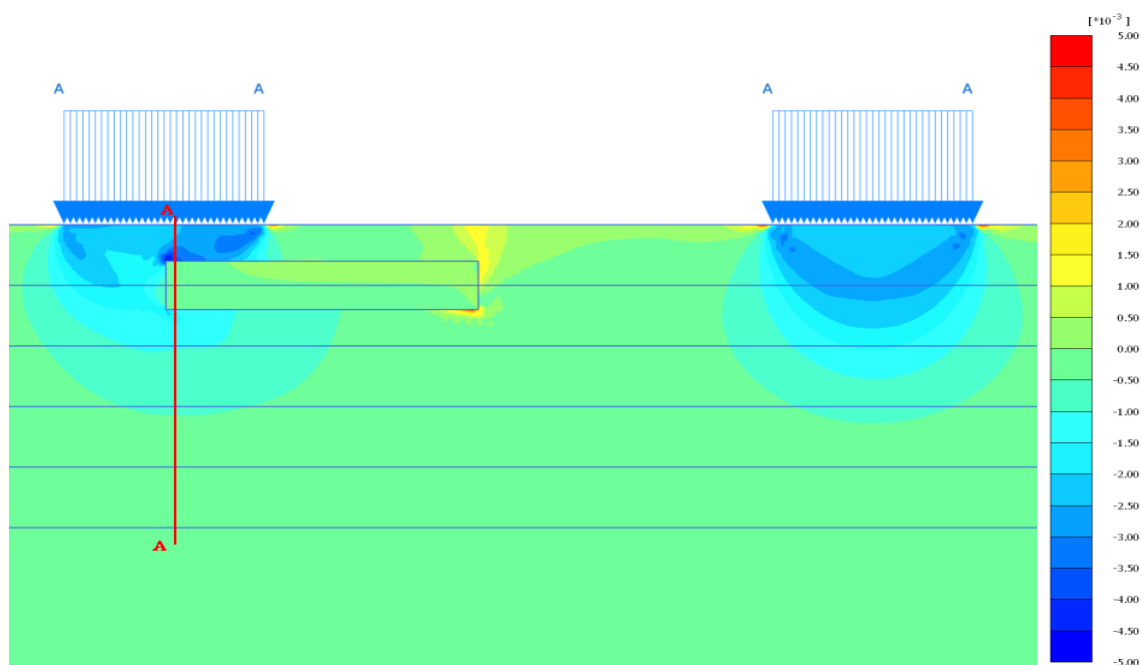
Zanimajo me deformacije, ki nastanejo v najbolj obremenjenih prerezih temeljnih tal. Zato sem nagrobnik postavila pod kolo tovornjaka. Upoštevala sem, da nagrobnik v temeljnih tleh leži.



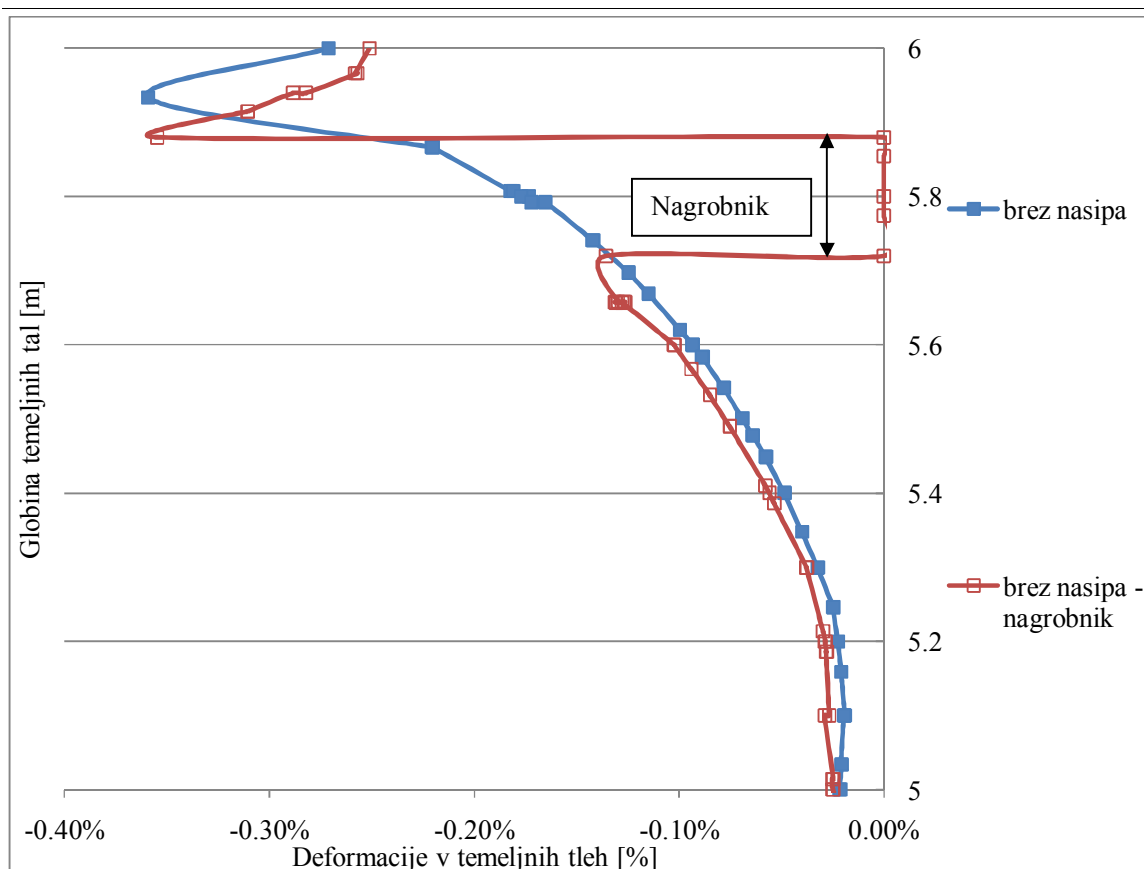
Slika 93: Skica položaja nagrobnika v temeljnih tleh pod obtežbo tovornjaka brez zaščitnega nasipa

### 5.9.1 Vpliv togosti najdb v glinenih temeljnih tleh

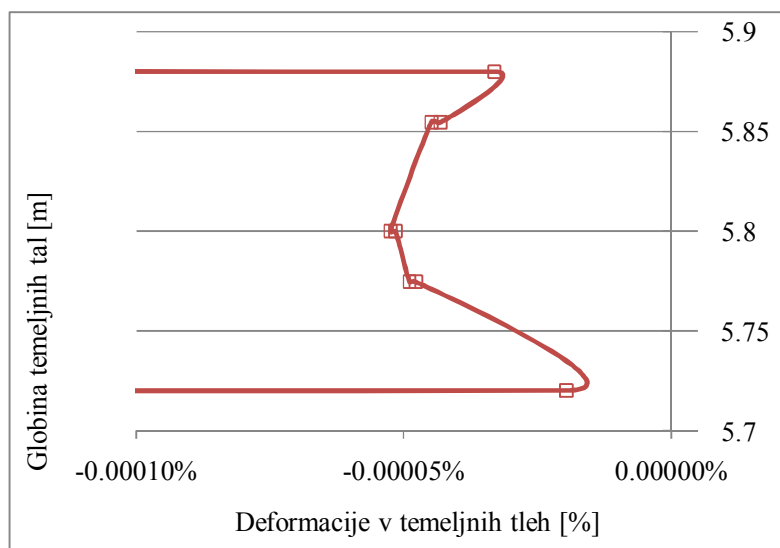
Največja verjetnost za poškodbe najdb je v primeru, ko niso zaščitene z nasipom. Zato bom preverila, kako se deformira kamniti nagrobnik v takem primeru. Nagrobnik leži blizu površja (8 cm pod površino), saj so tam največje deformacije. Na označenih prerezih sem odčitala deformacije, ki sem jih primerjala s tistimi, ko v temeljnih tleh ni nagrobnika.



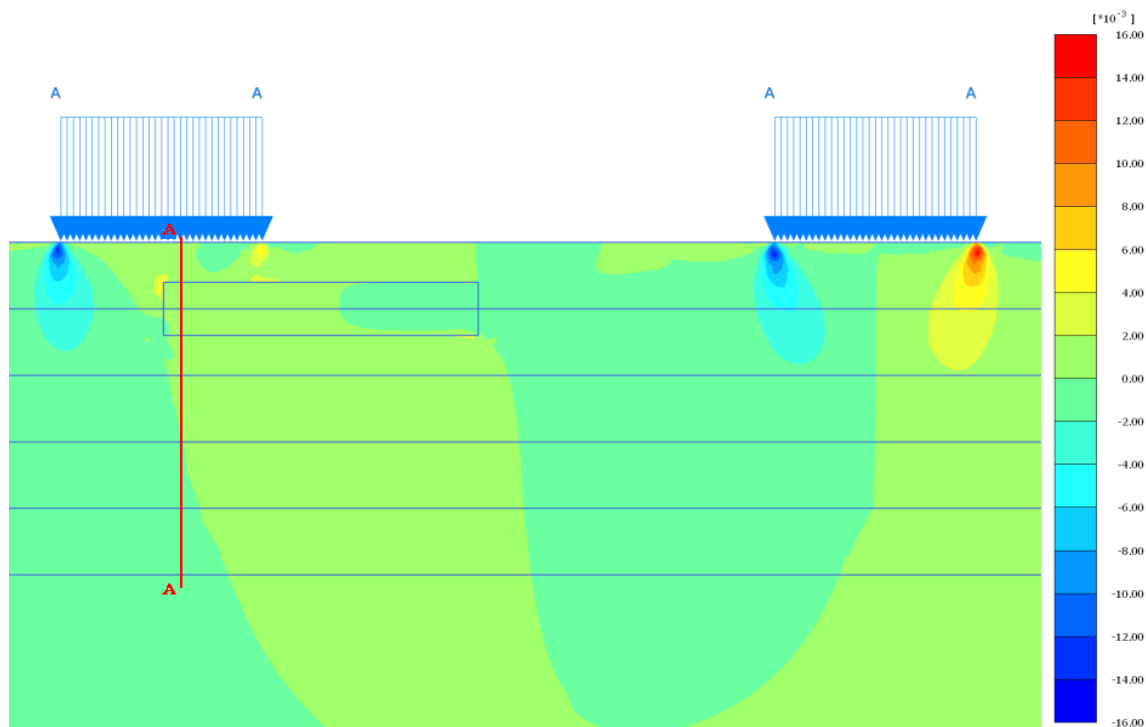
Slika 94: Volumske deformacije, ko je v glinenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik



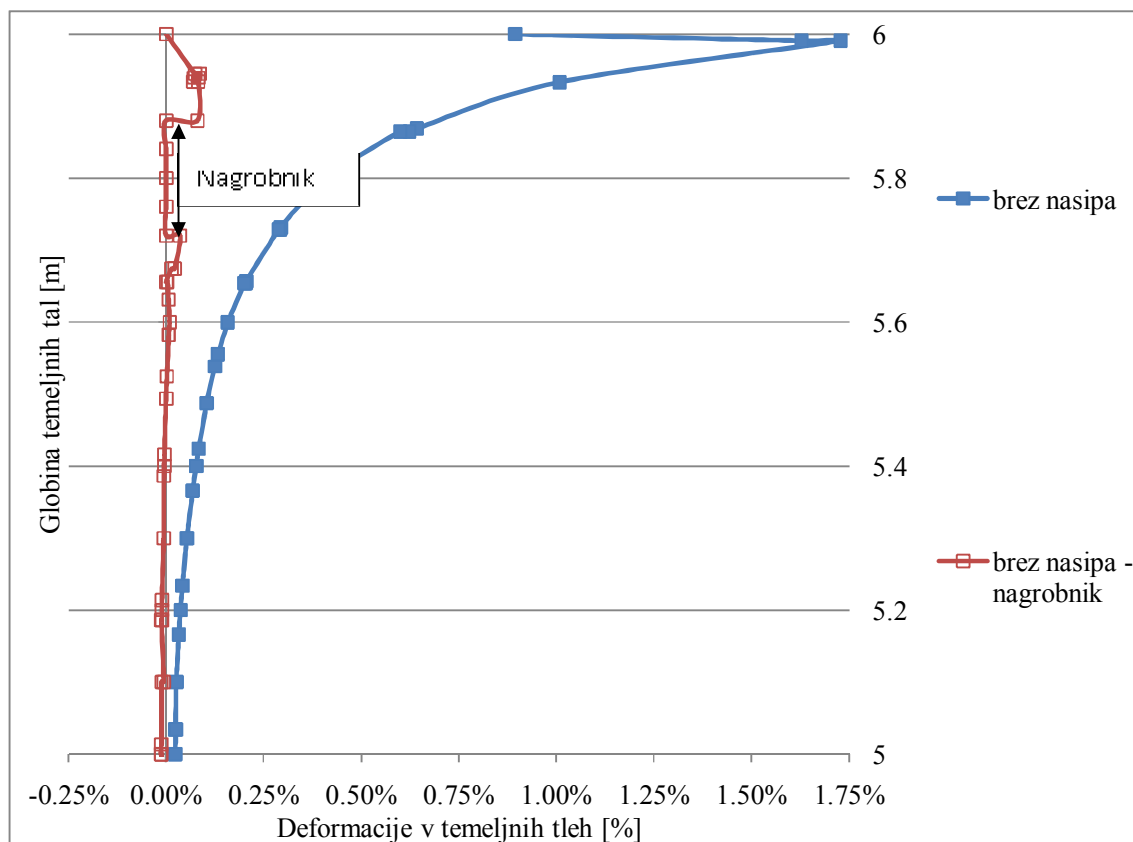
Slika 95: Primerjava volumskih deformacij v glinenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika



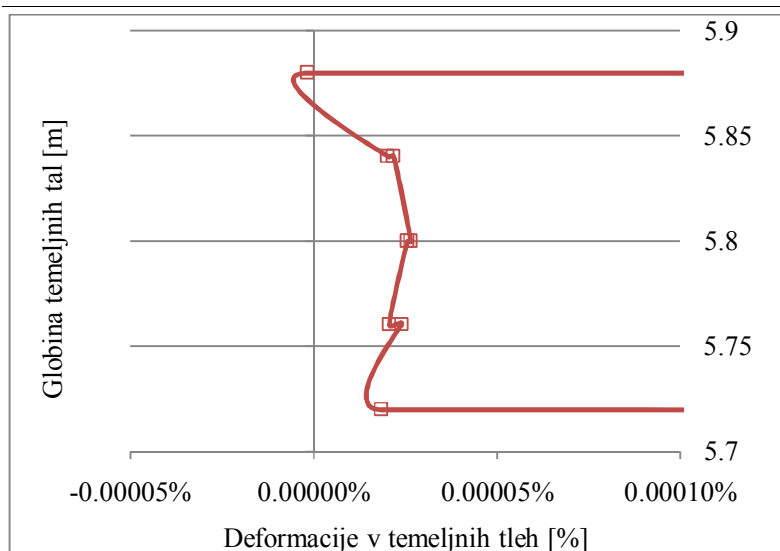
Slika 96: Povečan prikaz volumskih deformacij v območju nagrobnika



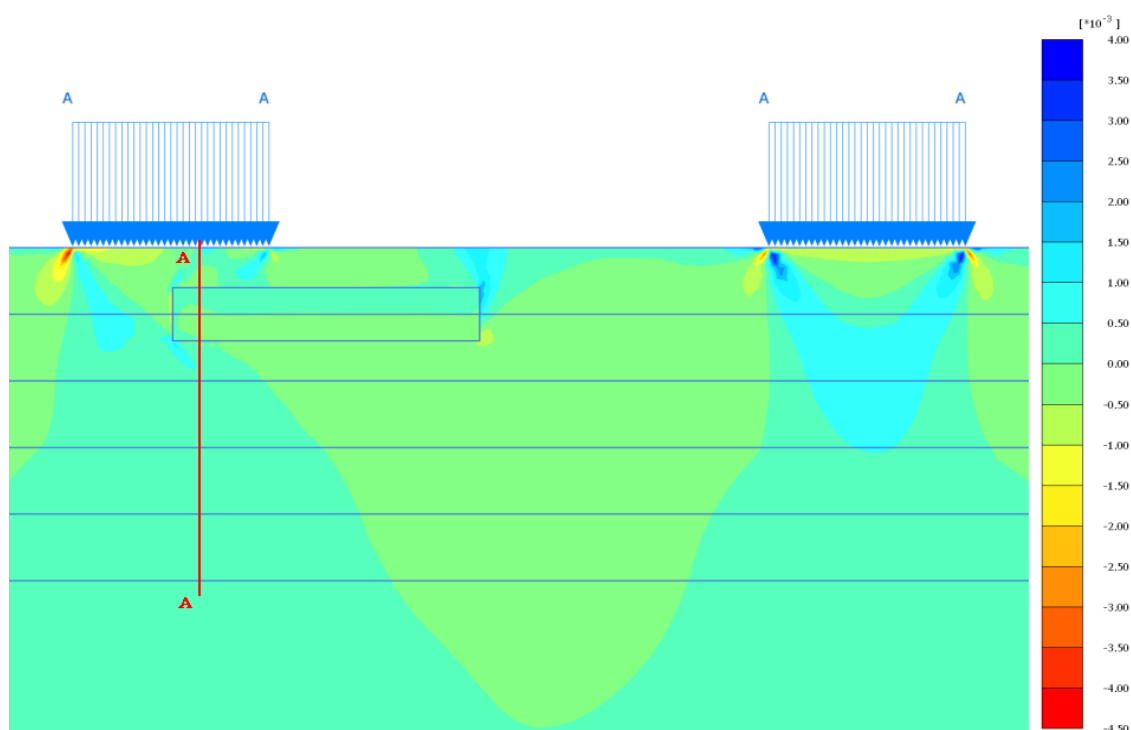
Slika 97: Strižne deformacije, ko je v glinenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik



Slika 98: Primerjava strižnih deformacij v glinenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika

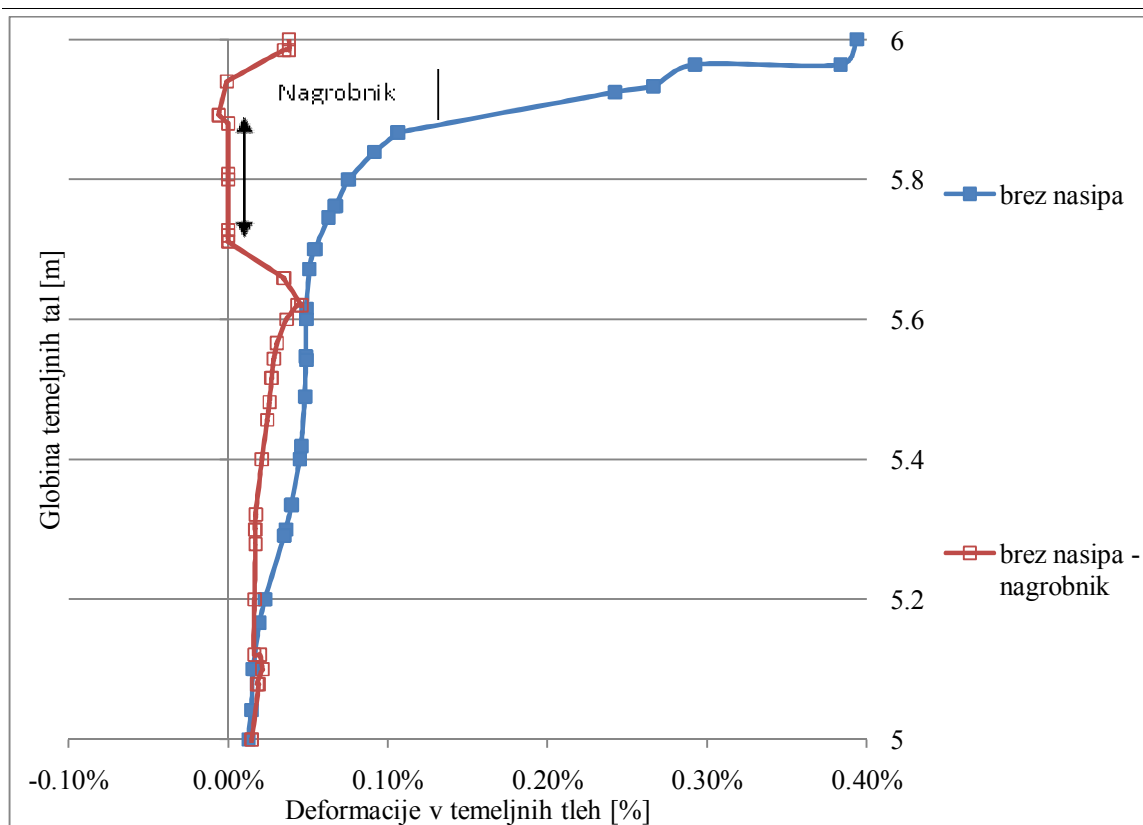


Slika 99: Povečan prikaz strižnih deformacij v območju nagrobnika

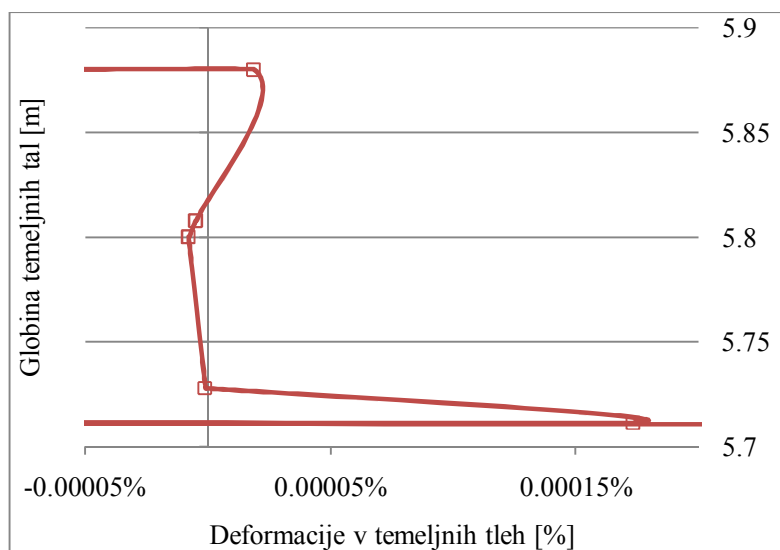


Slika 100: Horizontalne deformacije, ko je v glinenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik

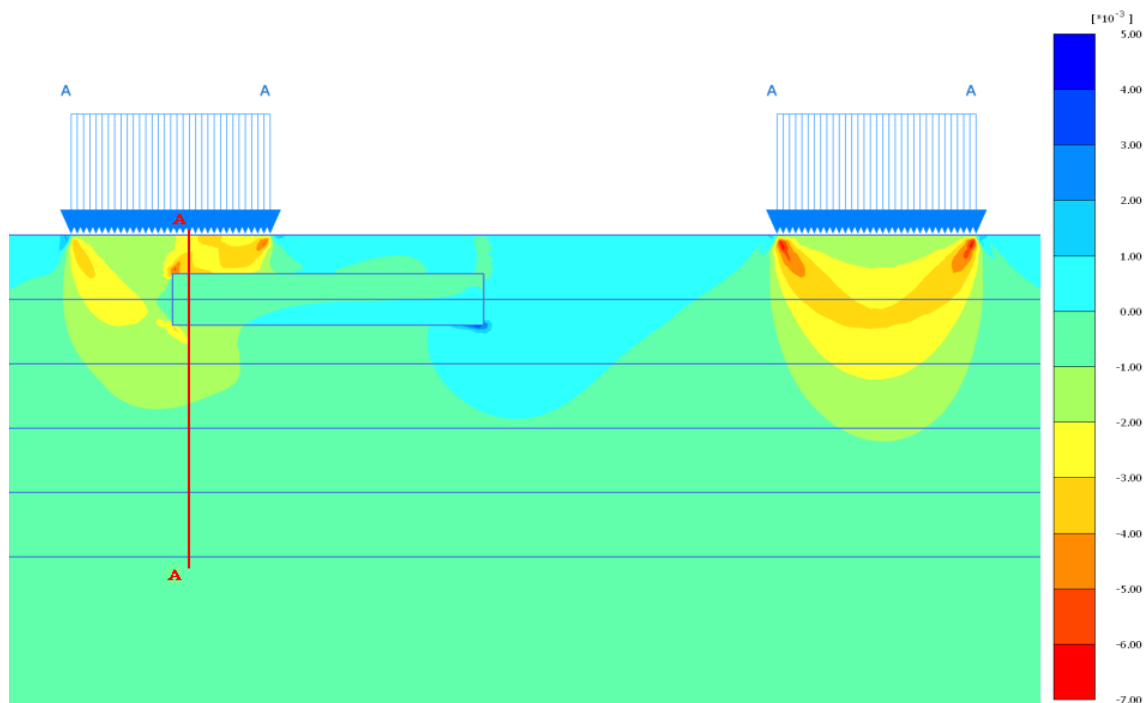




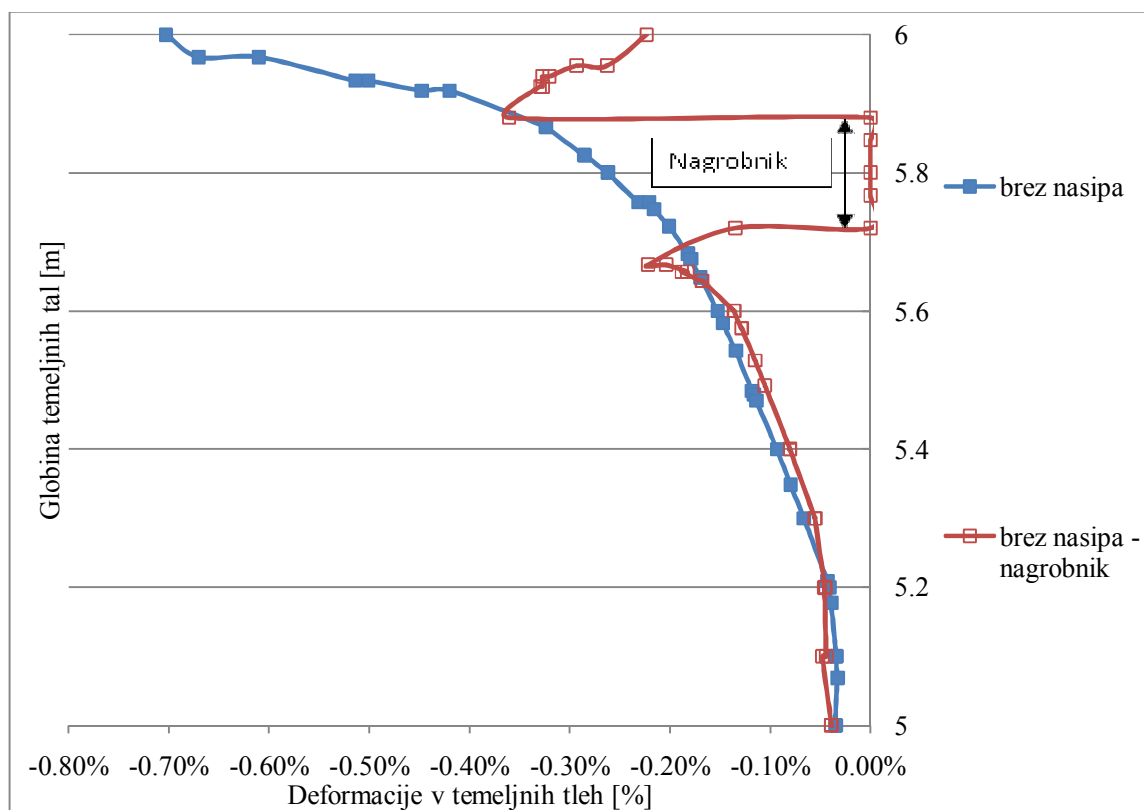
Slika 101: Primerjava horizontalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika



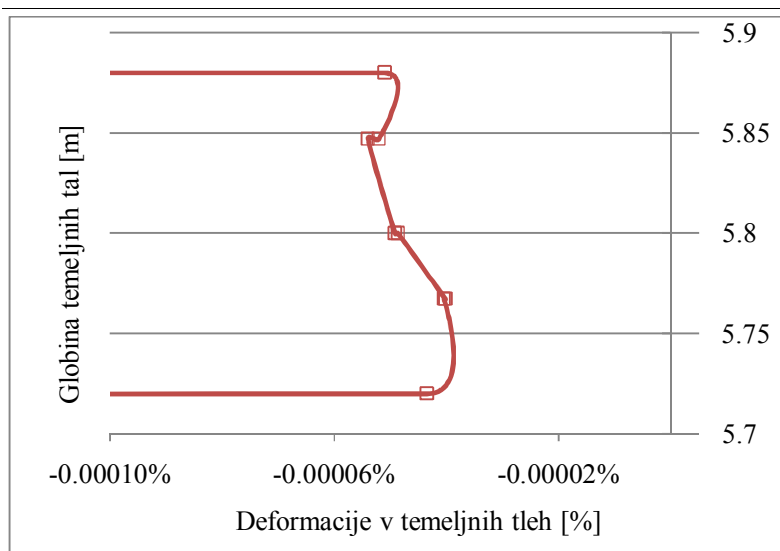
Slika 102: Povečan prikaz horizontalnih deformacij v območju nagrobnika



Slika 103: Vertikalne deformacije, ko je v glinenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik



Slika 104: Primerjava vertikalnih deformacij v glinenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika

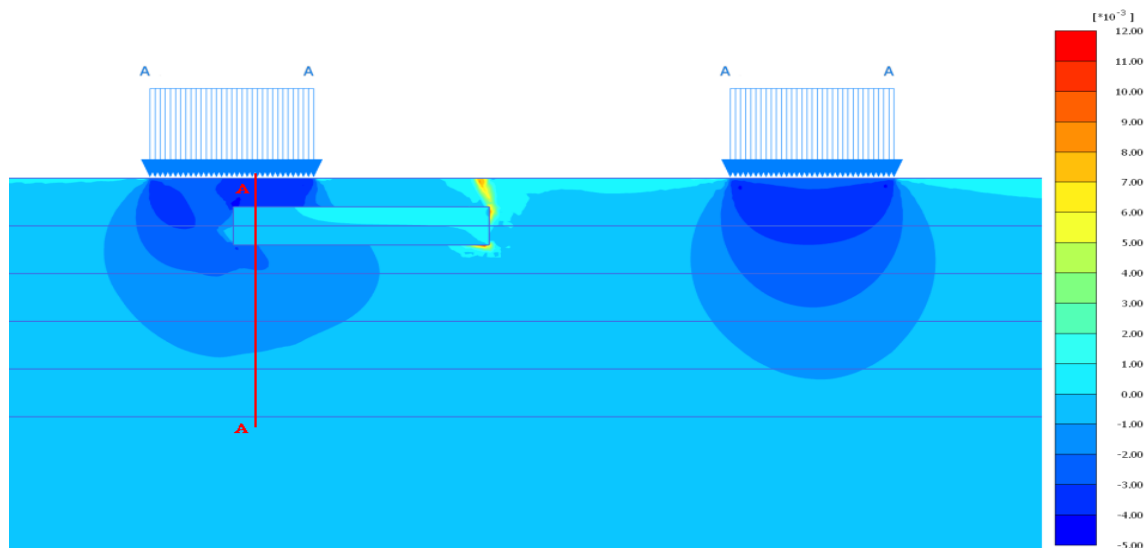


Slika 105: Povečan prikaz vertikalnih deformacij v območju nagrobnika

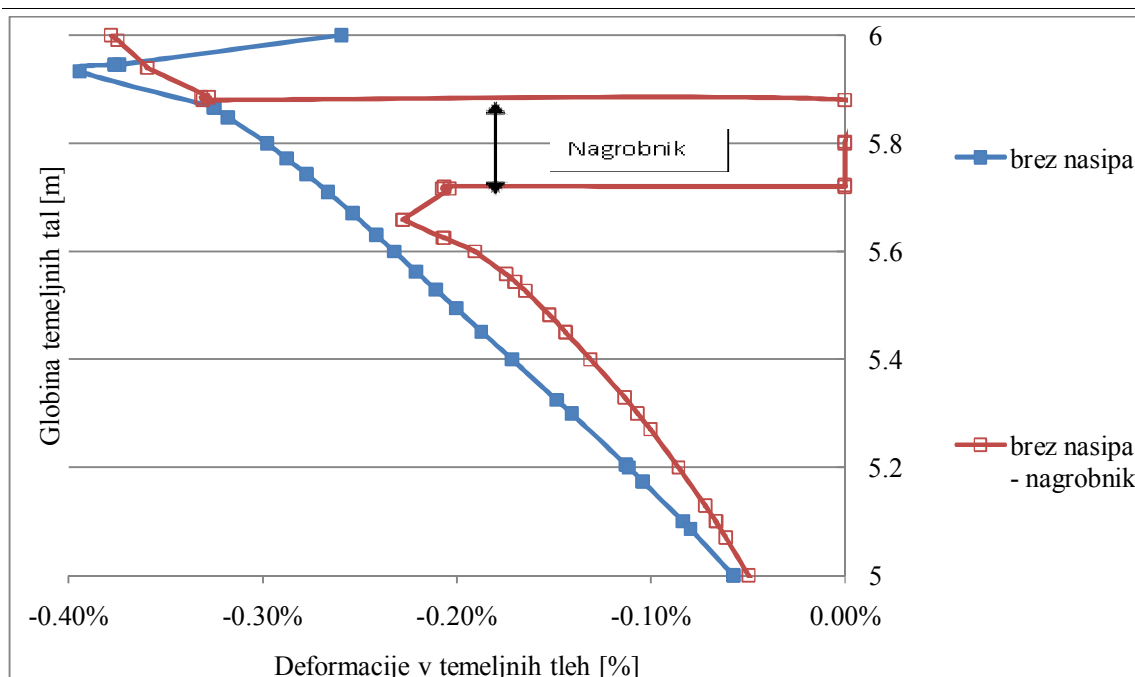
Na zgornjih slikah vidimo, da se kamniti nagrobnik ne bo poškodoval, tudi če zaščitni nasip ni zgrajen. S svojo togostjo je tudi zmanjšal deformacije v zemljini v okolici. Na povečanih prikazih vidimo, da deformacije v nagrobniku nastanejo, vendar so zelo majhne.

### 5.9.2 Vpliv togosti najdb v peščenih temeljnih tleh

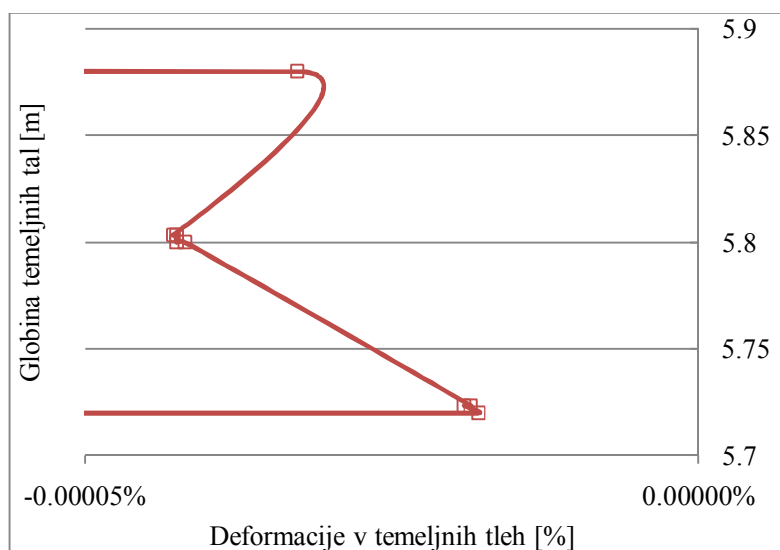
Preverila bom tudi, kakšen je vpliv kamnitega nagrobnika v peščenih temeljnih tleh, kjer so deformacije večje kot v glinenih temeljnih tleh. Lastnosti in položaj nagrobnika sta enaka kot v zgornji analizi.



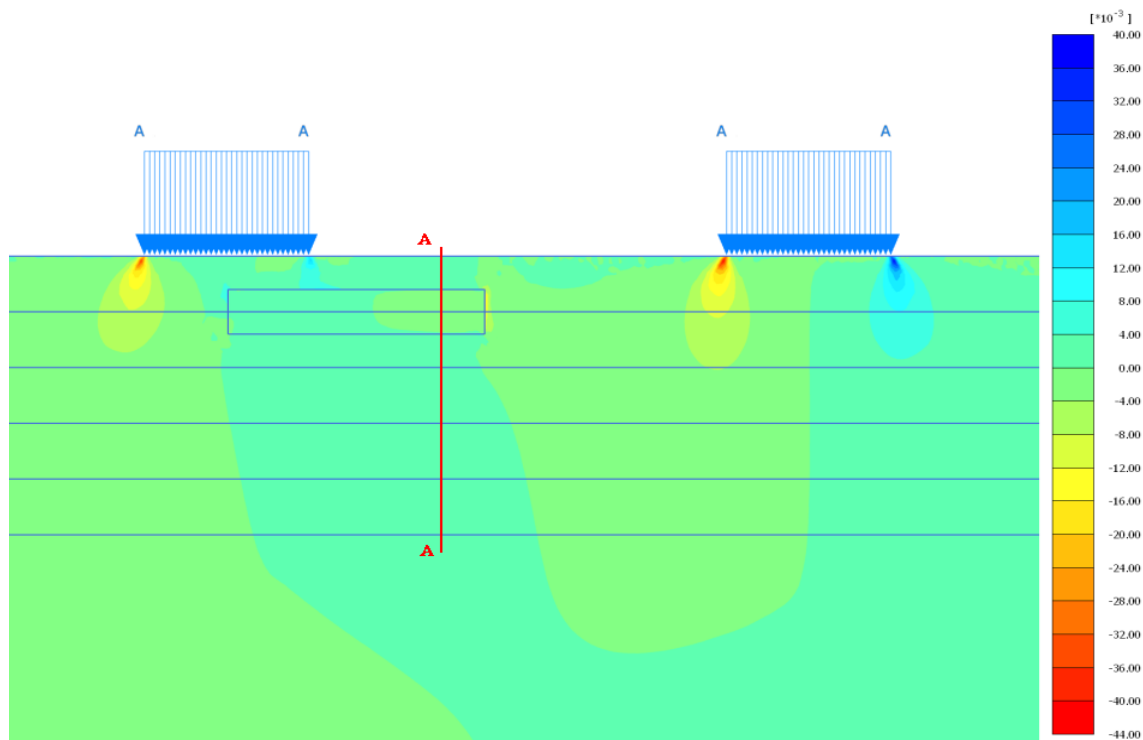
Slika 106: Volumske deformacije, ko je v peščenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik



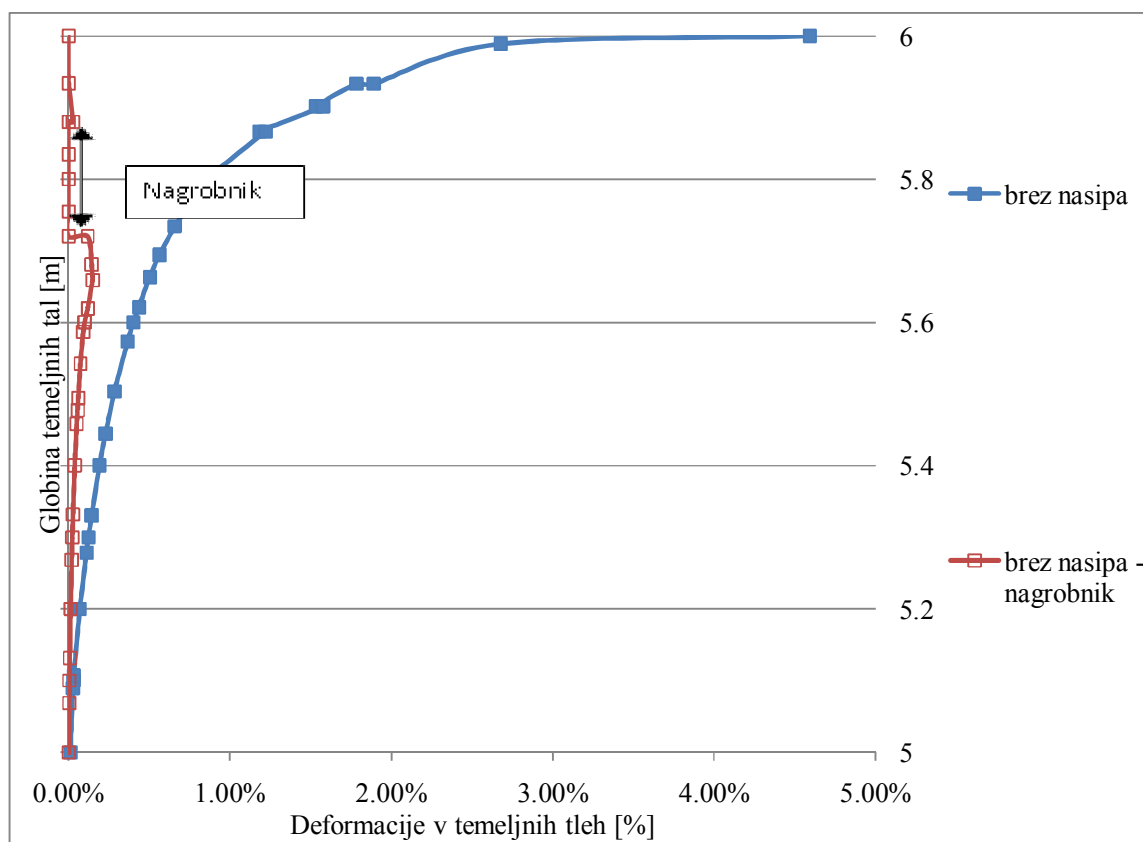
Slika 107: Primerjava volumskih deformacij v peščenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika



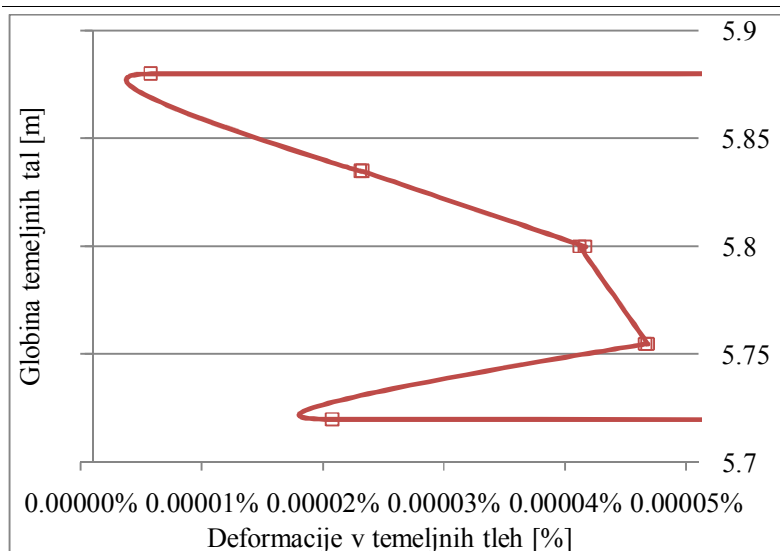
Slika 108: Povečan prikaz volumskih deformacij v območju nagrobnika



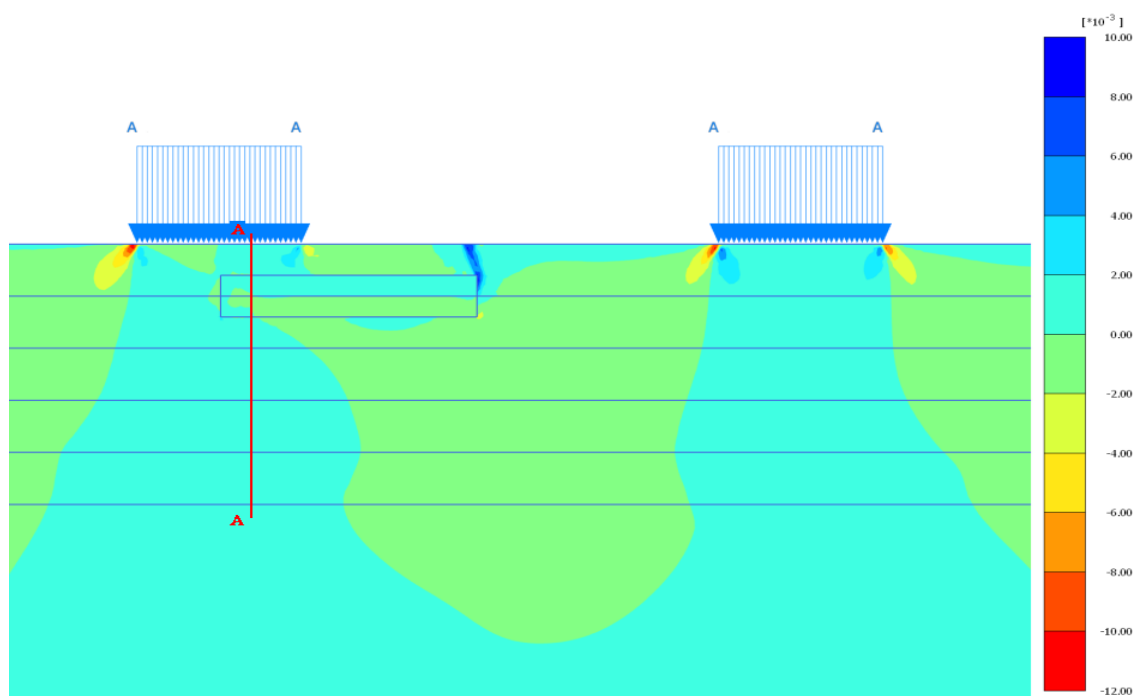
Slika 109: Strižne deformacije, ko je v peščenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik



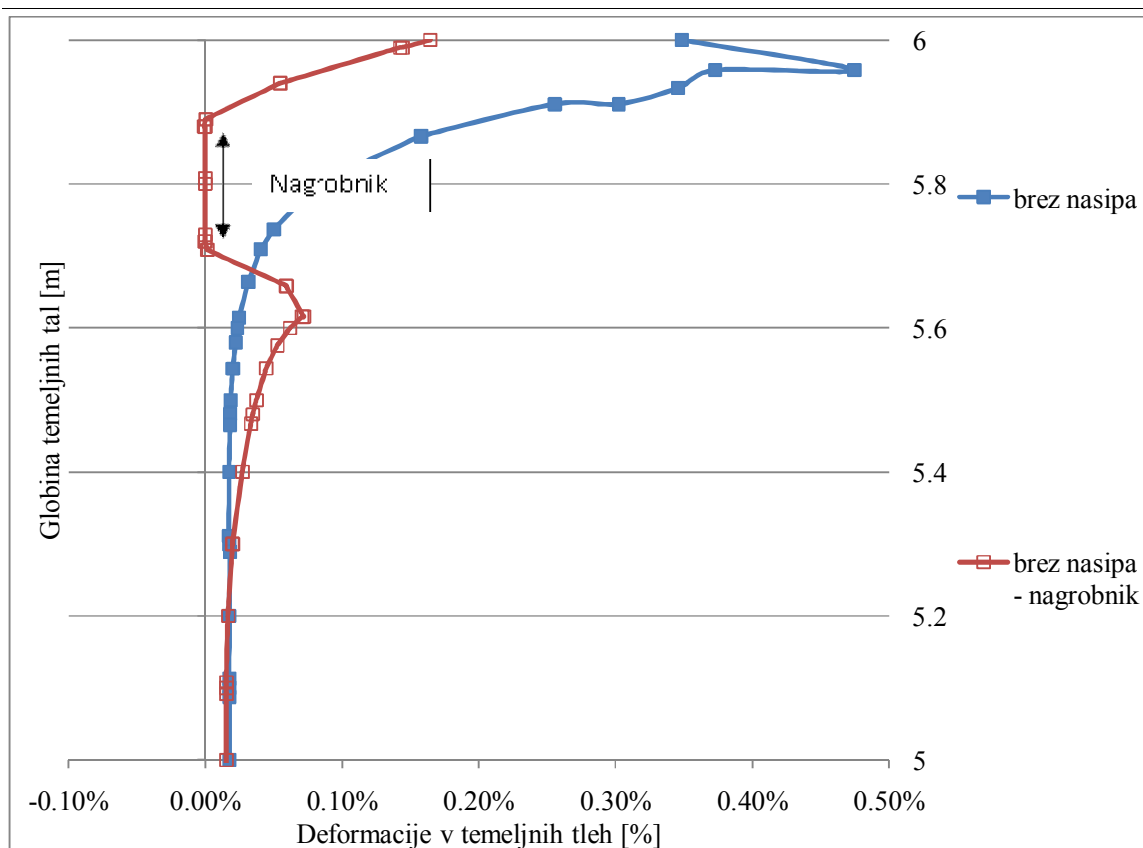
Slika 110: Primerjava strižnih deformacij v peščenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika



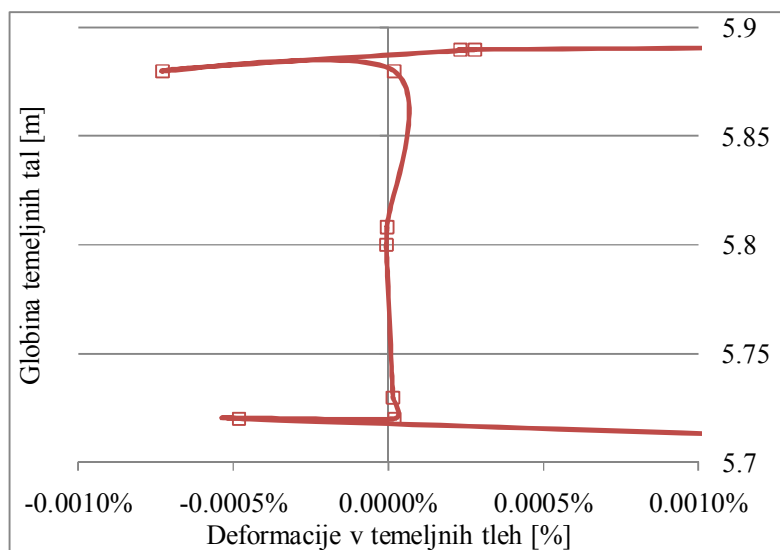
Slika 111: Povečan prikaz strižnih deformacij v območju nagrobnika



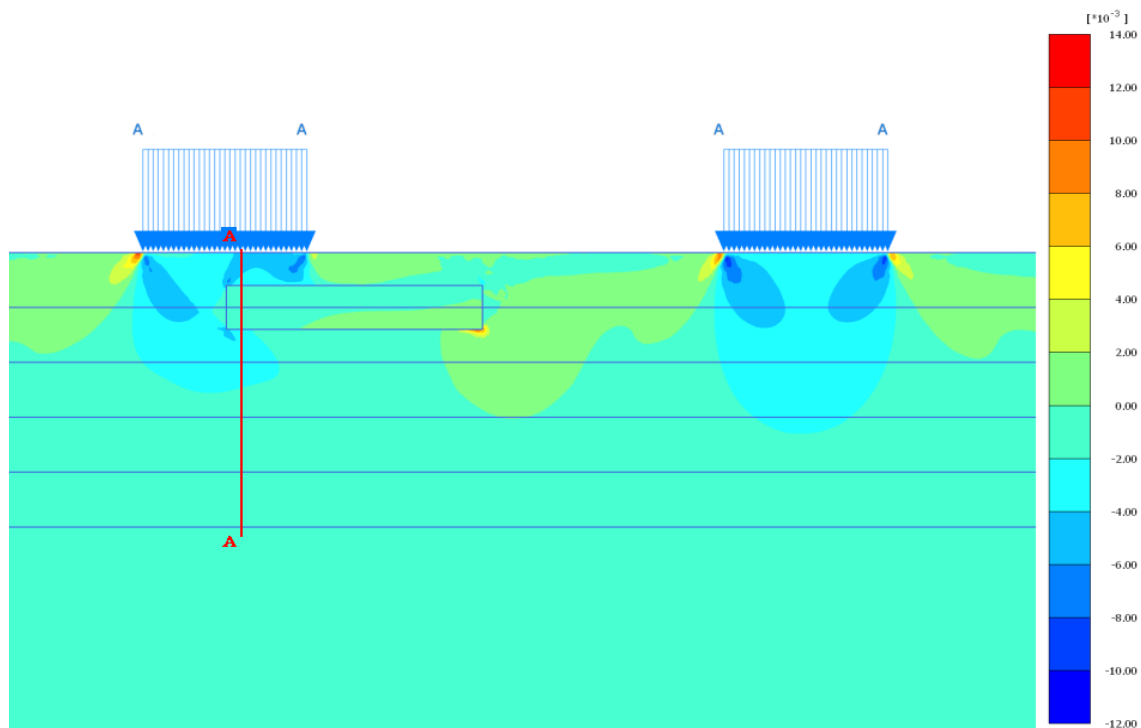
Slika 112: Horizontalne deformacije, ko je v peščenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik



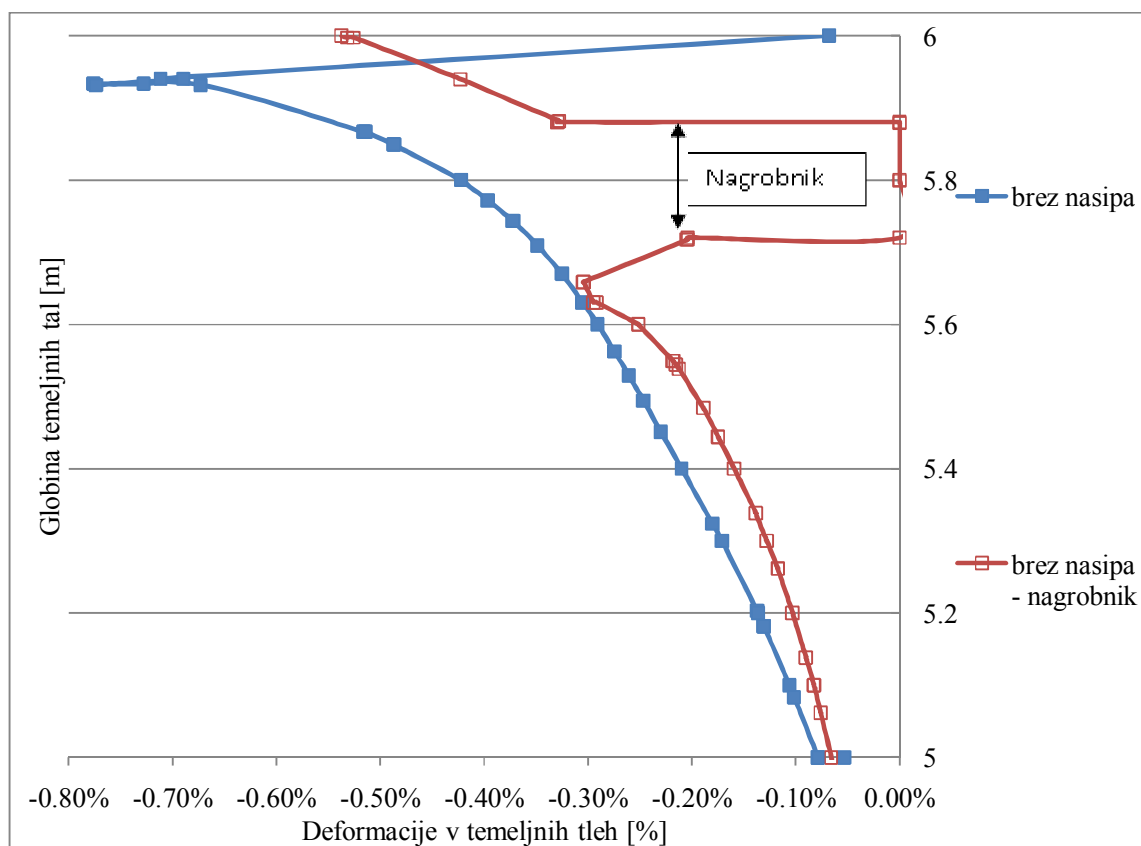
Slika 113: Primerjava horizontalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika



Slika 114: Povečan prikaz horizontalnih deformacij v območju nagrobnika

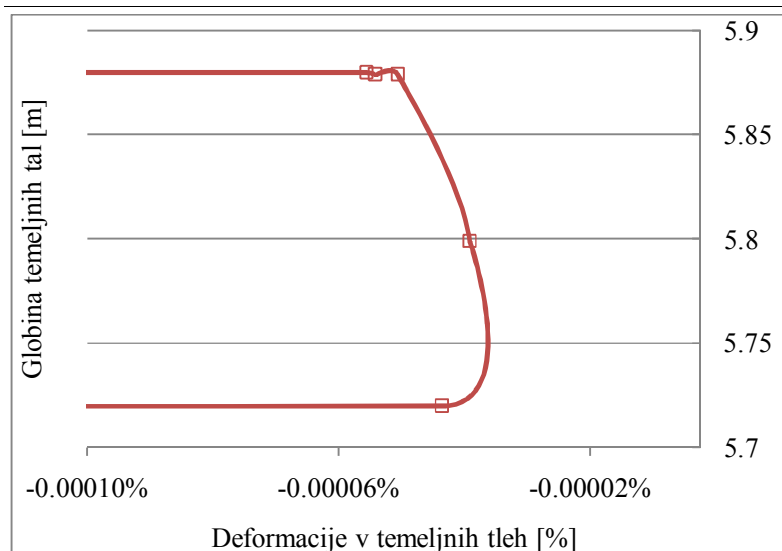


Slika 115: Vertikalne deformacije, ko je v peščenih temeljnih tleh kamniti nagrobnik



Slika 116: Primerjava vertikalnih deformacij v peščenih temeljnih tleh z/brez nagrobnika





Slika 117: Povečan prikaz vertikalnih deformacij v območju nagrobnika

Tudi v peščenih tleh se kamniti nagrobnik ne bi poškodoval, saj ima večjo togost kot zemljina okoli njega in se zato manj deformira. Najbolj opazno je zmanjšanje volumskih in vertikalnih deformacij v območju nagrobnika. Horizontalne in strižne deformacije so tik pod površino manjše predvsem zaradi tega, ker so merjene v drugem prerezu, kamniti nagrobnik jih ne zmanjša tako veliko. Se pa vidi, da ga tudi te deformacije ne morejo poškodovati. Na povečavah je prikazano, da se nagrobnik zelo malo deformira.

## 6 ZAKLJUČEK

Primernost prekrivanja kot varovanja arheoloških najdišč in situ sem preverila s pomočjo računalniškega programa Plaxis. Rezultati so pokazali, da je izbira optimalne višine zaščitnega sloja odvisna od več faktorjev: globine, v kateri se najdba nahaja, vrste in smeri deformacije, vrste nasipnega materiala, uporabe geosintetikov. Tako sem posebej določila višino nasipa na peščenih in glinenih tleh, nato pa še glede na vrsto nasipnega materiala. Pod temi izbranimi višinami sem preverila še vpliv delovanja geosintetikov. Po primerjavi rezultatov sem ugotovila, da je metoda prekrivanja primerna za varovanje arheoloških najdb. V zgornjih analizah sem izračunala, da se brez zaščitnega nasipa v glinenih temeljnih tleh poškodujejo vse najdbe v zgornji polovici (0,5 m) obravnavanega prereza, v peščenih temeljnih tleh pa se najdbe poškodujejo v celotnem prerezu. S prekrivanjem se deformacije v temeljnih tleh zmanjšajo. Po izgradnji nasipa:

- iz običajnega materiala so se deformacije v temeljnih tleh zmanjšale po celotnem prerezu in v obeh primerih temeljnih tal,
- z uporabo materiala z manjšo prostorninsko težo za gradnjo zaščitnega nasipa, po celotnem prerezu v obeh primerih temeljnih tal so nastale še manjše deformacije,
- po namestitvi geosintetikov pod nasip se deformacije zmanjšajo v zgornji polovici obravnavanega prereza, nižje ne vplivajo na deformacije. Ker so v višjih slojih temeljnih tal večje deformacije, je tudi ta delni učinek koristen.

S primerno izbranim zaščitnim slojem (višina, vrsta materiala, geosintetik) lahko deformacije zmanjšamo tako, da se najdbe ne poškodujejo oz. da so poškodbe čim manjše. Višina nasipa, ki je potreben za varovanje najdbe, je odvisna tudi od globine, v kateri se nahajajo najdbe. Večja verjetnost za poškodbo najdb bo v zgornjem delu temeljnih tal, kjer so deformacije največje. Z globino se deformacije nižajo, najdbe pa so z višjimi sloji temeljnih tal dodatno zaščitene pred vplivi.

V dejanskih razmerah bi bilo potrebno upoštevati namen rabe prostora nad najdbami ter ekonomičnost. Vse optimalne višine nasipov sem določila samo na podlagi velikosti deformacij, ki nastanejo v temeljnih tleh. Analize kažejo, da na rezultate vplivajo mnogi parametri, kar pomeni, da je za realne projekte varovanja arheoloških najdišč nujno izvesti namenske raziskave lastnosti tal ter specifične analize glede na vse značilnosti najdišča. Za bolj natančno obravnavo bi bilo potrebno upoštevati tudi vibracije in druge vplive, ki nastanejo med gradnjo nasipa, vendar pa je to presegalo okvir tega diplomskega dela.

Prekrivanje kot način varovanja in situ ima številne prednosti, med katerimi so: časovni in denarni prihranek v primerjavi z arheološkimi izkopavanji, varovanje pred umetnimi procesi, kot so vandalizem, pljenje in vse razvojne dejavnosti, preprečena površinska erozija najdišča, lahko

---

preprečimo zmrzovanje in tajanje, nova površina nudi razbremenitev zaradi absorbiranega kislega dežja in zaščito pred dežjem, ponovna vegetacija utrdi površine, razširimo možnost uporabe nove površine.

Da bi dobili dejanski vpogled v obnašanje tal in najdb v tleh po zgraditvi zaščitnega sloja, bi bilo dobro narediti poskusno polje v naravi. Merjene deformacije bi lahko primerjali z izračunanimi in tako preverili računski predvidevanja.

## VIRI

- [1] Djurić, B. 2007. Preventive archaeology and archaeological service in Slovenia, European preventive archaeology: papers of the EPAC Meeting, Vilnius 2004 / edited by Katalin Bozóki-Ernyey, [S. l.] : National Office of Cultural Heritage, Hungary - Council of Europe, 2007
- [2] Thorne, R. M., Reams, M. H. 1991. Preservation Is a Use : Archaeological Site Stabilization and Protection as Primary Means of Reducing Resources Damage and Destruction. *The Public Historian*, Vol. 13, No. 3, Preservation Technology pp. 139-145.
- [3] Thorne, R. M. 1989. Intentional Site Burial: A Technique to Protect Against Natural and Mechanical Loss. Technical Brief 5. Washington, D.C.: U. S. Department of the Interior, National Park Service Archeology Program. DOI Departmental Consulting Archeologist/NPS Archeology Program, National Park Service, Washington, DC.
- [4] Nickens, P. R. 2001. Technologies for In-Place Protection and Long Term Conservation of Archaeological Sites. *Archives and Museum Informatics* 13: 383-405, 1999/2001.
- [5] Jones, K. L. 2007. Caring for archaeological sites Practical guidelines for protecting and managing archaeological sites in New Zealand. Wellington, Science and technical publishing, Department of conservation: 60-62.
- [6] Zakon o varstvu kulturne dediščine (ZVKD). Uradni list RS št. 16/2008: 1121, 1122, 1129.
- [7] Zakon o ratifikaciji Evropske konvencije o varstvu arheološke dediščine (spremenjene) (MEKVAD). Uradni list RS št. 24/1999: 185, 186.
- [8] Coduto, D. P., Yeung, M. R., Kitch, W., A. 2011. Geotechnical engineering: principles and practices. Boston, Pearson: 86,87, 212-234, 255-261.
- [9] Geološki zavod Slovenije. 2008.  
<http://www.geo-zs.si/podrocje.aspx?id=49> (Pridobljeno 6. 8. 2011).
- [10] Pedološke karte in pedološki profili. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje. 2007.  
<http://rkg.gov.si/GERK/> (Pridobljeno 6. 8. 2011).

[11] Mehanika tal. Laboratorijske vaje – lastnosti zemljin.

[http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/VKI-UNI/MT/Vaje%20in%20priloge/2%20lab\\_vaja.pdf](http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/VKI-UNI/MT/Vaje%20in%20priloge/2%20lab_vaja.pdf)

(Pridobljeno 6. 8. 2011).

[12] Logar, J. Priprava temeljnih tal.

<http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal-gradiva/Gradiva%20za%20vec%20predmetov/Skripta%20Janko%20Logar/Gradnja%20nasipov.pdf>

(Pridobljeno 6. 8. 2011).

[13] Petkovšek, A. Geosintetiki – ali jih znamo pravilno uporabljati?

[http://www.ravago.si/docs/geosintetiki\\_ali\\_jih\\_znamo\\_pravilno\\_uporabljati.pdf](http://www.ravago.si/docs/geosintetiki_ali_jih_znamo_pravilno_uporabljati.pdf) (Pridobljeno 12. 8.

2011).

[14] Napetosti v temeljnih tleh.

<http://gradbenik.files.wordpress.com/2010/01/3-napetosti-v-polprostoru.pdf> (Pridobljeno 8. 8. 2011).

[15] Material models manual. 2010.

[http://www.plaxis.nl/files/files/2D2010-3-Material-Models\\_02.pdf](http://www.plaxis.nl/files/files/2D2010-3-Material-Models_02.pdf) (Pridobljeno 8. 9. 2011).

[16] Jovičić, V. Meritve in interpretacija togosti tal pri majhnih specifičnih deformacijah.

<http://www.sloged.si/LinkClick.aspx?fileticket=p6Hs%2BD69gAE%3D&tabid=127> (Pridobljeno 8. 9.

2011).

[17] Mini Hydraulic excavator.

[http://www.norfolkplanthire.co.uk/Documents/CAT%20301\\_6C%20-%20Mini%20Digger.pdf](http://www.norfolkplanthire.co.uk/Documents/CAT%20301_6C%20-%20Mini%20Digger.pdf)

(Pridobljeno 6. 8. 2011).

[18] Articulated Dump Truck.

<http://www.jcb.com/products/MachineProduct.aspx?RID=9&PID=71> (Pridobljeno 6. 8. 2011).

[19] Mechanical properties of bones.

[http://www.feppd.org/ICB-ent/campus/biomechanics\\_in\\_dentistry/ldv\\_data/mech/basic\\_bone.htm](http://www.feppd.org/ICB-ent/campus/biomechanics_in_dentistry/ldv_data/mech/basic_bone.htm)

(Pridobljeno 26. 9. 2011)

[20] Srpčič, S. 2003. Mehanika trdnih teles. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 297-299, 314.

[21] Žarnić, R. 2005. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 45, 61, 67, 68, 73, 141, 142, 171, 173, 259.

[22] Debeljak, I. Arheozoologija. 2008.

<http://arheologija.ff.uni-lj.si/studij/gradivo/zoo/Arheozoologija.pdf> (Pridobljeno 1. 10. 2011)

[23] Young Modulus of Elasticity for Metals and Alloys.

[http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d\\_773.html](http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_773.html) (Pridobljeno 26. 9. 2011)

[24] Modulus of Elasticity, Strength Properties of Non- metals Ultimate Strength, Yield Strength, Modulus of Elasticity.

[http://www.engineersedge.com/manufacturing\\_spec/strength\\_properties\\_non\\_ferrous\\_metals.htm](http://www.engineersedge.com/manufacturing_spec/strength_properties_non_ferrous_metals.htm)

(Pridobljeno 26. 9. 2011)

[25] [http://www.essom.com/backend/data-file/engineer/engin23\\_1.pdf](http://www.essom.com/backend/data-file/engineer/engin23_1.pdf) (Pridobljeno 26. 9. 2011)

[26] Shear strength of materials.

[http://www.roymech.co.uk/Useful\\_Tables/Matter/shear\\_tensile.htm](http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Matter/shear_tensile.htm) (Pridobljeno 26. 9. 2011)

[27] Wikipedija. Natezna trdnost.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Tensile\\_strength](http://en.wikipedia.org/wiki/Tensile_strength) (Pridobljeno 26. 9. 2011)

[28] Wikipedija. Strižni modul.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Shear\\_modulus](http://en.wikipedia.org/wiki/Shear_modulus) (Pridobljeno 26. 9. 2011)

[29] Mehanske lastnosti lesa. Napetost in deformacija.

[http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/09\\_Mehanske\\_lastnosti\\_lesa.pdf](http://les.bf.uni-lj.si/uploads/media/09_Mehanske_lastnosti_lesa.pdf) (Pridobljeno 26. 9. 2011)

[30] Askeland, D. R., Fulay, P. P., Wendelin, W. J. 2010. The Science and Engineering of Materials. Congage Learning, Stamford: 575.

[31] [http://higheredbcs.wiley.com/legacy/college/callister/0470125373/sa/ch\\_07.html](http://higheredbcs.wiley.com/legacy/college/callister/0470125373/sa/ch_07.html) (Pridobljeno 18. 2. 2012)

[32] Metallurgy and material engineering.

<http://met-engineering.blogspot.com/2009/02/tension-test-3.html> (Pridobljeno 18. 2. 2012)

- [33] Singh, R. Introduction to basic manufacturing processes and workshop technology. 2006.  
<http://books.google.si/books?id=zQmoRhFyirEC&pg=PA123&lpg=PA123&dq=stress-strain+curve+for+wrought+iron+-cast&source=bl&ots=R-hLWHfmjO&sig=KiwXQQOsUcoiWZDMNFIOAHpawrY&hl=sl&sa=X&ei=Pi9BT77zKorAswbe7Nm6BA&ved=0CCcQ6AEwAQ#v=onepage&q=stress-strain%20curve%20for%20wrought%20iron%20-cast&f=false> (Pridobljeno 18. 2. 2012)
- [34] <http://people.exeter.ac.uk/TWDavies/solid%20mechanics/lecture%202/Lecture%202.htm>  
(pridobljeno: 18.2.2012)
- [35] Some Useful Numbers on the Engineerin Properties of Materials (Geologic and Otherwise).  
<http://www.stanford.edu/~tyzhu/Documents/Some%20Useful%20Numbers.pdf> (Pridobljeno: 26. 1. 2012)
- [36] Slovenski muzeji in galerije. Nagrobna plošča za Kvinkta.  
[http://www.google.si/imgres?imgurl=http://museums.si/Documents/ARTWORKS/kpm/10064/99b5d24ffba24468885c322e831c5837\\_max\\_130x80.jpg&imgrefurl=http://museums.si/Search/advanced/objectsearch%3Fcollection%3DArheologija&usq=\\_\\_zYC45Pii0cnyaKQ7wnM2XCAqfOs=&h=80&w=87&sz=10&hl=sl&start=10&sig2=ripifKwKXltiBwQaZTUQTA&zoom=1&tbnid=9SKYvIJ7ACTuwM:&tbnh=71&tbnw=77&ei=-w0nT6GTMI8-Qae54TmCg&prev=/search%3Fq%3Dnagrobna%2Bplo%25C5%25A1%25C4%258Da%2Bdimenzije%2B-ponudba%2B-kamnosek%2B-zaloga%2B-produkt%26um%3D1%26hl%3Dsl%26sa%3DN%26gbv%3D2%26tbnid%3Disch&um=1&itbs=1](http://www.google.si/imgres?imgurl=http://museums.si/Documents/ARTWORKS/kpm/10064/99b5d24ffba24468885c322e831c5837_max_130x80.jpg&imgrefurl=http://museums.si/Search/advanced/objectsearch%3Fcollection%3DArheologija&usq=__zYC45Pii0cnyaKQ7wnM2XCAqfOs=&h=80&w=87&sz=10&hl=sl&start=10&sig2=ripifKwKXltiBwQaZTUQTA&zoom=1&tbnid=9SKYvIJ7ACTuwM:&tbnh=71&tbnw=77&ei=-w0nT6GTMI8-Qae54TmCg&prev=/search%3Fq%3Dnagrobna%2Bplo%25C5%25A1%25C4%258Da%2Bdimenzije%2B-ponudba%2B-kamnosek%2B-zaloga%2B-produkt%26um%3D1%26hl%3Dsl%26sa%3DN%26gbv%3D2%26tbnid%3Disch&um=1&itbs=1)  
(Pridobljeno: 26. 1. 2012)