

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Ajeti Daris, A., 2013. Uporaba armaturnih geosintetikov pri geotehničnih gradnjah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J.): 97 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Ajeti Daris, A., 2013. Uporaba armaturnih geosintetikov pri geotehničnih gradnjah. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J.): 97 pp.

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

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
SMER OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

SAMIR AJETI DARIS

**UPORABA ARMATURNIH GEOSINTETIKOV PRI
GEOTEHNIČNIH GRADNJA**

Diplomska naloga št.: 495/SOG

**USE OF REINFORCING GEOSYNTHETICS IN
GEOTECHNICAL ENGINEERING**

Graduation thesis No.: 495/SOG

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Predsednik komisije:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Član komisije:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

doc. dr. Simon Schnabl

Ljubljana, 29. 11. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

| Stran z napako | Vrstica z napako | Namesto | Naj bo |
|-----------------------|-------------------------|----------------|---------------|
|-----------------------|-------------------------|----------------|---------------|

IZJAVE

Podpisani **SAMIR AJETI DARIS** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»UPORABA ARMATURNIH GEOSINTETIKOV PRI GEOTEHNIČNIH GRADNJAH«.

Izjavljam, da je elektronska različica povsem enaka tiskani različici.

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

Ljubljana, 5.11.2013

Samir Ajeti Daris

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

| | |
|-------------------------|--|
| UDK: | 624.13:7.023.1(043.2) |
| Autor: | Samir Ajeti Daris |
| Mentor: | izr. prof. dr. Janko Logar |
| Naslov: | Uporaba armaturnih geosintetikov pri geotehničnih gradnjah |
| Tip dokumenta: | Diplomska naloga – visokošolski strokovni študij |
| Obseg in oprema: | 97 str., 11 pregl., 55 graf., 16 sl., 241 en. |
| Ključne besede: | Kratkotrajna natezna trdnost geosintetikov, odpornost pred izvlekom geosintetikov, nasip, nosilnost malonosilnih tal, podporna konstrukcija |

Izveček:

V diplomski nalogi sem naredil parametrično analizo in preveril, kako lahko izboljšamo nasip, malonosilna tla in podporno konstrukcijo z vgraditvijo geosintetikov. Za vse konstrukcije sem obrazložil tudi postopek izgradnje. Pri preverjanju parametričnih analiz sem sledil nemškemu priporočilu za načrtovanje armiranih zemljin z geosintetiki Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO). Konstrukcije sem preveril v mejnem stanju nosilnosti, pri čemer sem se osredotočil le na dokaze, ki so povezani z dimenzioniranjem geosintetikov. V primeru malonosilnih tal dokazi o vgraditvi geosintetikov zahtevajo projektiranje tudi glede na mejno stanje uporabnosti. Parametrično analizo sem naredil z računalniškim programom Excel, tako da sem variiral ustrezne strižne parametre v odvisnosti od drugih podatkov. Rezultate preiskav sem podal v obliki grafov. Za vse primere sem določil minimalno in maksimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov, minimalni kompozitni koeficient trenja med geosintetikom in tlemi, število geosintetičnih trakov in njihovo dolžino, ki jih je smotrno vgraditi v konstrukcijo.

BIBLIOGRAFIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 624.13:7.023.1(043.2)
Autor: Samir Ajeti Daris
Supervisor: Assoc. Prof. Janko Logar, Ph.D.
Title: Use of reinforcing geosynthetics in geotechnical engineering
Document type: Graduation Thesis – Higher professional studies
Notes: 97 p., 11 tab., 55 graph., 16 fig., 241 eq.
Key words: Short-term tensile strength of geosynthetics, Pull-out resistance of geosynthetics, embankment, capacity of soft soil, supporting structure

Abstract:

In this diploma, parametrical analysis was done and it was examined how to improve embankment, soft soil and supporting structure by installing geosynthetics. Building process for all structures was explained. When checking parametrical analysis, recommendation of the German design of reinforced earth with geosynthetics, Empfehlung für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO) was followed. Ultimate limit state of structures was checked with focus only on the proofs related to the dimensioning geosynthetics. In the case of soft soil, proof of installation geosynthetics requires the design according to serviceability limit state as well. Parametric analysis was performed by a computer program Excel, so the corresponding shear of parameters as a function of other data was varied. Results of the investigation are given in the form of graphs. For all cases, the minimum and maximum short-term tensile strength of geosynthetics, the minimum coefficient of friction between the composite geosynthetic and soil, the number of geosynthetic straps and a length that is expedient to fit into the design was set.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Janko Logarju za strokovno pomoč in vodenje.

Zahvalil bi se tudi svojim staršema, ki sta mi skozi leta študija nudila pomoč in mi pomagala vsak dan narediti lepši.

KAZALO VSEBINE

| | |
|--|-----------|
| 1 OSNOVE PREVERJANJA – MEJNO STANJE NOSILNOSTI | 1 |
| 2 GEOSINTETIKI | 4 |
| 2.1 Splošno o geosintetikih | 4 |
| 2.2 Uporaba geosintetikov | 4 |
| 2.3 Naloge geosintetikov v konstrukciji | 4 |
| 2.4 Odpornost ojačitvenih geosintetikov | 5 |
| 2.4.1 Natezna odpornost geosintetika (odpornost pred pretrgom) | 5 |
| 2.4.2 Odpornost geosintetika pred izvlekom | 8 |
| 2.4.3 Prenos napetosti med tlemi in geosintetikom | 9 |
| 3 NASIP NA MALONOSILNIH TLEH | 10 |
| 3.1 Opis | 10 |
| 3.2 Geometrija in podatki | 10 |
| 3.2.1 Nasip | 10 |
| 3.2.2 Tla | 11 |
| 3.2.3 Geosintetik | 11 |
| 3.3 Mejno stanje nosilnosti | 12 |
| 3.3.1 Globalna porušitev nasipa | 13 |
| 3.3.2 Dokaz pred iztiskom tal | 22 |
| 3.4 Izbira geosintetikov | 25 |
| 3.4.1 Natezna trdnost geosintetika $R_{B,d}$ | 25 |
| 3.4.2 Dokaz pred izvlekom geosintetikov iz zemljine $R_{A,d}$ | 26 |
| 3.5 Primer: Nasip na malonosilnih tleh | 29 |
| 3.6 Zaključek | 40 |
| 4 NOSILNOST TAL POD TEMELJEM | 41 |
| 4.1 Opis | 41 |
| 4.2 Geometrija in podatki | 42 |
| 4.2.1 Temelj | 42 |
| 4.2.2 Tla | 43 |
| 4.2.3 Geosintetik | 43 |

| | |
|--|-----------|
| 4.3 Dokaz nosilnosti tal in dokaz povprečne togosti tal | 43 |
| 4.3.1 Dokaz nosilnosti tal (STR) | 43 |
| 4.3.2 Dokaz povprečne togosti tal..... | 53 |
| 4.4 Izbira geosintetikov | 54 |
| 4.5 Primer: Temelj na armiranih nadomestnih tleh | 56 |
| 4.6 Zaključek | 67 |
| 5 PODPORNNA KONSTRUKCIJA | 68 |
| 5.1 Opis..... | 68 |
| 5.2 Geometrija in podatki | 69 |
| 5.2.1 Podporna konstrukcija in geosintetiki | 69 |
| 5.2.2 Tla..... | 70 |
| 5.2.3 Zaledje | 70 |
| 5.3 Mejno stanje nosilnosti | 71 |
| 5.3.1 Dokaz varnosti pred zdrsom konstrukcije | 71 |
| 5.3.2 Dokaz ekscentričnosti rezultante vseh delujočih sil na podporno konstrukcijo | 73 |
| 5.3.3 Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo | 76 |
| 5.3.4 Dokaz globalne stabilnosti podporne konstrukcije in zaledja..... | 77 |
| 5.3.5 Dokaz o priključitvi obložnih plošč na geosintetike..... | 83 |
| 5.4 Izbira geosintetikov | 84 |
| 5.5 Primer: Podporna konstrukcija | 87 |
| 5.6 Zaključek | 95 |
| 6 ZAKLJUČEK | 96 |
| VIRI | 97 |

KAZALO PREGLEDNIC

| | |
|--|----|
| Preglednica 1: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za mejno stanje 1A..... | 1 |
| Preglednica 2: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za vplive v mejnem stanju 1B | 2 |
| Preglednica 3: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za odpornosti v mejnem stanju 1B | 2 |
| Preglednica 4: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za vplive v mejnem stanju 1C | 3 |
| Preglednica 5: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za odpornosti v mejnem stanju 1C | 3 |
| Preglednica 6: Kratkotrajna natezna trdnost geosintetikov | 6 |
| Preglednica 7: Enačbe za izračun koeficientov oblike temelja v_d , v_c in v_b iz DIN 4017 | 44 |
| Preglednica 8: Enačbe za izračun koeficientov nagiba obtežbe i_b , i_d in i_c iz DIN 4017 | 45 |
| Preglednica 9: Enačbe za izračun koeficientov naklona zaledja λ_b , λ_d in λ_c iz DIN 4017 | 45 |
| Preglednica 10: Enačbe za izračun koeficientov naklona tal ξ_b , ξ_d in ξ_c iz DIN 4017..... | 45 |
| Preglednica 11: Prilagoditveni faktorji η in kot trenja δ glede na vrsto obložnih plošč | 84 |

KAZALO GRAFIKONOV

| | |
|--|----|
| Grafikon 1: Minimalna odpornost geosintetikov za vnaprej predvideno drsino..... | 30 |
| Grafikon 2: Izračunane vrednosti kompozitnega koeficienta λ , glede na dokaz $E_{ah,d} \leq R_{O,d}$ | 30 |
| Grafikon 3: Dokaz pred zdrsom nasipa nad geosintetikom..... | 31 |
| Grafikon 4: Dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v začetnem stanju | 31 |
| Grafikon 5: Dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v končnem stanju – $\varphi'_{1,k}$ | 32 |
| Grafikon 6: Dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v končnem stanju – h_1 | 32 |
| Grafikon 7: Dokaz pred iztiskom tal | 33 |
| Grafikon 8: Minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov – $h_1 = 3,0$ m..... | 34 |
| Grafikon 9: Minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov – $h_1 = 5,0$ m..... | 34 |
| Grafikon 10: Minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov – $h_1 = 7,0$ m..... | 35 |
| Grafikon 11: Izračunane minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov | 35 |
| Grafikon 12: Dokaz pred izvlekom geosintetika za vnaprej predvideno drsino – h_1 | 36 |
| Grafikon 13: Dokaz pred izvlekom geosintetika za vnaprej predvideno drsino – $\varphi'_{1,k}$ | 36 |
| Grafikon 14: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred zdrsom v začetnem st. – h_1 ... | 37 |
| Grafikon 15: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred zdrsom v začetnem st. – $\varphi'_{1,k}$ | 37 |
| Grafikon 16: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred zdrsom v končnem st. – h_1 | 38 |
| Grafikon 17: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred zdrsom v končnem st. – $\varphi'_{1,k}$. | 38 |
| Grafikon 18: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred iztiskom tal – h_1 | 39 |
| Grafikon 19: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred iztiskom tal – $\varphi'_{1,k}$ | 39 |
| Grafikon 20: Korekcijski faktorji $k_{b,\delta}$ v odvisnosti od razmerja $\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k}$ in kota δ | 49 |
| Grafikon 21: Korekcijski faktorji $k_{d,\delta}$ in $k_{c,\delta}$ v odvisnosti od razmerja $\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k}$ in kota δ | 49 |
| Grafikon 22: Dokaz nosilnosti prvotnih tal za A primer | 57 |
| Grafikon 23: Dokaz nosilnosti nadomestnih tal za A primer | 57 |
| Grafikon 24: Dokaz nosilnosti armiranih nadomestnih tal z izbranimi $R_{B,k0}$ za A primer | 58 |
| Grafikon 25: Dokaz povp. togosti armiranih nadomestnih tal z izbranimi $R_{B,k0}$ za A primer | 58 |
| Grafikon 26: Izračunane min $R_{B,k0}$ po 1. možnosti za A primer..... | 59 |
| Grafikon 27: Izračunane vrednosti kompozitnega koeficienta λ po 1. možnosti za A primer . | 59 |
| Grafikon 28: Izračunane $R_{B,k0}$ po 2. možnosti za A primer | 60 |
| Grafikon 29: Izračunane minimalne vrednosti kom. koef. λ po 2. možnosti za A primer | 60 |
| Grafikon 30: Dokaz nosilnosti armiranih nad. tal z izračunanimi $R_{B,k0}$ in λ za A primer | 61 |
| Grafikon 31: Dokaz povp. togosti armiranih nad. tal z izračunanimi $R_{B,k0}$ in λ za A primer..... | 61 |
| Grafikon 32: Dokaz nosilnosti prvotnih tal za B primer..... | 62 |
| Grafikon 33: Dokaz nosilnosti nadomestnih tal za B primer | 62 |
| Grafikon 34: Dokaz nosilnosti armiranih nadomestnih tal z izbranimi $R_{B,k0}$ za B primer..... | 63 |
| Grafikon 35: Dokaz povp. togosti armiranih nadomestnih tal z izbranimi $R_{B,k0}$ za B primer | 63 |
| Grafikon 36: Izračunane min $R_{B,k0}$ po 1. možnosti za B primer..... | 64 |
| Grafikon 37: Izračunane vrednosti kompozitnega koeficienta λ po 1. možnosti za B primer .. | 64 |
| Grafikon 38: Izračunane $R_{B,k0}$ po 2. možnosti za B primer..... | 65 |

| | |
|---|----|
| Grafikon 39: Izračunane minimalne vrednosti kom. koef. λ po 2. možnosti za B primer | 65 |
| Grafikon 40: Dokaz nosilnosti armiranih nad.tal z izračunanimi $R_{B,k0}$ in λ za B primer | 66 |
| Grafikon 41: Dokaz pov. togosti armiranih nad. tal z izračunanimi $R_{B,k0}$ in λ za B primer | 66 |
| Grafikon 42: Vrednosti kompozitnega koeficienta λ za podporno konstrukcijo | 88 |
| Grafikon 43: Dokaz varnosti pred zdrsom podporne konstrukcije | 88 |
| Grafikon 44: Izračunane širine podporne konstrukcije B, glede na dokaz pred zdrsom | 89 |
| Grafikon 45: Dokaz ekcentričnosti rezultante vseh delujočih sil na podporno konstrukcijo ... | 89 |
| Grafikon 46: Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo – $H = 3,0$ m | 90 |
| Grafikon 47: Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo – $H = 4,0$ m | 90 |
| Grafikon 48: Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo – $H = 5,0$ m | 91 |
| Grafikon 49: Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo – $H = 6,0$ m..... | 91 |
| Grafikon 50: Izračunane min $R_{B,k0}$ za različno število ojačitvenih slojev n..... | 92 |
| Grafikon 51: Dokaz globalne stabilnosti z izračunanimi min $R_{B,k0}$ – $H = 3,0$ m | 92 |
| Grafikon 52: Izračunane min $R_{B,k0}$ za različne višine podporne konstrukcije H | 93 |
| Grafikon 53: Dokaz globalne stabilnosti z izračunanimi min $R_{B,k0}$ – $H = 4,0$ m | 93 |
| Grafikon 54: Dokaz globalne stabilnosti z izračunanimi min $R_{B,k0}$ – $H = 5,0$ m | 94 |
| Grafikon 55: Dokaz globalne stabilnosti z izračunanimi min $R_{B,k0}$ – $H = 6,0$ m | 94 |

KAZALO SLIK

| | |
|---|----|
| Slika 1: Nasip na malonosilnih tleh..... | 10 |
| Slika 2: Vnaprej predvidena porušitev nasipa..... | 14 |
| Slika 3: Zdrs nasipa po ovojnici nasipa | 17 |
| Slika 4: Zdrs nad geosintetikom | 19 |
| Slika 5: Zdrs pod geosintetikom | 20 |
| Slika 6: Iztisnjenje tal pod nasipom | 23 |
| Slika 7: Nasip na malonosilnih tleh, primer | 29 |
| Slika 8: Temelj na armiranih nadomestnih tleh | 41 |
| Slika 9: Porušitev armiranih tal pod temeljem..... | 48 |
| Slika 10: Temelj na armiranih nadomestnih tleh, primer..... | 56 |
| Slika 11: Podporna konstrukcija | 68 |
| Slika 12: Zdrs podporne konstrukcije | 71 |
| Slika 13: Lega rezultante v dnu podporne konstrukcije | 74 |
| Slika 14: Porušitev podporne konstrukcije pod kotom drsine manjšim od 55° | 78 |
| Slika 15: Porušitev podporne konstrukcije pod kotom drsine večjim od 55° | 79 |
| Slika 16: Podporna konstrukcija, primer..... | 87 |

SLOVAR:

| Slovensko | Angleško – English | Nemško – Deutsch | Kratice: |
|--|--|--|-----------------|
| Mejno stanje nosilnosti – MSN | Ultimate Limit state – ULS | Grenzzustand der Tragfähigkeit – GZ 1 | |
| Mejno stanje uporabnosti – MSU | Serviceability Limit State – SLS | Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit – GZ 2 | |
| Izguba statičnega ravnotežja | Loss of static equilibrium | Verlust der Lagesicherheit | EQU |
| Dvig – izguba ravnotežja zaradi vzgona ali pritiska vode | Uplift due to buoyancy or water pressure | Gleichgewichtsverlust infolge von Auftrieb oder Wasserdruck – uplift | UPL |
| Hidravlični lom tal, notranja erozija | Hydraulic failure | Hydraulischer Grundbruch | HYD |
| Odpoval ali zelo velike deformacije zgradbe ali delov zgradbe | Structural failure | Structure failure | STR |
| Odpoval ali zelo velike deformacije zgradbe ali tal | Geotechnical failure | Geotechnic failure | GEO |
| Ekscentričnost rezultante vseh sil | Location of the bearing pressure resultant | Lage der Sohldruckresultierenden | e |
| Nosilnost tal | Bearing Capacity | Grundbruchsicherheit / Tragfähigkeit | |
| Varnost pred zdrsom | Sliding safety | Gleitsicherheit | |
| Globalna stabilnost | Global stability | Galändebruchsicherheit | |
| Predvidena drsina | Predefined slip surface | Vorgegebene Gleitfläche | |
| Iztisk | Squeezing Out | Ausquetschen | |
| Karakteristična vrednost kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov | Characteristic value of the short-term strength of the geosynthetics | charakteristischer Wert der Langzeitfestigkeit des Geokunststoffes | $R_{B,k0}$ |
| Karakteristična vrednost dolgotrajne natezne trdnosti geosintetikov | Characteristic value of the long-term strength of the geosynthetics | charakteristischer Wert der Langzeitfestigkeit des Geokunststoffes | $R_{B,k}$ |
| Projektna odpornost geosintetičnih ojačitev | Design resistance of the geosynthetic reinforcement | Bemessungswiderstand der Geokunststoffbewehrung | $R_{B,d}$ |
| Karakteristična odpornost geosintetičnih ojačitev pred izvlekom | Characteristic Pull-out Resistance of the reinforcement | charakteristischer Herauszieh-widerstand der Bewehrung | $R_{A,k}$ |
| Projektna odpornost geosintetikov pred izvlekom | Design value of the Pull-out resistance | Bemessungswert des Herauszieh-widerstandes | $R_{A,d}$ |

| Slovensko | Angleško – English | Nemško – Deutsch | Kratica: |
|-----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|
| Armirana nadomestna tla | Reinforced foundation pad | Bewehrte Gründungspolster | |
| Deformacije | Deformations / Strains | Verformungen | |
| Delni varnostni faktor | Partial safety factor | Teilsicherheitsbeiwert | γ |
| Dodatek | Appendix | Anhang | |
| Dolžina sidranja | Anchorage length | Verankerungslänge | L_A |
| Dokaz | Proof | Nachweis | |
| Enačba | Equation | Gleichung | |
| Faktor izkoriščenosti | Utilisation factor | Ausnutzungsgrad | μ |
| Geosintetiki | Geosynthetics | Geokunststoffes | |
| Geosintetični ovoj | Wraparound | Umschlag | |
| Karakteristični koeficient trenja | Characteristic friction coefficient | charakteristischer Reibungsbeiwert | $\tan \varphi_k$ |
| Koeficient trenja | Friction coefficient | Reibungsbeiwert | $f_{i,g,k}$ |
| Končno stanje | Final State | Endzustand | |
| Kohezija | Cohesion | Kohäsion | c |
| Kompozitni koeficient trenja | Composite coefficient of friction | Verbundbeiwert für Reibung | λ |
| Korekcijski faktorji | Correction factors | Korrekturfaktoren | k_b, k_d, k_c |
| Korekcijski faktorji | Correction factors | Korrekturfaktoren | $k_{b,\delta}, k_{d,\delta}, k_{c,\delta}$ |
| Korekcijski koeficienti | Correction factors (coefficient) | Korrekturbeiwerte | k'_{b}, k'_{d}, k'_{c} |
| Malonosilna tla | Soft soil | Weicher Untergrund | |
| Načrtovanje | Design | Bemessung | |
| Nad | over | über | \ddot{u} |
| Nadomestna tla | Foundation pad | Gründungspolster | |
| Naklon drsine | Slip plane angle | Gleitflächenwinkel | ϑ |
| Nasip | Embankment | der Damm | |
| Nosilnost | Capacity | Tragfähigkeit | |
| Natezna trdnost | tensile strength | Zugfestigkeit | |
| Normalna napetost | Normal stress | Normalspannung | $\sigma_{v,k}$ |
| Obložne plošče | Facing | Frontausbildung | |
| Obtežba | Load | Last | |
| Odpornost | Resistance | Widerstand | |
| Obtežbeni primer – OP | Load Case – LC | Lastfall – LF | |
| Pasovni temelj | Strip foundation | Strifenfundament | |
| Podporna konstrukcija | Retaining Structure | Stützkonstruktion | |
| Pogoj | Condition | Bedingung | |
| Posedanje | Settlement | Setzungen | |
| Potreben | required | erforderlich | Erf |
| Premik | Displacement | Verschiebung | |
| Prilagoditveni faktor | Calibration factor | Anpassungsfaktor | η |
| Prostorninska teža | Unit weight | Die Wichte | γ |

| Slovensko | Angleško – English | Nemško – Deutsch | Kratika: |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|
| Razdalja | distance | Abstand | |
| Razpoložljiv | Working (available) | vorhanden | work. / vorh |
| Raztezek | Strain | Dehnung | ϵ |
| Raztezek zaradi lezenja | Creep strain | Krichdehnung | |
| Rezultanta | Resulting force | | rez |
| Spodaj | below | unten | U |
| Spremenljiva obtežba | Variable load | Veränderliche Last | |
| Stabilnost | stability | Standicherheit | |
| Stalna obtežba | Permanent load | Ständige Last | |
| Strižna napetost | Shear stress | Schubspannung | |
| Strižna trdnost | Shear strength | Scherfestigkeit | |
| Temelj | Foundation | Fundament | |
| Tla | Ground | Grund | Gr |
| Tla med ojačitvenimi geosintetiki | Fill soil | Füllboden | |
| Togost | Stiffness | Steifigkeit | |
| Trenje | Friction | Reibung | |
| Umetno nasutje | Fill material | Schüttmaterial | |
| Vpliv | Action | Einwirkung | |
| Vzgon | buoyancy | Auftrieb | |
| Začetno stanje | Initial State | Anfangzustand | |
| Zaledna zemljina | Backfill soil | Hinterfüllboden | |
| Zasuki, nagibanje | Tilting | Schiefstellung | |
| Zdrs | slipping | Abgleiten / Gleiten | GI |
| Aktivni zemeljski pritisk | Activ earth pressure | Erddruck | E_a |
| Pasivni zemeljski pritisk | Passive earth pressure | Erdwiderstand | E_p |
| Zgoraj | above | oben | O |
| Zgoščanje | compaction | Verdichtung | |
| Zmanjševalni faktor | Reduction factor | Abminderungsfaktor | A_i |
| | | | |
| Tkana geomreža | Woven Geogrids | Gewebte Geogitter | |
| Tkani geotekstil | Woven Geotextile | Gewebe | |
| Ekstrudirana geomreža | Extruded Geogrids | Extrudierte Geogitter | |
| Lepljena geomreža | Bonded Geogrids | Gelegte Geogitter | |
| | Raschel – knit Geogrids | Geraschelte Geogitter | |

1 OSNOVE PREVERJANJA – MEJNO STANJE NOSILNOSTI

EBGEO je smernica, narejena po nemških standardih DIN, zato so njihove oznake za mejna stanja drugačna od oznak v Evrokodih.

Mejno stanje nosilnosti (ULS – ultimate limite state) je stanje konstrukcije, ki ne sme biti prekoračeno, saj to pomeni neposredno porušitev konstrukcije. V nemških standardih DIN je označeno z GZ 1.

Mejno stanje uporabnosti (SLS – serviceability limit state) je stanje konstrukcije, ki ne sme biti prekoračeno, saj bi to pomenilo, da konstrukcija ni več uporabna. V nemških standardih DIN je označeno kot GZ 2.

V izračunih in analizah sem uporabil vrednosti varnostnih faktorjev iz DIN 1054.

Mejno stanje nosilnosti (ULS) razdelimo v tri podkategorije:

1. Mejna stanja EQU, UPL in HYD ustrezajo nemškemu mejnemu stanju GZ 1A. V tem mejnem stanju preverjamo dokaze pred:
 - a) prevrnitvijo konstrukcije (EQU – equilibrium),
 - b) vzgonom ali dviganjem konstrukcije (UPL – uplift),
 - c) hidravlično porušitvijo zemljine (HYD – hydraulic failure).

Za vsa tri mejna stanja preverjamo samo ugodne in neugodne vplive brez odpornosti.

Odločilen pogoj za mejno stanje je:

$$F_d = F_k * \gamma_{dst} \leq G_k * \gamma_{stb} = G_d \quad (1)$$

Neugodni vpliv F_k , pomnožen z delnim varnostnim faktorjem $\gamma_{dst} > 1,0$, mora biti manjši ali enak ugodnemu vplivu G_k , ki je pomnožen z delnim varnostnim faktorjem $\gamma_{stb} < 1,0$.

Preglednica 1: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za mejno stanje 1A

| Vplivi | Uradni simbol | Obtežbeni primeri | | |
|------------------------------|------------------|-------------------|------|------|
| | | OP 1 | OP 2 | OP 3 |
| Ugodni stalni vplivi | $\gamma_{G,stb}$ | 0,90 | 0,90 | 0,95 |
| Neugodni stalni vplivi | $\gamma_{G,dst}$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Neugodni spremenljivi vplivi | $\gamma_{Q,dst}$ | 1,50 | 1,30 | 1,00 |

Obtežbeni primer (OP) je v nemških standardih DIN označen kot LF – Lastfall, v evrokodih pa z LC – Load Case.

2. Mejno stanje STR (structural failure) ustreza nemškemu mejnemu stanju GZ 1B. V mejnem stanju STR preverjamo:
- dokaz nosilnosti stavb ali delov stavb, katere so obremenjene preko temeljnih tal oziroma so preko temeljnih tal podprta,
 - dokaz nosilnosti tal ali odpornost pred poružitvijo tal.

Mejno stanje STR preverimo s pogojem:

$$E_d = E_k * \gamma_F \leq R_d = R_k / \gamma_R \quad (2)$$

Karakteristični vpliv E_k , ki ga pomnožimo z delnim varnostnim faktorjem γ_F , je lahko velik natanko toliko kot karakteristična odpornost R_k , deljena z delnim varnostnim faktorjem γ_R .

Pri mejnem stanju STR najprej določimo karakteristične velikosti vplivov in odpornosti in jih nato z uporabo delnih varnostnih faktorjev pretvorimo v projektne vrednosti.

Preglednica 2: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za vplive v mejnem stanju 1B

| Vplivi | Uradni simbol | Obtežbeni primeri | | |
|------------------------------|---------------|-------------------|------|------|
| | | OP 1 | OP 2 | OP 3 |
| Ugodni stalni vplivi | γ_G | 1,35 | 1,20 | 1,00 |
| Neugodni spremenljivi vplivi | γ_Q | 1,50 | 1,10 | 1,00 |

Preglednica 3: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za odpornosti v mejnem stanju 1B

| Odpornosti | Uradni simbol | Obtežbeni primeri | | |
|--|--------------------------------|-------------------|------|------|
| | | OP 1 | OP 2 | OP 3 |
| Odpornost zemljine in odpornost pred lomom tal | γ_{Ep} in γ_{Gr} | 1,40 | 1,30 | 1,20 |
| Odpornost pred zdrsom | γ_{G1} | 1,10 | 1,10 | 1,10 |
| Materialna odpornost geosintetikov | γ_M (γ_B) | 1,40 | 1,30 | 1,20 |

3. Mejno stanje GEO (geotechnical failure) ustreza nemškemu mejnemu stanju GZ 1C. Mejno stanje GEO je posebnost zemeljskih del in temeljenja. Mejno stanje predpiše izgubo celotne stabilnosti. V mejnem stanju GEO preverimo:
- dokaz stabilnosti zaledja,
 - dokaz globalne stabilnosti.

Mejno stanje GEO preverimo s pogojem:

$$E_d \leq R_d \quad (3)$$

Vrednost vplivov E_d mora biti manjša kot projektna odpornost R_d . Tu so vplivi in odpornosti določeni s projektnimi strižnimi parametri:

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_{k} / \gamma_{\varphi} \quad (4)$$

$$c'_d = c'_{k} / \gamma_c \quad (5)$$

$$\tan \varphi_{U,d} = \tan \varphi_{U,k} / \gamma_{\varphi U} \quad (6)$$

$$c_{U,d} = c_{U,k} / \gamma_{cU} \quad (7)$$

V izračunih upoštevamo vrednosti notranjega trenja zemljine $\tan \varphi$ in kohezijo zemljine c , ki sta že zmanjšani z delnimi varnostnimi faktorji.

Preglednica 4: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za vplive v mejnem stanju 1C

| Vplivi | Uradni simbol | Obtežbeni primeri | | |
|------------------------------|---------------|-------------------|------|------|
| | | OP 1 | OP 2 | OP 3 |
| Ugodni stalni vplivi | γ_G | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Neugodni spremenljivi vplivi | γ_Q | 1,30 | 1,20 | 1,00 |

Preglednica 5: Varnostni faktorji iz DIN 1054 za odpornosti v mejnem stanju 1C

| Odpornosti | Uradni simbol | Obtežbeni primeri | | |
|---|--|-------------------|------|------|
| | | OP 1 | OP 2 | OP 3 |
| Koeficient notranjega trenja $\tan \varphi'$ dreniranih tal | γ_{φ} in $\gamma_{\varphi U}$ | 1,25 | 1,15 | 1,10 |
| Drenirana kohezija c' in nedrenirana kohezija c_U | $\gamma_{c'}$ in γ_{cU} | 1,25 | 1,15 | 1,10 |
| Materialna odpornost geosintetikov | γ_M (γ_B) | 1,40 | 1,30 | 1,20 |

2 GEOSINTETIKI

2.1 Splošno o geosintetiki

Geosintetiki so ploskovni materiali iz polimerov. So relativno nov material: v gradbeništvu se uporabljajo od sredine 20. stoletja. V zadnjem obdobju je rast proizvodnje geosintetikov na prvem mestu med vsemi gradbenimi proizvodi. Raba geosintetikov pri gradnji prometnic konstantno narašča in se širi na nova področja uporabe. Največ jih uporabljajo v geološkem okolju v kombinaciji z zemljino, pogosto pa tudi v kamninah in v zemljinam podobnih materialih, tako imenovanih geomaterialih.

Na svetovnem trgu lahko najdemo več kot 600 različnih vrst geosintetikov, izdelanih iz različnih polimernih materialov po različnih tehnoloških postopkih z zelo različnimi mehanskimi in hidravličnimi lastnostmi.

2.2 Uporaba geosintetikov

V geotehničnih gradnjah se bomo odločili za rabo geosintetikov takrat, ko geotehnični izračuni in presoje pokažejo, da bi bila gradnja s klasičnimi zemeljskimi materiali premalo varna, surovinsko in prostorsko potratna, prepočasna ali tehnološko težko obvladljiva. Geosintetiki se uporabljajo za izgradnjo nasipov, ojačitev tal, izgradnjo podpornih konstrukcij, za premostitev vdorov in lukenj v tleh, izdelavo deponij ali samo za zaščito zemljine ali materiala pred erozijo.

2.3 Naloge geosintetikov v konstrukciji

Geosintetike med seboj ločimo po njihovi primarni nalogi, čeprav geosintetiki največkrat opravljajo še več pomožnih vlog:

1. Ločevanje (separiranje) različnih slojev snovi

Kadar ločujemo dva po lastnostih povsem različna sloja zemljine, med njiju vgradimo plast geosintetika. Geosintetik preprečuje, da bi se sloja pomešala in na dolgi rok izgubila kakovost in debelino vgrajene plasti iz kamnitega materiala. Za ločevanje se največkrat uporablja geotekstilije.

2. Filtriranje

Geosintetik kot filter preprečuje prehajanje manjših delcev zemljine iz ene plasti v drugo, prehod tekočin pa je neoviran. Za filtriranje se največkrat uporablja geotekstilije.

3. Dreniranje

Geosintetik kot drenažni sloj se upravlja za zbiranje in hitro odvajanje podzemne vode stran od vplivnega območja objekta. Za dreniranje se največkrat uporablja geokompozitne materiale, redkeje geotekstilije.

4. Zaščita in protierozijska zaščita

Geosintetik kot zaščitni sloj ali geomembrana ščiti zemljino, nasip ali volumensko neobstojno kamnino pred vplivi vremena in vplivi mehanizacije. Z geosintetikom prekrijemo občutljivo območje. Največkrat se za zaščito uporablja geotekstilije.

5. Ojačitev

Geosintetik kot ojačitev ima podobno vlogo kot jeklo pri armiranem betonu. V zemljino, ki ima določeno tlačno in strižno trdnost, a skoraj nično natezno odpornost, vgradimo armaturni geosintetik, tako da se napetosti iz osnovnega materiala s trenjem in adhezijo prenesejo na geosintetik. Pogosto se uporablja za ojačitev mehkih tal pri gradnji prometnic, za vgradnjo med nasute plasti iz kamenega agregata z namenom, da preprečimo razrivanje kamnitih zrn ali ustvarjanje prevelikih kolesnic na nevezanih plasteh. Za armiranje se uporabljajo predvsem geotekstilije in geomreže.

6. Tesnjenje

Geosintetik kot tesnilo uporabljamo za bariero, ki preprečuje pronicanja tekočin ali onesnaženih snovi s konvekcijo ali difuzijo iz vira onesnaženja v temeljna tla in podzemno vodo. Za tesnjenje se uporablja geomembrane in betonitne membrane.

2.4 Odpornost ojačitvenih geosintetikov

Odpornost geosintetika je določena z manjšo vrednostjo med njegovo natezno odpornostjo $R_{B,d}$ in odpornostjo pred izvlekom $R_{A,d}$. Pogoju zapišemo:

$$\min (R_{B,d} ; R_{A,d}) \quad (8)$$

2.4.1 Natezna odpornost geosintetika (odpornost pred pretrgom)

Proizvajalci geosintetikov razvrščajo različne geosintetike po njihovi kratkotrajni karakteristični trdnosti, ki jo označimo z $R_{B,k0}$. Kratkotrajna karakteristična trdnost

geosintetikov mora biti dokazana kot 5 % najmanjši kvantil. To pomeni, da ima 95 % proizvodov višjo trdnost, kot je podana najmanjša karakteristična kratkotrajna trdnost.

Preglednica podaja kratkotrajne natezne trdnosti za različne produkte geosintetikov iz različnih vrst materiala. Preglednica služi le za orientacijo, saj lahko dejanske vrednosti produktov odstopajo od navedenih v preglednici.

Preglednica 6: Kratkotrajna natezna trdnost geosintetikov

| Material | Oznaka | Produkt | Tipična kratkotrajna natezna trdnost | | | Tipični raztezek | |
|------------------|--------|-----------------------|--------------------------------------|------|------|------------------|----|
| | | | $R_{B,k0}$ [kN/m] | | | ϵ [%] | |
| | | | od | do | max. | od | do |
| Aramid | AR | tkana geomreža | 40 | 1200 | 2200 | 2 | 4 |
| | | tkani geotekstil | 100 | 1400 | 2400 | 2 | 4 |
| Polyethylen | PE | tkana geomreža | 20 | 150 | 300 | 15 | 20 |
| | | ekstrudirana geomreža | 40 | 150 | 200 | 10 | 15 |
| | | tkani geotekstil | 30 | 200 | 400 | 15 | 20 |
| Polyester | PET | tkana geomreža | 20 | 800 | 1200 | 8 | 15 |
| | | lepljena geomreža | 20 | 400 | 500 | 6 | 10 |
| | | tkani geotekstil | 100 | 1000 | 1600 | 8 | 15 |
| Polypropylen | PP | tkana geomreža | 20 | 200 | 500 | 8 | 15 |
| | | lepljena geomreža | 20 | 200 | 400 | 8 | 15 |
| | | ekstrudirana geomreža | 20 | 50 | | 8 | 20 |
| | | tkani geotekstil | 20 | 200 | 600 | 8 | 20 |
| Polyvinylalkohol | PVA | tkana geomreža | 30 | 1000 | 1600 | 4 | 5 |
| | | tkani geotekstil | 30 | 900 | 1800 | 4 | 5 |

Kratkotrajna karakteristična trdnost $R_{B,k0}$ je največja natezna sila, določena z nateznim preizkusom na 200 mm širokem ploskovnem preizkušancu. Z nateznim preizkusom preverimo tudi odnos med natezno obremenitvijo in raztezkom preizkušanca. Pomembne so vrednosti obremenitve pri 2-odstotnem, 3-odstotnem, 5-odstotnem raztezk in, če je to potrebno, še pri 10-odstotnem raztezk. Tu so vrednosti določene kot srednje vrednosti in ne kot 5 % kvantil, zato dobimo kar velika odstopanja med rezultati posameznih preizkušancev.

Iz grafov nateznega preizkusa lahko določimo natezno togost geosintetikov. Označimo jo z modulom J in izračunamo z enačbo:

$$J_{a-b,k,0} = (F_b - F_a) / (\epsilon_b - \epsilon_a) \quad (9)$$

Z $J_{a-b,k,0}$ označimo osno togost geosintetika za območje deformacij med ϵ_a in ϵ_b . Osna togost geosintetika ima enoto kN/m. Z ϵ_a in z ϵ_b sta podani deformaciji geosintetika v procentih. S F_a označimo natezno obremenitev geosintetikov pri deformaciji ϵ_a , s F_b pa označimo natezno

obremenitev geosintetikov pri deformaciji ϵ_b . Natezna obremenitev geosintetika ima enoto kN/m.

Za proizvode iz polimerov je značilno elastoplastično obnašanje, kar smo upoštevali pri kratkotrajnem preizkusu trdnosti geosintetikov. Pod dejansko obtežbo nastanejo tudi viskozni časovno odvisni procesi lezenja.

Zaradi procesa lezenja in staranja imajo rabljeni geosintetiki znižano nosilnost in večji raztezek v primerjavi s kratkotrajnim obnašanjem geosintetikov.

Dolgoročno natezno trdnost geosintetikov $R_{B,k}$ izračunamo iz kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov $R_{B,k0}$, ki jo delimo z delnimi faktorji A_1, A_2, A_3, A_4 in A_5 .

$$R_{B,k} = R_{B,k0} / (A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5) \quad (10)$$

Delne faktorje podajo proizvajalci geosintetikov na podlagi preiskav, nekatere pa se lahko določi na gradbišču s preizkusi vgraditve.

Delni faktor A_1 upošteva zmanjšano nosilnost geosintetika zaradi staranja in lezenja. Za geosintetike iz različnih surovin so vrednosti A_1 različne.

Delni faktor A_2 upošteva pričakovane poškodbe geosintetikov pri vgradnji in transportu.

Delni faktor A_3 upošteva zmanjšanje natezne trdnosti geosintetikov zaradi povezav ali spajanja več geosintetikov. Kadar ni stikov, šivov, povezav ali različnih zapolnitev, je vrednost A_3 enaka 1,0.

Delni faktor A_4 upošteva vplive okolja, kot so mikrobiološki vplivi, vandalizem in vremenski vplivi. Vrednosti A_4 se razlikujejo glede na surovine geosintetika.

Delni faktor A_5 upošteva dinamične vplive, kot je gradnja na potresnem območju, vpliv železniške proge, vpliv strojev.

Projektno odpornost geosintetikov $R_{B,d}$ izračunamo iz dolgoročne trdnosti geosintetikov $R_{B,k}$, ki jo delimo z varnostnim faktorjem za materialno odpornost γ_M .

$$R_{B,d} = R_{B,k} / \gamma_M \quad (11)$$

Varnostni faktor za materialno odpornost geosintetikov γ_M upošteva mogoča odstopanja v geometriji zgradb ali mogoča odstopanja dejanskih karkaterističnih vrednosti geosintetikov v primerjavi z vrednostmi, ki so bile določene v laboratoriju. Vrednosti varnostnega faktorja za materialno odpornost γ_M so podane v preglednici 3 za mejno stanje STR, ki ustreza nemškemu mejnemu stanju 1B.

2.4.2 Odpornost geosintetika pred izvlekom

Odpornost geosintetika pred izvlekom $R_{A,k}$ je odvisna od načina porušitve konstrukcije in je zato ne moremo fiksno določiti, kot to lahko storimo z natezno odpornostjo geosintetika $R_{B,k}$. Njeno vrednost lahko predvidimo tako, da določimo najbolj neugodno porušitev konstrukcije, in jo izračunamo z enačbo:

$$R_{A,k} = \sigma_{v,k} * L_A * f_{sg,k} * n \quad (12)$$

Odpornost geosintetika pred izvlekom izračunamo kot strižno napetost vzdolž sidranega dela geosintetika.

Normalno napetost na ravnino geosintetika označimo s $\sigma_{v,k}$ in jo izračunamo z enačbo:

$$\sigma_{v,k} = \gamma_v * h \quad (13)$$

Z γ_v smo označili prostorninsko težo zemljine, v katero položimo geosintetik, in s h smo označili višino zemljine nad ravnino geosintetika.

Dolžino sidranja geosintetika v pasivnem delu zemljine označimo z L_A . Odvisna je od poteka drsine čez konstrukcijo.

Koeficient trenja $f_{sg,k}$ je produkt kompozitnega koeficienta za trenje λ in karakterističnega koeficienta trenja znotraj zemljine $\tan \varphi'_k$. Izračunamo ga z enačbo:

$$f_{sg,k} = \lambda * \tan \varphi'_k \quad (14)$$

Kompozitni koeficient za trenje λ je odvisen od prenosa napetosti med vgrajenim geosintetikom in zemljino.

Število ravnin trenja med geosintetikom in zemljino je označeno z n . Največkrat je vrednost n enaka 2, kar pomeni zgornjo in spodnjo stran geosintetika.

Kadar analiziramo mejno stanje GEO, ki ustreza nemškemu mejnemu stanju 1C, izračunamo projektno odpornost geosintetikov pred izvlekom $R_{A,d}$ tako, da delimo karakteristično odpornost geosintetika pred izvlekom $R_{A,k}$ z varnostnim faktorjem γ_B . Vrednosti varnostnega faktorja γ_B so podane v preglednici 5.

$$R_{A,d} = R_{A,k} / \gamma_B \quad (15)$$

Kadar analiziramo mejno stanje STR, ki ustreza nemškemu mejnemu stanju 1B, izračunamo projektno odpornost geosintetikov pred izvlekom $R_{A,d}$ tako, da delimo karakteristično odpornost geosintetika pred izvlekom $R_{A,k}$ z varnostnim faktorjem pred zdrsom γ_{GI} (GI – gleiten – zdrs). Vrednosti varnostnega faktorja γ_{GI} so podane v preglednici 3.

$$R_{A,d} = R_{A,k} / \gamma_{GI} \quad (16)$$

2.4.3 Prenos napetosti med tlemi in geosintetikom

Pravilna uporaba in vgraditev geosintetikov poveča nosilnost in uporabnost zemeljskih konstrukcij. Med zemljino in geosintetikom se prenašajo napetosti, kar izrazimo s koeficientom trenja $f_{sg,k}$ (enačba 14) in strižnim koeficientom $f_{scg,k}$.

Koeficient trenja je odvisen od vrste geosintetika in ga lahko poenostavljeno določimo z kompozitnim koeficientom za trenje λ (nadalje kompozitni koeficient). Definiran je z enačbo:

$$\lambda = \tan \delta / \tan \varphi \quad (17)$$

Koeficient trenja geosintetik / tla označimo s $\tan \delta$: njegova vrednost je določena s preizkusom. Koeficient trenja tal označimo s $\tan \varphi$ in tudi njegova vrednost je določena s preizkusom. Karakteristični koeficient trenja tal označimo s $\tan \varphi_k$.

Geosintetiki z več odprtlinami, kot so npr. mreže, ustvarijo večji kompozitni koeficient λ kot tisti z manj ali nič odprtlinami. Iz tega lahko sklepamo, da z izračunom zahtevane vrednosti kompozitnega koeficienta λ določimo tudi vrsto geosintetika, ki ga bomo vgradili v tla.

Kompozitni vpliv lahko izrazimo tudi s strižnim koeficientom $f_{scg,k}$, pri čemer upoštevamo vrednost kohezije tal c . Strižni koeficient izračunamo z enačbo:

$$f_{scg,k} = \lambda_c * c'_k \quad (18)$$

Kompozitni koeficient za strižno trdnost λ_c izračunamo z enačbo:

$$\lambda_c = a / c' \quad (19)$$

Adhezijo geosintetik / tla označimo z a in je izmerjen rezultat. Kohezijo tal označimo s c' in je prav tako izmerjen rezultat.

Kompozitni koeficient je pomemben v primeru dokaza pred zdrsom konstrukcije in v primeru dokaza pred izvlekom geosintetikov iz tal.

Preizkus določitve kompozitnih koeficientov za strig (zdrs) in izvlek (sidranje) izvedemo na geosintetiku z dimenzijami 300 mm * 300 mm, ki ga vgradimo v tla. Preizkus za izvlek in za strig izvedemo ločeno, saj sta lahko rezultata kompozitnih koeficientov različna. Pri testiranju izvleka ali sidranja geosintetika opazujemo samo aktivirano dolžino trenja. Pri testiranju striga ali zdrsa pa upoštevamo celotno kontaktno površino med geosintetikom in zemljino. Predvidena vrednost kompozitnega koeficienta je med 0,5 in 1,0. Če preiskovalni rezultati ne obstajajo, lahko preliminarno uporabimo sledeče kompozitne koeficiente:

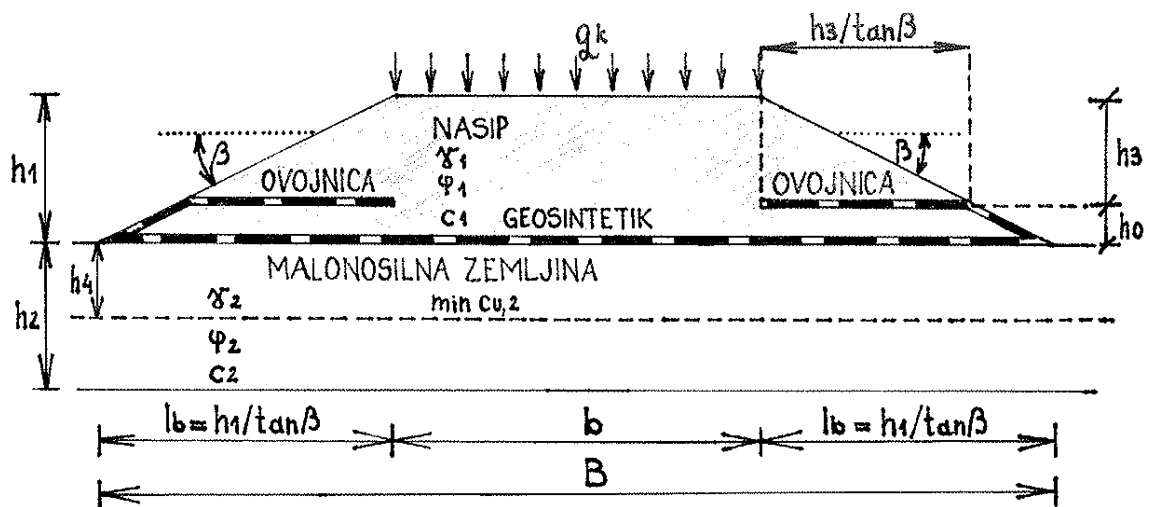
$$f_{sg,k} = 0,50 * \tan \varphi'_k \quad (20)$$

$$f_{scg,k} = 0,50 * c'_k \quad (21)$$

3 NASIP NA MALONOSILNIH TLEH

3.1 Opis

Nasipi tvorijo trdno podlago za izgradnjo prometnic, lahko pa so tudi zaščita pred vodnimi ujмами ali zaščita proti hrupu. Nanos nasipa na tla pomeni dodatno obremenitev, zaradi katere se tla posedajo, lahko pa se celo porušijo. Z vgraditvijo geosintetika pod nasip se povečata odpornost tal in nasipa. Poleg povečanja odpornosti in enakomernejših posedkov ima geosintetik tu še vlogo zaščite nasipa pred razlezom.



Slika 1: Nasip na malonosilnih tleh

3.2 Geometrija in podatki

3.2.1 Nasip

Pri projektiranju nasipov moramo poznati širino nasipa na vrhu, ki jo označimo z b , poznati moramo maksimalno dovoljeno višino nasipa, ki jo označimo s h_1 in primeren naklon brežin, ki ga podamo z razmerjem med višino nasipa in dolžino brežin nasipa ($1 : n$). Naklon brežin lahko podamo tudi kot tangens kota naklona brežin, ki ga označimo s $\tan \beta$. Širina nasipa na vrhu je lahko enaka širini cestišča, ki bo potekal po nasipu. Maksimalna dovoljena višina nasipa je določena v prostorskih aktih. Iz podatkov izračunamo širino celotnega nasipa B in širino naklona brežin nasipa l_b .

Glede na razmerje med višino nasipa in naklonom brežin nasipa izračunamo dolžino brežin l_b . Če sta brežini na obeh straneh nasipa enako dolgi, je nasip simetričen. Širino nasipa izračunamo z enačbo:

$$l_b = h_1 / \tan \beta \quad (22)$$

Celotno širino nasipa B izračunamo z enačbo:

$$B = b + 2 * l_b \quad (23)$$

Celotna širina nasipa B je enaka širini cestnega zemljišča, ki mora biti dovolj široko, da lahko na njem zgradimo nasip, na nasipu cesto ali železnico in nam hkrati omogoča še vzdrževanje ceste. Širina cestnega zemljišča je odvisna od širine cestišča (širine in števila pasov, izvedbe odvodnjavanja, širine bankine), višine nasipa ter naklona brežin. Zaradi lažjega dela in vzdrževanja cestnega telesa je širina cestnega zemljišča na vsaki strani za 1,5 do 2 metra širša od cestnega telesa. Širina nasipa ne nastopa v enačbah, vendar je pomembna za določitev dolžine geosintetika.

Poleg geometrijskih značilnosti nasipa potrebujemo še karakteristične strižne parametre. Strižnim parametrom za nasip pripišemo indeks 1. Strižni kot nasipa označimo z φ'_1 , kohezijo nasipa z c'_1 in specifično težo nasipa z γ_1 . Pri nasipu upoštevamo samo drenirane vrednosti.

Zunanjo spremenljivo linijsko obtežbo označimo s q in predstavlja vpliv prometa na nasip.

3.2.2 Tla

Globino celotnih tal podamo z oznako h_2 , vendar ne nastopa v nadaljnjih enačbah. Pomembna je za določitev porušitve po drsini krožne oblike (GEO) in za dokaz nosilnosti tal (STR). Za tla pod nasipom podamo še globino ravnine, po kateri poteka najmanjša nedrenirana strižna trdnost tal $\min c_{u,2}$, in jo označimo s h_4 . Pri homogenih tleh sta globini h_2 in h_4 enaki.

Globina tal h_2 je relativno majhna, kadar je večkrat manjša od širine nasipa B ($h_2 \ll B$).

Strižnim parametrom za tla pripišemo indeks 2. Specifično težo tal označimo z γ_2 . Karakteristične parametre tal podamo za začetno nedrenirano in za končno drenirano stanje. Karakteristične parametre nedreniranega stanja označimo s $\varphi_{u,2}$ in $c_{u,2}$, za drenirano stanje pa uporabimo oznake φ'_2 in c'_2 . Pri nedreniranem stanju tal moramo vpisati še najmanjšo vrednost izmerjene nedrenirane strižne trdnosti tal $\min c_{u,2}$ na globini h_4 .

3.2.3 Geosintetik

Geosintetik položimo na tla in nanj zgradimo nasip. Geosintetik je podan s kratkotrajno natezno trdnostjo $R_{B,k0}$ z delnimi faktorji A_1, A_2, A_3, A_4 , in A_5 in z delnim faktorjem za

materialno odpornost γ_M , ki so različni za začetno in za končno napetostno stanje. Od vrste geosintetika je odvisen tudi kompozitni koeficient λ . Geosintetik mora biti dovolj dolg, da poteka pod celotno širino nasipa B . V primeru, da bi prišlo do izvleka geosintetika iz nasipa, vgradimo daljši geosintetik od širine nasipa in ob straneh ovijemo sloj nasipa z geosintetikom. Geosintetik poteka vzdolž naklona brežin nasipa in ga na izbrani višini h_0 vgradimo v nasip. Dolžino geosintetika, ovitega okrog sloja nasipa, izračunamo z enačbo:

$$L_0 = h_3 / \tan \beta + h_0 / \sin \beta \quad (24)$$

Razdaljo med vrhom nasipa in geosintetikom, ovitim okrog sloja nasipa, označimo s h_3 in jo izračunamo z enačbo:

$$h_3 = h_1 - h_0 \quad (25)$$

Celotno dolžina geosintetika L izračunamo z enačbo:

$$L = B + 2 * L_0 \quad (26)$$

3.3 Mejno stanje nosilnosti

V mejnem stanju nosilnosti (GZ 1 – Grenzzustand 1, ULS – Ultimate Limite State) preiskujemo dokaze pred globalno porušitvijo nasipa po standardu DIN 4084 (GZ 1C, GEO), dokaz pred iztiskom tal pod nasipom za mejno stanje GZ 1C, GEO, in dokaz nosilnosti tal pod nasipom v skladu s standardoma DIN 1054 in DIN 4017 (GZ 1B, STR).

V dokazu pred globalno porušitvijo nasipa (GEO) preverimo porušitev po drsini krožne oblike, porušitev po vnaprej predvideni drsini in možnost zdrsa nasipa. Porušitev nasipa po drsini krožne oblike jaz nisem izvedel.

Dokaz nosilnosti tal preverimo v skladu s standardom DIN 1054, kadar preverjamo globoko stabilnost nasipov na malonosilnih tleh. Kadar preiskujemo nosilnost tal z relativno majhno globino tal ($h_2 \ll B$), izvedemo analize v skladu s standardom DIN 4017 za plitvo temeljenje ali pa preverimo samo globalno stabilnost (GEO) po standardu DIN 4084, ki je tudi največkrat odločujoča.

Dokaza nosilnosti tal pod nasipom (STR) nisem preverjal, ker je v analizi predpostavka, da porušna drsina, ki poteka čez tla, ne prereže geosintetika pod nasipom. To pomeni, da dokaz nosilnosti tal ni neposredno povezan z dimenzioniranjem geosintetika pod nasipom.

Konstrukcija se poruši, kadar so vpivi E_d večji od odpornosti R_d , zato lahko zapišemo splošni pogoj za mejno stanje nosilnosti: $E_d \leq R_d$.

Kadar pogoj mejnega stanja nosilnosti ni izpolnjen, lahko stabilnost nasipa povečamo z vgraditvijo geosintetikov. Vgrajeni geosintetik mora preprečiti porušitev nasipa in tal oziroma mora nadomestiti razliko med vplivi E_d in odpornostmi R_d znotraj konstrukcije.

Pri nasipu preiskujemo dokaze pred porušitvijo za začetno in končno stanje ločeno. V začetnem stanju lahko pričakujemo porušitev nasipa po drsini krožne oblike, po vnaprej predvideni drsini po najšibkejših ravninah v nasipu in tleh, zdrs dela nasipa in iztисnjenje tal pod nasipom. V končnem stanju lahko pride do porušitve nasipa po drsini krožne oblike ali pa do zdrsa dela nasipa.

Pri dimenzioniranju geosintetikov preiskujemo samo drsine, ki potekajo čez geosintetik (geosintetik prerežejo), in drsine, ki potekajo po ravnini, v kateri leži geosintetik.

3.3.1 Globalna porušitev nasipa

Dokaze pred globalno porušitvijo nasipa preverimo po standardu DIN 4084 za mejno stanje GEO. Splošni ravnotežni pogoj pred globalno porušitvijo nasipa lahko zapišemo z enačbo:

$$E_d \leq R_d + \min (R_{B,d}; R_{AL,d}; R_{AR,d}; R_{O,d}) \quad (27)$$

Ravnotežni pogoj mora biti izpolnjen za vse možne porušitve. V členu $\min (R_{B,d}; R_{AL,d}; R_{AR,d}; R_{O,d})$ so zajete odpornosti geosintetika, pri čemer je vedno merodajna najmanjša med njimi. $R_{B,d}$ je natezna odpornost geosintetika, $R_{AL,d}$ je odpornost geosintetika pred izvlekom za dolžino geosintetika levo od drsine (L_{AL}), $R_{AR,d}$ je odpornost geosintetika pred izvlekom za dolžino geosintetika desno od drsine (L_{AR}) in z $R_{O,d}$ je označena odpornost geosintetika pred zdrsom na zgornji strani geosintetika.

Iz ravnotežnih pogojev v mejnem stanju nosilnosti moramo določiti še del dolžine geosintetika, vzdolž katere se mobilizira odpornost pred izvlekom. To dolžino označimo z L_A . Merodajna je manjša razdalja med dolžino geosintetika levo (L_{AL}) ali desno (L_{AR}) od drsine.

V mejnem stanju GEO računamo s projektnimi strižnimi vrednostmi, ki jih dobimo iz karakterističnih vrednosti po enačbah:

$$\varphi'_{i,d} = \text{atan} (\tan \varphi'_{i,k} / \gamma_\varphi) \quad (28)$$

$$c'_{i,d} = c'_{i,k} / \gamma_c \quad (29)$$

$$\varphi_{U,i,d} = \text{atan} (\tan \varphi_{U,i,k} / \gamma_{\varphi U}) \quad (30)$$

$$c_{U,i,d} = c_{U,i,k} / \gamma_{cU} \quad (31)$$

$$\min c_{U,2,d} = \min c_{U,2,k} / \gamma_{cU} \quad (32)$$

Vrednosti delnih varnostnih faktorjev γ_φ , γ_c , $\gamma_{\varphi U}$ in γ_{cU} so podane v preglednici 5.

Drugo in tretje telo sta enakokraka trikotnika ob straneh prvega telesa. Pripisemo jima indeks 2 in 4. Drsina poteka od sloja z najnižjo strižno trdnostjo pod kotom 45° . Enakokraki trikotnik ima kraka enaka $b_2 = h_4$. Dolžino drsine $l_2 = l_4$ izračunamo s Pitagorovim izrekom:

$$l_2^2 = l_4^2 = b_2^2 + b_2^2 \quad (35)$$

Četrto telo ima obliko pravokotnega trikotnika, pripisemo mu indeks 1. Poznamo njegovo višino h_1 in kot α , pod katerim poteka drsina. Dolžino drsine l_1 izračunamo s sinusnim izrekom, njegovo širino b_1 pa s kosinusnim izrekom:

$$\alpha = 45^\circ + (\varphi'_{1,d} / 2) \quad (\text{enaka kot enačba 33})$$

$$l_1 = h_1 / \sin \alpha \quad (36)$$

$$b_1 = \cos \alpha * l_1 \quad (37)$$

Glede na geometrijo lamel izračunamo vplive E_d in odpornosti R_d za vsako lamelo posebej.

Na zdrs nasipa po vnaprej predvideni drsini vplivata lastna teža nasipa E_G in spremenljiva obtežba E_Q . Lastna teža nasipa je produkt površine telesa, prostorninske teže nasipa $\Upsilon_{1,k}$ in stalnega varnostnega faktorja Υ_G za mejno stanje GEO, čigar vrednost je podana v preglednici 4.

$$E_{G,1,d} = \frac{1}{2} * b_1 * h_1 * \Upsilon_{1,k} * \Upsilon_G \quad (38)$$

$$E_{G,2,d} = b_2 * h_1 * \Upsilon_{1,k} * \Upsilon_G + \frac{1}{2} * b_2 * h_4 * \Upsilon_{2,k} * \Upsilon_G \quad (39)$$

$$E_{G,3,d} = \frac{1}{2} * b_3 * h_1 * \Upsilon_{1,k} * \Upsilon_G + b_3 * h_4 * \Upsilon_{2,k} * \Upsilon_G \quad (40)$$

$$E_{G,4,d} = \frac{1}{2} * b_4 * h_4 * \Upsilon_{2,k} * \Upsilon_G \quad (41)$$

Spremenljiva obtežba E_Q je rezultanta linijske spremenljive obtežbe q_k , ki deluje na uporabni površini nasipa b . Vrednost spremenljivega varnostnega faktorja Υ_Q je podana v preglednici 5. Vpliv spremenljive obtežbe izračunamo z enačbama:

$$E_{Q,1,d} = b_1 * q_k * \Upsilon_Q \quad (42)$$

$$E_{Q,2,d} = b_2 * q_k * \Upsilon_Q \quad (43)$$

Zdrs nasipa po naprej predvideni drsini preprečujejo strižne sile $C_{i,d}$, ki delujejo vzporedno z drsinami in v nasprotni smeri drsenja telesa. Projektne strižne sile izračunamo z enačbami:

$$C_{1,d} = l_1 * c_{U,1,d} \quad (44)$$

$$C_{2,d} = l_2 * c_{U,2,d} \quad (45)$$

$$C_{3,d} = l_3 * \min c_{U,2,d} \quad (46)$$

$$C_{4,d} = l_4 * c_{U,2,d} \quad (47)$$

Za vplive ($E_{G_i,d}$, $E_{Q_i,d}$) in odpornosti ($C_{i,d}$) izračunamo njihove horizontalne komponente na drsino ($H_{i,d}$) in jih seštejemo. Horizontalne komponente izračunamo s sinusnim izrekom:

$$H_{1,d} = ((E_{G1,d} + E_{Q1,d}) / \sin (45^\circ + \varphi'_{1,d} / 2)) * \sin (45^\circ - \varphi'_{1,d} / 2) \quad (48)$$

$$H_{2,d} = E_{G,2,d} + E_{Q,2,d} - 2 * C_{2,d} * (\frac{1}{2})^{1/2} \quad (49)$$

$$H_{3,d} = -C_{3,d} \quad (50)$$

$$H_{4,d} = -E_{G,4,d} - 2 * C_{4,d} * (\frac{1}{2})^{1/2} \quad (51)$$

Vsoto vseh horizontalnih sil označimo z rez H (rez – rezultanta). To je sila, ki jo mora prevzeti geosintetik, da ostane predvideno porušno telo v ravnotežju.

$$\text{rez H} = H_{1,d} + H_{2,d} + H_{3,d} + H_{4,d} \quad (52)$$

Iz pogoja pred poružitvijo nasipa: $E_d \leq R_d + \min(R_{B,d}; R_{A,d})$, lahko v primeru, ko je odpornost manjša od vplivov ($R_d < E_d$), izračunamo zahtevano vrednost geosintetika, ki izpolni pogoj:

$$E_d - R_d \leq \min(R_{B,d}; R_{A,d}) \quad \text{ali v tem primeru:} \\ \text{rez H} \leq \min(R_{B,d}; R_{A,d}) \quad (53)$$

Enačba 53 pove, da mora imeti vgrajeni geosintetik projektno natezno trdnost $R_{B,d}$ in odpornost pred izvlekom $R_{A,d}$ večjo, kot je vsota vseh horizontalnih sil rez H.

Dolžina geosintetika L_A , vzdolž katere poteka odpornost pred izvlekom geosintetika $R_{A,d}$:

Kot rezultat preiskave zabeležimo še manjšo dolžino med dolžino geosintetika znotraj porušnega dela nasipa in dolžino geosintetika zunaj porušnega dela nasipa. Na sliki 2 je dolžina znotraj porušnega dela nasipa desno od drsine in jo označimo z L_{AR1} , dolžina geosintetika zunaj porušnega dela nasipa je levo od drsine in jo označimo z L_{AL1} .

Dolžino geosintetika znotraj porušnega dela nasipa (na sliki 2 je to dolžina L_{AR1}) izračunamo glede na geometrične robne pogoje in je enaka vsoti $l_b = h_1 / \tan \beta$ in širini drugega enakokrakega trikotnika $b_2 = h_4$.

$$L_{AR1} = l_b + b_2 \quad (54)$$

$$L_{AL1} = L - L_{AR1} \quad (55)$$

$$L_{A1} = \min(L_{AL1}; L_{AR1}) \quad (56)$$

V končnem stanju ni vnaprej predvidenih drsnih površin za malonosilna tla, zato končnega stanja ni mogoče analizirati na ta način.

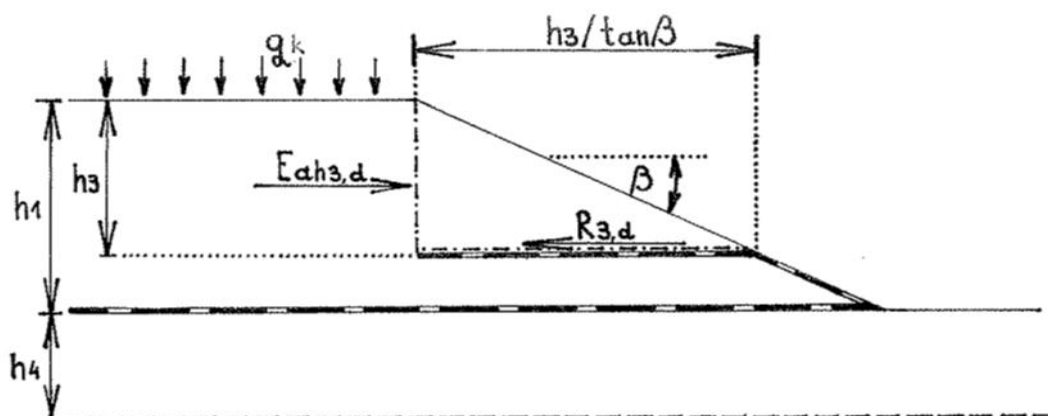
3.3.1.2 Zdrs dela nasipa nad geosintetikom oz. pod geosintetikom

Ravnini nad geosintetikom in pod geosintetikom sta mogoči zdrsni ravnini dela nasipa. Kadar v nasipu z geosintetikom ovijemo sloj nasipa, lahko del nasipa zdrsi tudi nad ovojem.

Zdrs nasipa po geosintetiku, s katerim ovijemo sloj nasipa:

Ravnotežni pogoj za zdrs po geosintetiku, s katerim ovijemo sloj nasipa, zapišemo z enačbo:

$$E_{ah,3,d} \leq R_{3,d} \quad (57)$$



Slika 3: Zdrs nasipa po ovojnici nasipa

Do zdrs po geosintetiku, s katerim ovijemo sloj nasipa, lahko pride v začetnem stanju.

Geosintetik ovijemo okrog sloja nasipa, kadar je potrebna odpornost pred izvlekom Erf. $R_{A,d}$ (Erf. – erforderlich – potreben) večja od dejanske odpornosti geosintetika pred izvlekom ($R_{A1,d} + R_{A2,d} < \text{Erf. } R_{A,d}$) že samo za eno od možnih porušitev (porušitev nasipa po vnaprej predvideni drsini, zdrs pod geosintetikom v začetnem in v končnem stanju, iztisk tal pod nasipom in porušitev po drsini krožne oblike v začetnem in v končnem stanju). V primeru, da je dejanska odpornost geosintetika pred izvlekom brez ovoja, za vse porušitve (porušitev nasipa po vnaprej predvideni drsini, zdrs pod geosintetikom v začetnem in v končnem stanju, iztisk tal pod nasipom in porušitev po drsini krožne oblike v začetnem in v končnem stanju) večje od potrebne ($R_{A1,d} + R_{A2,d} \geq \text{Erf. } R_{A,d}$), geosintetika ni potrebno oviti okrog sloja nasipa. Glej poglavje 3.4.2.

Z ovojem geosintetika okrog sloja nasipa se dejanska odpornost pred izvlekom bistveno poveča, saj povečamo dolžino trenja med geosintetikom in nasipom za dolžino ovoja. To je dobra stran vgraditve ovoja.

Z vgraditvijo ovoja pa se poveča verjetnost zdrs dela nasipa po ovoju, kar je slaba stran vgraditve ovoja.

Razdaljo med vrhom nasipa in geosintetikom, s katerim ovijemo sloj nasipa, označimo s h_3 , in jo imenujemo višina do geosintetika, ovitega okrog sloja nasipa. Razdaljo med tlemi in ovojem označimo s h_0 . Višino do ovoja h_3 izračunamo z enačbo:

$$h_3 = h_1 - h_0 \quad (\text{enako kot enačba 25})$$

Do zdrs dela nasipa pride zaradi prevelikega aktivnega horizontalnega pritiska nasipa, ki ga označimo z $E_{ah,3,d}$. Aktivni horizontalni pritisk nasipa nad geosintetikom, s katerim ovijemo sloj nasipa, izračunamo z enačbo:

$$E_{ah,3,d} = \gamma_G * (\gamma_{1,k} * 0,5 * h_3 * h_3 * K_{agh}) + \gamma_Q * (q_k * h_3 * K_{aqh}) \quad (58)$$

Vpliv $E_{ah,3,d}$ je vsota stalnega in spremenljivega horizontalnega pritiska na 1 meter širine sloja nasipa. Horizontalni stalni pritisk narašča z višino h_3 in ima obliko trikotnika. Na vrhu nasipa je enak 0, na višini h_3 pa je največji. Horizontalni pritisk zaradi spremenljive obtežbe q_k je vzdolž višine h_3 konstanten in ima zato obliko pravokotnika.

Koeficient aktivnega pritiska označimo s K_a in ga izračunamo z enačbo:

$$K_{agh} = K_{aqh} = \tan^2 (45^\circ - \varphi'_{1,k} / 2) \quad (59)$$

Odpornost pred zdrsom dela nasipa nad geosintetikom, s katerim ovijemo sloj nasipa, označimo z $R_{3,d}$ in izračunamo z enačbo:

$$R_{3,d} = \frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * (h_3 / \tan \beta) * h_3 * f_{1g,d} \quad (60)$$

Dolžino ovoja, vzdolž katerega poteka trenje, označimo z L_3 in izračunamo z enačbo:

$$L_3 = h_3 / \tan \beta \quad (61)$$

Odpornost pred zdrsom je odvisna od pritiska nasipa na geosintetik, ki je zajet v delu enačbe $\frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * (h_3 / \tan \beta) * h_3$ in od koeficienta trenja $f_{1g,d}$ med geosintetikom in nasipom. S povečevanjem višine h_3 (zmanjševanjem h_0), se povečujeta dolžina ovoja L_3 in tudi pritisk nasipa na ravnino geosintetika. Koeficient trenja $f_{1g,d}$ pa je odvisen od kompozitnega koeficienta λ , torej od vrste geosintetika, ki ga nameravamo vgraditi. Koeficient trenja izračunamo z enačbo:

$$f_{1g,d} = \lambda * \tan \varphi'_{1,d} \quad (\text{enaka kot enačba 14})$$

Ovoj je smiselno vgraditi pri nizkih strižnih kotih nasipa $\varphi'_{1,k}$. S povečevanjem strižnega kota nasipa $\varphi'_{1,k}$ se povečuje trenje med geosintetikom in nasipom, zaradi česar se povečuje odpornost pred izvlekom geosintetika $R_{A,d}$, kar pomeni, da se zmanjšuje verjetnost izvleka geosintetika iz zemljine in s tem tudi potreba po vgraditvi geosintetika okrog sloja nasipa. Odpornost pred izvlekom geosintetika $R_{A,d}$ je odvisna še od nedrenirane strižne trdnosti tal c_{u2} , od dreniranega strižnega kota tal $\varphi'_{2,k}$ in kompozitnega koeficienta λ . Glej poglavje 3.4.2.

Iz ravnotežnega pogoja pred zdrsom nad geosintetikom, ovitim okoli sloja nasipa, lahko izračunamo vrednost koeficienta trenja $f_{1g,d}$ in nato vrednost kompozitnega koeficienta λ , ki prepreči zdrs. Z izračunom kompozitnega koeficienta λ določimo vrsto geosintetika, ki ga bomo vgradili v nasip.

Predpostavimo, da je odpornost pred zdrsom nad ovajem geosintetika $R_{3,d}$ enaka vrednosti vplivov do višine ovoja $E_{ah,3,d}$:

$$\begin{aligned} E_{ah,3,d} &\leq R_{3,d} \\ E_{ah,3,d} &\leq \frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * (h_3 / \tan \beta) * h_3 * f_{1g,d} \\ f_{1g,d} &\geq (E_{ah,3,d} * 2) / (\gamma_{1,d} * (h_3 / \tan \beta) * h_3) \\ \lambda &\geq (E_{ah,3,d} * 2) / (\gamma_{1,d} * (h_3 / \tan \beta) * h_3 * \tan \varphi'_{1d}) \end{aligned} \quad (62)$$

Izračunani kompozitni koeficient ne more biti večji od 1, saj bo v tem primeru del nasipa zdrsel nad ovojem ne glede na vrsto vgrajenega geosintetika.

Od kompozitnega koeficienta λ je odvisna tudi odpornost pred izvlekom geosintetika $R_{A,d}$. V primeru, da vgradimo geosintetik, ki bo zagotovil večji kompozitni koeficient v primerjavi z izračunanim, se bo s tem povečala odpornost pred izvlekom in hkrati zmanjšala potreba po vgraditvi ovoja.

Zdrs nasipa nad geosintetikom:

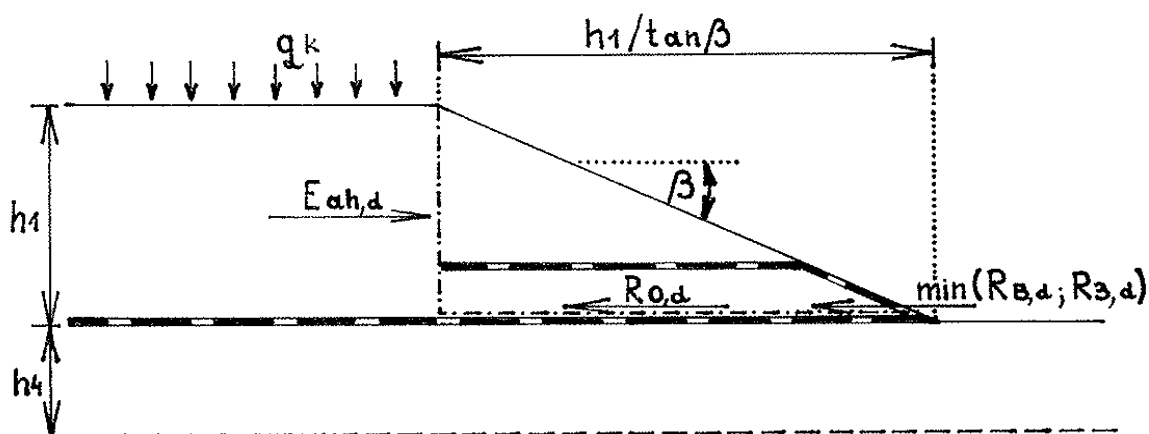
Do zdrsa nad geosintetikom lahko pride v začetnem stanju.

Ravnotežni pogoj pred zdrsom nasipa nad geosintetikom brez ovoja geosintetika okrog sloja nasipa zapišemo z enačbo:

$$E_{ah,d} \leq R_{O,d} \quad (63)$$

Ravnotežni pogoj pred zdrsom nasipa nad geosintetikom z ovojem geosintetika okrog sloja nasipa zapišemo z enačbo:

$$E_{ah,d} \leq R_{O,d} + \min(R_{B,d}; R_{3,d}) \quad (64)$$



Slika 4: Zdrs nad geosintetikom

Aktiven horizontalni pritisk nasipa, ki ga označimo z $E_{ah,d}$, in odpornost pred zdrsom nad geosintetikom, ki jo označimo z $R_{O,d}$ (O – oben – zgoraj), izračunamo z enačbama, ki sta enaki kot pri zdrsu nad geosintetikom, ovitim okrog sloja nasipa, le da tu upoštevamo višino nasipa h_1 namesto višine h_3 :

$$E_{ah,d} = \gamma_G * (\gamma_{1,k} * 0,5 * h_1 * h_1 * K_{agh}) + \gamma_Q * (q_k * h_1 * K_{aqk}) \quad (65)$$

$$K_{agh} = K_{aqh} = \tan^2(45^\circ - \varphi'_{1,k}/2) \quad (\text{enaka kot enačba 59})$$

$$R_{O,d} = \frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * (h_1 / \tan \beta) * h_1 * f_{1g,d} \quad (66)$$

Da bi preprečili zdrs dela nasipa nad geosintetikom, lahko izračunamo potrebni kompozitni koeficient λ iz ravnotežnega pogoja $E_{ah,d} \leq R_{O,d}$, pri čemer predpostavimo, da je odpornost pred zdrsom nad geosintetikom $R_{O,d}$ enaka vrednosti vplivov $E_{ah,d}$. Enačba za izračun λ je enaka kot pri zdrsuh nad geosintetikom, ovitim okrog sloja nasipa, le da tu upoštevamo vrednost celotne višine nasipa h_1 namesto h_3 . Vrednost kompozitnega koeficienta ne more biti večja kot 1,0 ($\lambda \leq 1,0$).

V primeru, da geosintetik ovijemo okrog sloja nasipa in da so aktivni horizontalni pritiski nasipa večji kot odpornost pred zdrsom nad geosintetikom $E_{ah,d} > R_{O,d}$, lahko iz ravnotežnega pogoja izračunamo minimalno potrebno projektno odpornost geosintetika $\min(R_{3,d}; R_{B,d})$.

$$\begin{aligned} E_{ah,d} &\leq R_{O,d} + \min(R_{3,d}; R_{B,d}) \\ E_{ah,d} - R_{O,d} &\leq \min(R_{3,d}; R_{B,d}) \end{aligned} \quad (67)$$

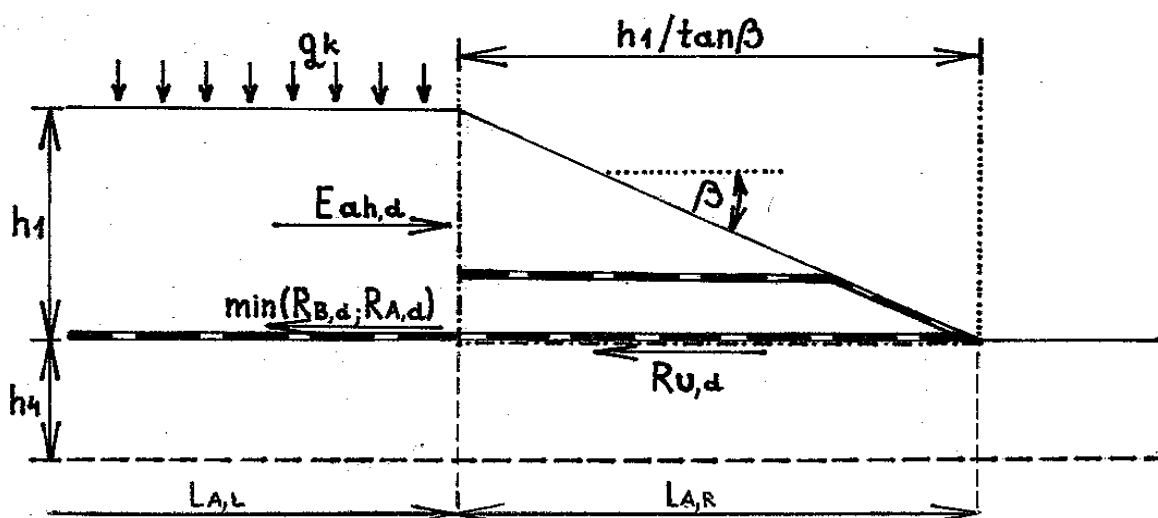
Kadar je izpolnjen ravnotežni pogoj nad ovojem $R_{3,d} \geq E_{ah,3,d}$, bo hkrati izpolnjen tudi ravnotežni pogoj nad geosintetikom $R_{O,d} \geq E_{ah,d}$. Zgornjo trditev lahko potrdimo z izračunom potrebnih kompozitnih koeficientov λ iz obeh pogojev. Pričakujemo lahko, da bo izračunani kompozitni koeficient nad geosintetikom, ovitim okrog sloja nasipa, večji kot izračunani kompozitni koeficient nad geosintetikom.

Zdrs nasipa pod geosintetikom:

Do zdrsa nasipa pod geosintetikom lahko pride v začetnem ali v končnem stanju. Splošni ravnotežni pogoj pred zdrsom nasipa pod geosintetikom zapišemo z enačbo:

$$E_{ah,d} \leq R_{U,d} + \min(R_{B,d}; R_{A,d}) \quad (68)$$

Zgornja enačba pove, da mora biti aktivni horizontalni pritisk nasipa $E_{ah,d}$ manjši ali enak vsoti odpornosti pred zdrsom pod geosintetikom, ki jo označimo z $R_{U,d}$ (U – unten – spodaj), in odpornostjo geosintetika $\min(R_{B,d}; R_{A,d})$.



Slika 5: Zdrs pod geosintetikom

Aktiven horizontalni pritisk nasipa $E_{ah,d}$ je enak kot pri zdrsuh nasipa nad geosintetikom. Glej enačbo 65.

Odpornost pred zdrsom pod geosintetikom $R_{U,d}$ izračunamo ločeno za začetno in za končno stanje. Odpornost pred zdrsom deluje vzdolž drsine, a v nasprotni smeri z drsečim telesom.

Odpornost pred zdrsom v začetnem stanju je enaka produktu nedrenirane strižne trdnosti tal $c_{U2,d}$ in dolžine drsečega dela nasipa, ki je v skladu z EBGeo enak $h_1 / \tan \beta$. Za začetno stanje izračunamo odpornost pred zdrsom pod geosintetikom z enačbo:

$$R_{U,d} = c_{U2,d} * h_1 / \tan \beta \quad (69)$$

Za končno stanje izračunamo odpornost pred zdrsom pod geosintetikom z enačbo:

$$R_{U,d} = c'_{2,d} * h_1 / \tan \beta + \frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * (h_1 / \tan \beta) * h_1 * f_{2g,d} \quad (70)$$

Odpornost pred zdrsom v končnem stanju je enaka vsoti med odpornostjo zaradi kohezije v ravnini pod geosintetikom in odpornostjo zaradi trenja med geosintetikom in tlemi, ki je posledica pritiska nasipa na geosintetik in koeficienta trenja $f_{2g,d}$ vzdolž geosintetika.

Koeficient trenja med geosintetikom in tlemi izračunamo z enako enačbo kot koeficient trenja med nasipom in geosintetikom, le da tu upoštevamo dreniran strižni kot tal $\varphi'_{2,d}$:

$$f_{2g,d} = \lambda * \tan \varphi'_{2,d} \quad (\text{enako kot enačba 14})$$

Kadar so vplivi nasipa v začetnem in/ali v končnem stanju večji kot odpornost tal pred zdrsom $E_{ah,d} > R_{U,d}$, lahko iz ravnotežnega pogoja izračunamo minimalno potrebno projektno odpornost geosintetika $\min(R_{B,d}; R_{A,d})$.

$$\begin{aligned} E_{ah,d} &\leq R_{U,d} + \min(R_{B,d}; R_{A,d}) \\ E_{ah,d} - R_{U,d} &\leq \min(R_{B,d}; R_{A,d}) \end{aligned} \quad (71)$$

Kadar ovijemo geosintetik okoli sloja nasipa in sta odpornost pred zdrsom nad geosintetikom $R_{O,d}$ in odpornost pred zdrsom pod geosintetikom $R_{U,d}$, za začetno in za končno stanje manjši od aktivnega horizontalnega pritiska nasipa $E_{ah,d}$ ($E_{ah,d} > R_{O,d}$ in $E_{ah,d} > R_{U,d}$), izračunamo minimalno projektno natezno trdnost geosintetika $R_{B,d}$ iz pogojev:

$$E_{ah,d} \leq R_{O,d} + \min(R_{3,d}; R_{B,d}) \quad (\text{enako kot enačba 64})$$

$$E_{ah,d} \leq R_{U,d} + \min(R_{B,d}; R_{A,d}) \quad (\text{enako kot enačba 68})$$

Med izračunanima projektnima trdnostima geosintetika $R_{B,d}$ upoštevamo večjo vrednost.

Projektna vrednost pred izvlekom $R_{A,d}$ je določena s pogojem pred zdrsom pod geosintetikom:

$$E_{ah,d} \leq R_{U,d} + \min(R_{B,d}; R_{A,d}) \quad (\text{enako kot enačba 68})$$

Kadar sta odpornosti pred zdrsom nad geosintetikom in pod geosintetikom v začetnem in končnem stanju večji od horizontalnih pritiskov nasipa ($E_{ah,d} \leq R_{O,d}$ in $E_{ah,d} \leq R_{U,d}$), geosintetikov ni potrebno dimenzionirati glede na dokaz pred zdrsom.

Dolžina geosintetika L_{Ai} , vzdolž katere poteka odpornost pred izvlekom geosintetika $R_{A,d}$:

Dokaz pred izvlekom geosintetika preverimo le za zdrs pod geosintetikom v začetnem in končnem stanju. Dokaza pred izvlekom za zdrs nad geosintetikom ne preverjamo.

Kadar ravnotežni pogoj pred zdrsom za začetno ali za končno stanje zahteva vgraditev geosintetikov, moramo določiti še dolžino geosintetika, vzdolž katere se mobilizira trenje, ki prepreči izvlek geosintetika L_A . Dolžino geosintetika pred izvlekom L_A v začetnem stanju označimo z L_{A2} , za končno stanje pa z L_{A3} .

Dolžina L_A je manjša od vrednosti med dolžino geosintetika znotraj drsečega dela nasipa in dolžino geosintetika zunaj drsečega dela nasipa. Na sliki 5 je dolžina znotraj drsečega dela nasipa desno od drsine, zato sem jo označil z L_{AR} . Dolžino geosintetika zunaj drsečega dela nasipa sem na sliki 5 označil z L_{AL} , saj je ta dolžina levo od drsine.

Glede na smernice EBGEO sem upošteval, da je dolžina geosintetika, vzdolž katere poteka trenje, enaka $h_1 / \tan \beta$.

$$L_{ARi} = h_1 / \tan \beta \quad (72)$$

$$L_{ALi} = L - L_{ARi} \quad (73)$$

$$L_{Ai} = \min (L_{ARi} ; L_{ALi}) \quad i = 2 \text{ in } 3 \quad (74)$$

Pri globalni analizi nasipa je potrebno preveriti še porušitev nasipa po drsini krožne oblike za začetno in končno stanje, česar jaz zaradi zelo velikega števila možnosti nisem naredil. Globalna analiza nosilnosti nasipa je s tem zaključena. Prej ko zgradimo nasip, je potrebno preveriti, ali tla sploh prenesejo obremenitev nasipa. Preveriti moramo dokaz pred iztiskom tal v mejnem stanju GEO in dokaz nosilnosti tal v mejnem stanju STR. Dokaza nosilnosti tal nisem obravnaval, saj dokaz ni povezan z dimenzioniranjem geosintetika pod nasipom.

3.3.2 Dokaz pred iztiskom tal

Dokaz pred iztiskom tal pod nasipom izračunamo za ravnotežno stanje GEO.

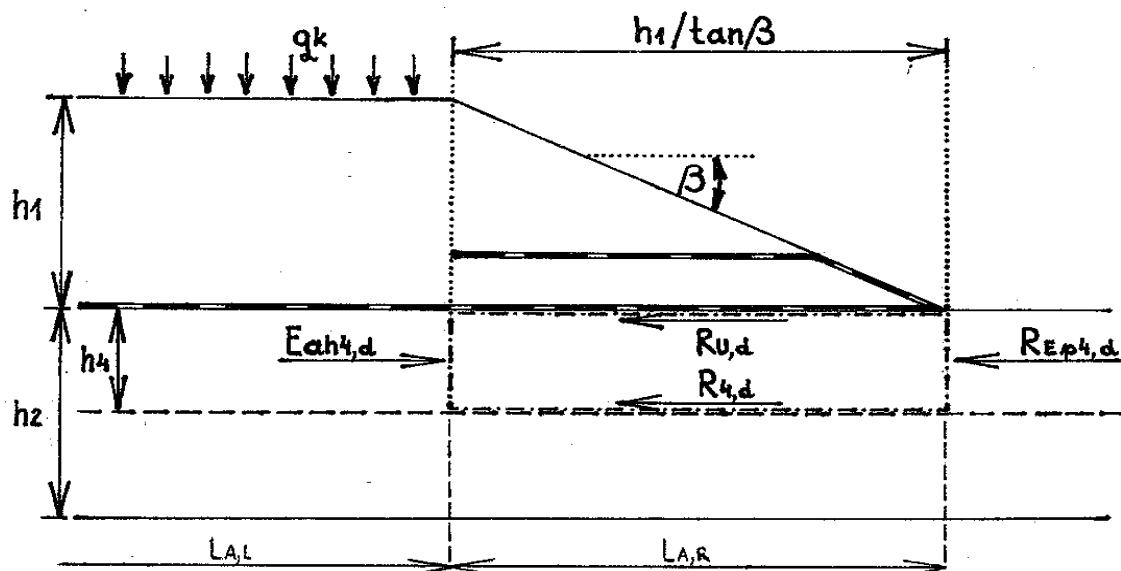
Pod nasipom lahko v začetnem stanju pride do iztiska tal zaradi dodatne obtežbe nasipa. Če je izpolnjen pogoj, da je vrednost vplivov $E_{ah4,d}$ manjša od vsote odpornosti tal $R_{Ep4,d} + R_{U,d} + R_{4,d}$, je varnost pred iztiskom tal zagotovljena. Prvi pogoj pred iztiskom tal zapišemo:

$$E_{ah4,d} \leq R_{Ep4,d} + R_{U,d} + R_{4,d} \quad (75)$$

V primeru, da je izpolnjen prvi pogoj pred iztiskom tal, mora vgrajeni geosintetik ustrezati še drugemu pogoju pred iztiskom tal. Drugi pogoj pred iztiskom tal zapišemo z enačbo:

$$R_{U,d} \leq \min(R_{B,d}; R_{A,d}) \quad (76)$$

$$c_{U2,d} * h_1 / \tan \beta \leq \min(R_{B,d}; R_{A,d})$$



Slika 6: Iztisnjenje tal pod nasipom

Vpliv nasipa povzroči v tleh horizontalen aktiven pritisk $E_{ah4,d}$, ki ga lahko za nedrenirane pogoje izračunamo z enačbo:

$$E_{ah4,d} = \gamma_G * (\gamma_{1,k} * h_1 * h_4 + 0,5 * \gamma_{2,k} * h_4^2 - 2 * c_{U2,k} * h_4) + \gamma_Q * (q_k * h_4) \quad (77)$$

V zgornji enačbi je upoštevana vrednost nedreniranega strižnega kota $\varphi_{U,2,k} = 0$, zato je vrednost koeficienta aktivnega zemeljskega pritiska:

$$K_{agh} = K_{aqh} = \tan^2(45^\circ - \varphi_{U,2,k} / 2) = 1,0 \quad (78)$$

Rezultanto aktivnih horizontalnih zemeljskih pritiskov izračunamo z enačbo:

$$E_a = p_a * h = (p_b * k_a - 2 * c * k_a^{1/2}) * h \quad (79)$$

p_b je vertikalna obtežba

k_a je koeficient aktivnega zemeljskega pritiska; izračuna se enako kot K_{agh}

c je kohezijska trdnost

h je višina

Iz enačbe za izračun horizontalnega aktivnega pritiska tal $E_{ah4,d}$ vidimo, da je pritisk premo sorazmeren z višino nasipa h_1 in obratno sorazmeren z nedrenirano strižno trdnostjo tal c_{U2} . Pritisk nasipa je največji, ko je nedrenirana strižna trdnost tal c_{U2} čim manjša in ko je globina h_4 največja. Globina h_4 je največja, ko je enaka globini h_2 ($h_4 = h_2$).

Horizontalni aktivni zemeljski pritisk poskuša izpodriniti del zemljine pod nasipom, ki pa se izpodrivanju upira. Pred izpodrinjenim blokom zemljine deluje horizontalni pasivni zemeljski pritisk $R_{Ep4,d}$, ki je reakcijska sila horizontalnega aktivnega zemeljskega pritiska $E_{ah4,d}$.

Horizontalni pasivni zemeljski pritisk izračunamo z enačbo:

$$R_{Ep4,d} = 0,5 * \gamma_{2,d} * h_4^2 + 2 * c_{U2,d} * h_4 \quad (80)$$

Tudi tu je upoštevana vrednost $\varphi_{U,2,k} = 0$, zato je koeficient pasivnega zemeljskega pritiska:

$$K_{pgh} = K_{pqh} = \tan^2 (45^\circ + \varphi_{U,2,k} / 2) = 1,0 \quad (81)$$

Rezultanto pasivnih horizontalnih zemeljskih pritiskov izračunamo z enačbo:

$$E_p = p_p * h = (p_b * k_p + 2 * c * k_p^{1/2}) * h \quad (82)$$

k_p je koeficient pasivnega zemeljskega pritiska; izračuna se enako kot K_{agh}

Izpodrivanju se zemeljski blok upira še s trenjem v svoji zgornji in spodnji ravnini. Trenje poteka vzdolž dolžine izpodrinjenega zemeljskega bloka L_b in je odvisno še od nedrenirane strižne trdnosti tal v ravnini trenja. Kadar imamo homogena tla, je trenje na zgornji in spodnji strani enako, pri nehomogenem modelu pa imamo različno strižno trdnost in zato različno vrednost trenja. Spodnja ravnina zemeljskega bloka poteka v ravnini z najmanjšo nedrenirano strižno trdnostjo tal (min c_U).

Odpornost pred iztiskom na spodnji strani zemeljskega bloka $R_{4,d}$ izračunamo z enačbo:

$$R_{4,d} = \min c_{U2,d} * h_1 / \tan \beta \quad (83)$$

Odpornost pred iztiskom na zgornji strani zemeljskega bloka $R_{U,d}$ izračunamo z enačbo:

$$R_{U,d} = c_{U2,d} * h_1 / \tan \beta \quad (\text{enaka kot enačba 69})$$

Enačbe za izračun odpornosti izpodrinjenega dela zemljine pokažejo, da odpornost pred iztiskom narašča, če povečujemo nedrenirano strižno trdnost tal c_{U2} in če povečujemo globino h_4 . Vsota odpornosti je v primeru, ko sta nedrenirana strižna trdnost tal c_{U2} in globina h_4 najmanjša, prav tako najmanjša ($R_{Ep4,d} + R_{U,d} + R_{4,d} = \min$). V tem primeru je tudi vrednost aktivnih horizontalnih pritiskov najmanjša ($E_{ah4,d} = \min$).

V primeru, da je izpolnjen prvi pogoj pred iztiskom tal, mora vgrajeni geosintetik ustrezati drugemu pogoju pred iztiskom tal. Drugi pogoj zahteva, da je trenje na zgornji strani zemeljskega bloka $R_{U,d}$ manjše, kot sta projektna natezna trdnost geosintetika $R_{B,d}$ in odpornost pred izvlekom geosintetika iz zemljine $R_{A,d}$. Če bi bilo trenje v zgornji ravnini večje, bi lahko pretrgalo geosintetik ali pa bi geosintetik izvleklo iz zemljine.

Drugi pogoj pred iztiskom tal zapišemo z enačbo:

$$R_{U,d} \leq \min (R_{B,d}; R_{A,d}) \quad (\text{enaka kot enačba 76})$$
$$c_{U2,d} * h_1 / \tan \beta \leq \min (R_{B,d}; R_{A,d})$$

Ta pogoj upoštevamo samo tedaj, ko smo že v dokazu za porušitev nasipa krožne oblike, v dokazu porušitve nasipa po vnaprej določeni drsni ploskvi in v dokazu pred zdrsom dela nasipa pod geosintetikom določili, da bomo vgradili geosintetik. V primeru, da naštetih dokazov ne zahtevajo vgraditve geosintetika, tega pogoja ne upoštevamo. Takrat upoštevamo samo prvi pogoj pred iztiskom tal in kadar je izpolnjen prvi pogoj, lahko zgradimo nasip.

Dolžina geosintetika L_A , vzdolž katere poteka odpornost pred izvlekom geosintetika $R_{A,d}$:

Dolžina L_{A4} je manjša vrednost med dolžino geosintetika, ki poteka vzdolž iztisnenega dela tal pod nasipom, in dolžino geosintetika zunaj iztisnenja tal. Na sliki 6 je dolžina geosintetika vzdolž iztisnenega dela tal pod nasipom desno od drsine, zato sem jo označil z L_{AR4} , dolžino geosintetika zunaj iztisnenja dela tal pa levo od drsine, zato sem jo označil z L_{AL4} .

Glede na EBGeo in na primer na sliki 6 je dolžina L_{AR4} enaka dolžini $h_1 / \tan \beta$. Dolžino geosintetika, vzdolž katere poteka odpornost pred izvlekom, izračunamo z enačbami:

$$L_{AR4} = h_1 / \tan \beta \quad (84)$$

$$L_{AL4} = L - L_{AR4} \quad (85)$$

$$L_{A4} = \min (L_{AR4}; L_{AL4}) \quad (86)$$

3.4 Izbira geosintetikov

3.4.1 Natezna trdnost geosintetika $R_{B,d}$

Iz dokaza za porušitev nasipa krožne oblike v začetnem in končnem stanju, dokaza porušitve nasipa po vnaprej določeni drsni ploskvi, dokaza pred zdrsom dela nasipa pod geosintetikom v začetnem in končnem stanju in dokaza pred iztiskom tal smo določili minimalne projektne natezne trdnosti geosintetika $R_{B,d}$, ki preprečijo porušitev nasipa. Med vsemi izračunanimi nateznimi trdnostmi geosintetikov izberemo največjo za začetno stanje in največjo za končno stanje ($\max R_{B,d}$) in izračunamo minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetika ($\min R_{B,k0}$) za začetno in za končno stanje ločeno z enačbo:

$$\min R_{B,k0} = \max R_{B,d} * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * \gamma_M \quad (87)$$

Delni faktorji A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 in koeficient materialne odpornosti γ_M so različni za začetno in za končno stanje. Odločilna je večja vrednost med izračunano minimalno kratkotrajno natezno trdnostjo za začetno in za končno stanje.

Maksimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov $\max R_{B,k0}$, ki jih je še smotrno vgraditi v nasip, prav tako izračunamo ločeno za začetno in za končno stanje in upoštevamo

manjšo med njima. $\max R_{B,k0}$ izračunamo iz predpostavke, da sta projektna natezna trdnost in najmanjša dejanska odpornost geosintetika pred izvlekom enaki, $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} = R_{B,d}$. Med vsemi dejanskimi odpornostmi pred izvlekom upoštevamo najmanjšo $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}$ in izračunamo maksimalno kratkotrajno natezno trdnost z enačbo:

$$\max R_{B,k0} = \min (R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * \gamma_M \quad (88)$$

V primeru, da bi imel vgrajeni geosintetik večjo projektno natezno trdnost od odpornosti geosintetika pred izvlekom, razlike med natezno trdnostjo geosintetika in odpornostjo pred izvlekom nikoli ne bi izkoristili, saj bi se geosintetik vedno prej iztrgal iz zemljine.

3.4.2 Dokaz pred izvlekom geosintetikov iz zemljine $R_{A,d}$

Glede na zahtevane minimalne odpornosti geosintetika pred izvlekom $R_{A,d}$, ki smo jih izračunali iz ravnotežnih pogojev, izračunamo še dejansko odpornost geosintetika pred izvlekom za dokaz pred poružitvijo nasipa krožne oblike v začetnem in končnem stanju, za dokaz pred poružitvijo nasipa po vnaprej določeni drsni ploskvi, za dokaz pred zdrsom dela nasipa pod geosintetikom v začetnem in končnem stanju in za dokaz pred iztiskom tal.

Možnost izvleka geosintetika preverimo za del geosintetika, ki smo ga označili z L_{Ai} . Za ta del geosintetika izračunamo odpornost trenja nad in pod geosintetikom. Vsota trenj nad in pod geosintetikom je dejanska odpornost geosintetika pred izvlekom in mora biti večja od izračunane minimalne odpornosti geosintetika pred izvlekom $Erf R_{A,d}$ (Erf – erforderlich – zahtevan). Pogoju pred izvlekom geosintetika iz konstrukcije zapišemo:

$$R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} \geq Erf R_{A,d} \quad (89)$$

V začetnem stanju izračunamo odpornost pred izvlekom za zgornji del geosintetika z enačbo:

$$R_{A,1g,d} = (G_{L_{Ai,k}} * f_{1g,k}) / \gamma_B \quad (90)$$

Varnostni faktor γ_B , ki ga upoštevamo za izračun vseh odpornosti pred izvlekom, je iz mejnega stanja GEO, njegove vrednosti pa so zapisane v preglednici 5.

V začetnem stanju izračunamo odpornost pred izvlekom za spodnji del geosintetika z enačbo, pri čemer je $a_k = c_{U,k}$:

$$R_{A,2g,d} = (L_{Ai} * a_k) / \gamma_B \quad (91)$$

Če je dolžina aktivne strani geosintetika večja kot dolžina naklona nasipa ($L_{Ai} > l_b = h_1 / \tan \beta$), lastno težo drsečega dela nasipa nad geosintetikom $G_{L_{Ai,k}}$ izračunamo z enačbo:

$$G_{L_{Ai,k}} = (L_{Ai} - h_1 / \tan \beta) * h_1 * \gamma_{1,k} + 0,5 * \gamma_{1,k} * h_1 * h_1 / \tan \beta \quad (92)$$

Če je dolžina aktivne strani geosintetika manjša ali enaka dolžini brežine ($L_{Ai} \leq l_b = h_1 / \tan \beta$), lastno težo drsečega dela nasipa nad geosintetikom $G_{L_{Ai,k}}$ izračunamo z enačbo:

$$G_{L_{Ai,k}} = 0,5 * \tan \beta * L_{Ai} * L_{Ai} * \gamma_{1,k} \quad (93)$$

V končnem stanju je odpornost pred izvlekom nad geosintetikom enaka kot v začetnem stanju. Odpornost pred izvlekom pod geosintetikom izračunamo z enačbo:

$$R_{A,2g,d} = (G_{L_{Ai,k}} * f_{2g,k}) / \gamma_B \quad (94)$$

Kadar pogoj pred izvlekom za enega od dokazov (dokaz pred poružitvijo nasipa krožne oblike v začetnem in končnem stanju, dokaz pred poružitvijo nasipa po vnaprej določeni drsni ploskvi, dokaz pred zdrsom dela nasipa pod geosintetikom v začetnem in končnem stanju in dokaz pred iztiskom tal) ni izpolnjen, ovijemo geosintetik okrog sloja nasipa. Ovoj geosintetika okrog sloja nasipa bistveno poveča odpornost geosintetika pred izvlekom. Pogoj pred izvlekom geosintetika iz nasipa sedaj zapišemo:

$$R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,U_{m,d}} \geq \text{Erf } R_{A,d} \quad (95)$$

Odpornost pred izvlekom za del geosintetika, ovitega okrog sloja nasipa, je enaka v začetnem in končnem stanju in jo izračunamo z enačbo:

$$R_{A,U_{m,d}} = (2 * G_{U_{m,k}} * f_{1g,k}) / \gamma_B \quad (96)$$

Lastno težo nasipa nad delom geosintetika, ovitim okrog sloja nasipa $G_{U_{m,k}}$, izračunamo:

$$G_{U_{m,k}} = 0,5 * L_3 * h_3 * \gamma_{1,k} \quad (97)$$

$$L_3 = h_3 / \tan \beta \quad (\text{enako kot enačba 61})$$

$$h_3 = h_1 - h_0 \quad (\text{enako kot enačba 57})$$

Kadar pogoj pred izvlekom ni izpolnjen ($R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,U_{m,d}} < \text{Erf } R_{A,d}$), moramo vgraditi geosintetik, ki bo povečal kompozitni koeficient λ . Zahtevani kompozitni koeficient za začetno stanje izračunamo z enačbo:

$$\begin{aligned} & (G_{L_{Ai,k}} * f_{1g,k}) / \gamma_B + (a_k * L_{Ai}) / \gamma_B + (2 * G_{U_{m,k}} * f_{1g,k}) / \gamma_B \geq R_{A,d} \\ & (G_{L_{Ai,k}} * f_{1g,k}) / \gamma_B + (2 * G_{U_{m,k}} * f_{1g,k}) / \gamma_B \geq R_{A,d} - (a_k * L_{Ai}) / \gamma_B \\ & (G_{L_{Ai,k}} + 2 * G_{U_{m,k}}) * f_{1g,k} \geq R_{A,d} * \gamma_B - (a_k * L_{Ai}) \\ & f_{1g,k} \geq (R_{A,d} * \gamma_B - (a_k * L_{Ai})) / (G_{L_{Ai,k}} + 2 * G_{U_{m,k}}) \\ & \lambda \geq (R_{A,d} * \gamma_B - (a_k * L_{Ai})) / ((G_{L_{Ai,k}} + 2 * G_{U_{m,k}}) * \tan \varphi'_{1,k}) \end{aligned} \quad (98)$$

Zahtevani kompozitni koeficient geosintetika za končno stanje izračunamo z enačbo:

$$\begin{aligned} & (G_{L_{Ai,k}} * f_{1g,k}) / \gamma_B + (G_{L_{Ai,k}} * f_{2g,k}) / \gamma_B + (2 * G_{U_{m,k}} * f_{1g,k}) / \gamma_B \geq R_{A,d} \\ & (G_{L_{Ai,k}} * \lambda * \tan \varphi'_{1,k}) / \gamma_B + (G_{L_{Ai,k}} * \lambda * \tan \varphi'_{2,k}) / \gamma_B + (2 * G_{U_{m,k}} * \lambda * \tan \varphi'_{1,k}) / \gamma_B \geq R_{A,d} \\ & \lambda * ((G_{L_{Ai,k}} * \tan \varphi'_{1,k}) / \gamma_B + (G_{L_{Ai,k}} * \tan \varphi'_{2,k}) / \gamma_B + (2 * G_{U_{m,k}} * \tan \varphi'_{1,k}) / \gamma_B) \geq R_{A,d} \\ & \lambda \geq R_{A,d} * \gamma_B / ((G_{L_{Ai,k}} * \tan \varphi'_{1,k}) + (G_{L_{Ai,k}} * \tan \varphi'_{2,k}) + (2 * G_{U_{m,k}} * \tan \varphi'_{1,k})) \end{aligned} \quad (99)$$

Vedno upoštevamo večjo vrednost kompozitnega koeficienta med izračunano iz ravnotežnega pogoja pred zdrsom in iz pogoja pred izvlekom geosintetika. Kadar je pogoj

pred izvlekom geosintetika brez ovojnice izpolnjen ($R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} \geq \text{Erf. } R_{A,d}$), kompozitnega koeficienta za zdrs nad ovojnico ne upoštevamo.

V primeru, da je izračunani kompozitni koeficient $\lambda \geq 1$, moramo podaljšati ovoj geosintetika. S tem povečamo trenje med nasipom in geosintetikom in otežimo izvlek geosintetika.

Podaljšano dolžino geosintetika, ovitega okrog sloja nasipa, izračunamo z enačbo:

$$L_{3, \text{PODALJŠAN}} = h_3 / \tan \beta + (R_{A,d} - (R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,Um,d})) * \gamma_B / 2 * f_{1g,k} * h_3 * \gamma_{1,d} \quad (100)$$

Maksimalna dolžina ($\max L_3$) geosintetika, ki ga ovijemo okrog sloja nasipa, je lahko dolga toliko, da se ovojnici na levi in desni strani nasipa stikata. Tako sklenemo obroč. Maksimalno dolžino ovojnice izračunamo z enačbo:

$$\max L_3 = (B - h_0 / \tan \beta * 2) / 2 \quad (101)$$

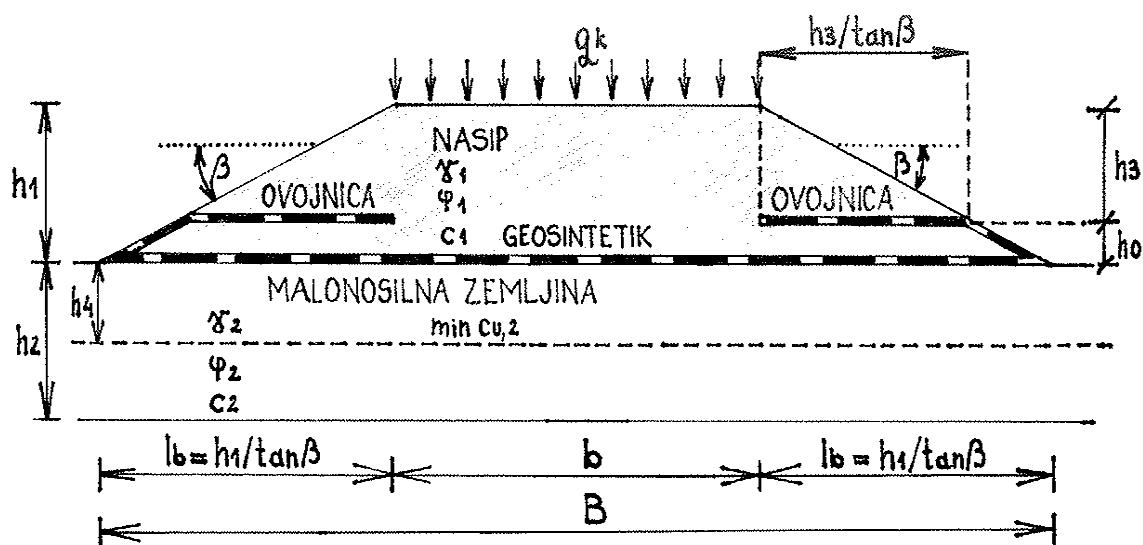
Odpornost pred izvlekom nad podaljšanim geosintetikom, ovitim okrog sloja nasipa ($\text{PODALJŠANA } R_{A,Um,d}$), izračunamo z enačbo:

$$\text{PODALJŠANA } R_{A,Um,d} = (2 * ((L_{Ai} - h_3 / \tan \beta) * h_3 * \gamma_{1,k} + 0,5 * \gamma_{1,k} * h_3 * h_3 / \tan \beta) * f_{1g,k}) / \gamma_B \quad (102)$$

Pogoj pred izvlekom geosintetika sedaj zapišemo:

$$R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + \text{PODALJŠANA } R_{A,Um,d} \geq R_{A,d} \quad (103)$$

3.5 Primer: Nasip na malonosilnih tleh



Slika 7: Nasip na malonosilnih tleh, primer

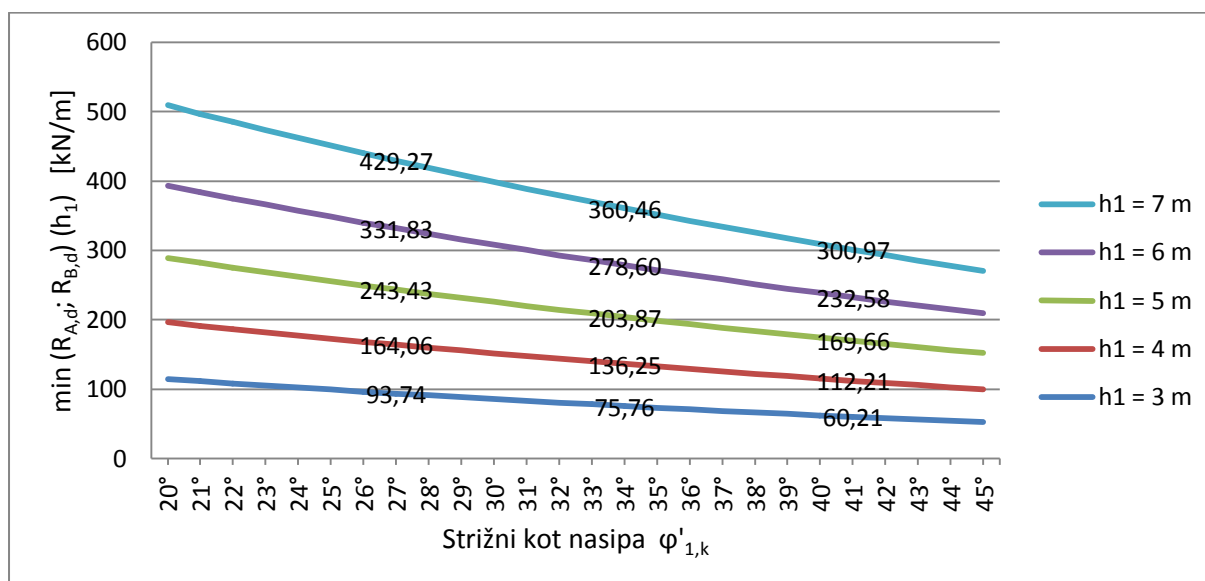
Osnovni podatki:

| | |
|-------------------------------------|---|
| Zunanja obtežba: | $q_k = 25,0 \text{ kN/m}^2$ |
| Višina nasipa: | $h_1 = \text{od } 3,0 \text{ m do } 15,0 \text{ m}$ |
| Širina nasipa: | $b = 12,0 \text{ m}$ |
| Naklon brežin nasipa: | $\tan \beta = h_1 / l_b = 0,50$ |
| Višina geosintetičnega ovoja: | $h_0 = 0,50 \text{ m}$ |
| Globina tal: | $h_2 = 4,0 \text{ m}$ |
| Globina najšibkejšega sloja v tleh: | $h_4 = 2,0 \text{ m}$ |

| | Nasip: | Temeljna tla: |
|---------------------------------|---|---|
| | $\gamma_{1,k} = 20,0 \text{ kN/m}^3$ | $\gamma_{2,k} = 15,0 \text{ kN/m}^3$ |
| Dreniran strižni kot: | $\varphi'_{1,k} = \text{od } 20^\circ \text{ do } 45^\circ$ | $\varphi'_{2,k} = 20^\circ$ |
| Drenirana kohezijska trdnost: | $c'_{1,k} = 0$ | $c'_{2,k} = 0$ |
| Nedreniran strižni kot: | $\varphi_{u,1,k} = -$ | $\varphi_{u2,k} = 0$ |
| Nedrenirana kohezijska trdnost: | $c_{u,1,k} = -$ | $c_{u2,k} = 20,0 \text{ kN/m}^2$ $\min c_{u2,k} = 10,0 \text{ kN/m}^2$ |

Zmanjševalni faktorji za začetno stanje: $A_1 = 1,4; A_2 = 1,2; A_3 = 1,0; A_4 = 1,0; A_5 = 1,0$
Obtežbeni primer 2 za začetno stanje: $\gamma_M = 1,3$

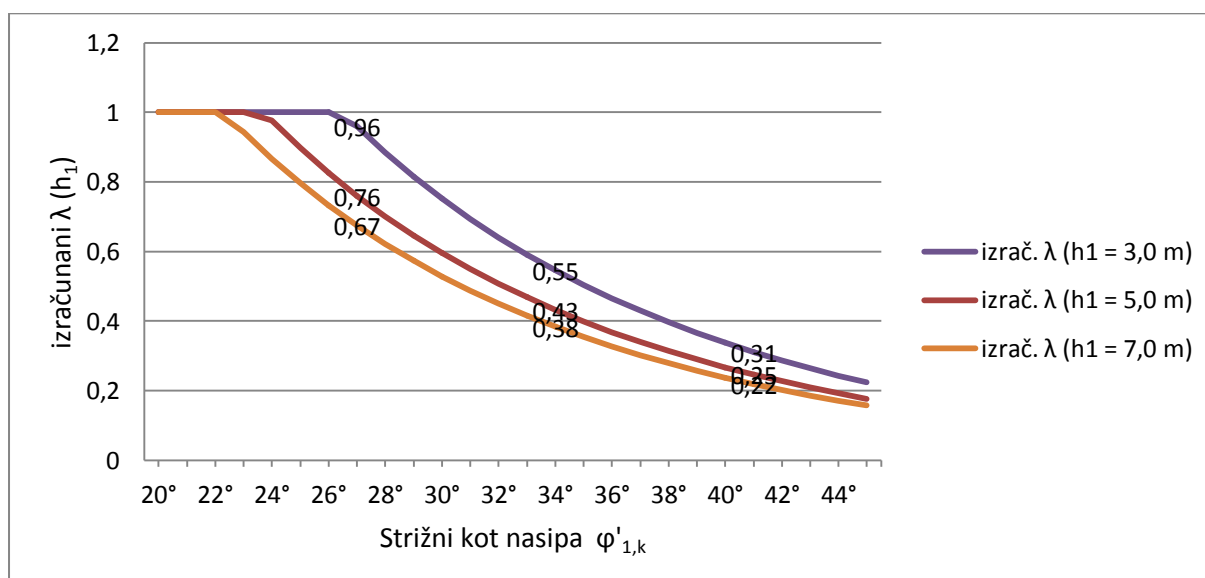
Zmanjševalni faktorji za končno stanje: $A_1 = 2,5; A_2 = 1,2; A_3 = 1,0; A_4 = 1,4; A_5 = 1,0$
Obtežbeni primer 1 za končno stanje: $\gamma_M = 1,4$

Vnaprej predvidena drsina**Grafikon 1:** Minimalna odpornost geosintetikov za vnaprej predvideno drsino

Rezultati v grafikonu 1 so podani za strižni kot nasipa $\varphi'_{1,k} = 27^\circ, 34^\circ$ in 41° .

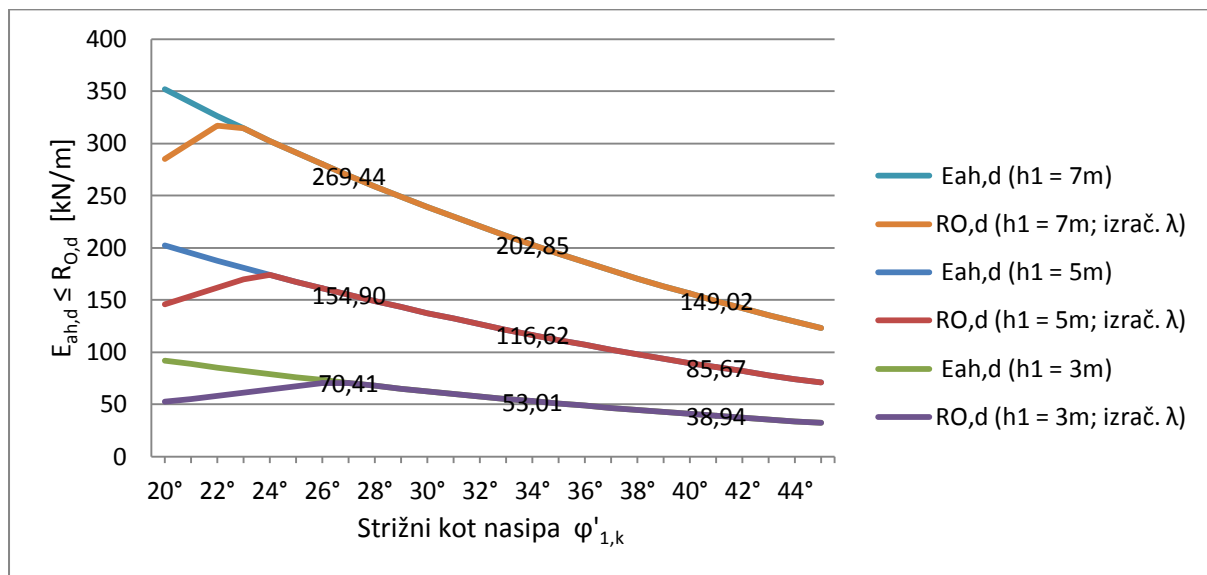
Dokaz pred zdrsom nasipa nad geosintetikom

Iz ravnovesnega pogoja pred zdrsom nad geosintetikom ($E_{ah,d} \leq R_{O,d}$) izračunamo vrednosti kompozitnega koeficienta λ . V grafikonu 2 vidimo, da se vrednosti kompozitnega koeficienta λ zmanjšujejo, če povečujemo višino nasipa h_1 . Rezultati v grafikonu 2 in 3 so podani za strižni kot nasipa $\varphi'_{1,k} = 27^\circ, 34^\circ$ in 41° .

**Grafikon 2:** Izračunane vrednosti kompozitnega koeficienta λ glede na dokaz $E_{ah,d} \leq R_{O,d}$

Z izračunanimi vrednostmi kompozitnega koeficienta λ izračunamo odpornosti pred zdrsom nad geosintetikom. Grafikon 3 pokaže, da se vrednosti vplivov in odpornosti prekrivajo, kar

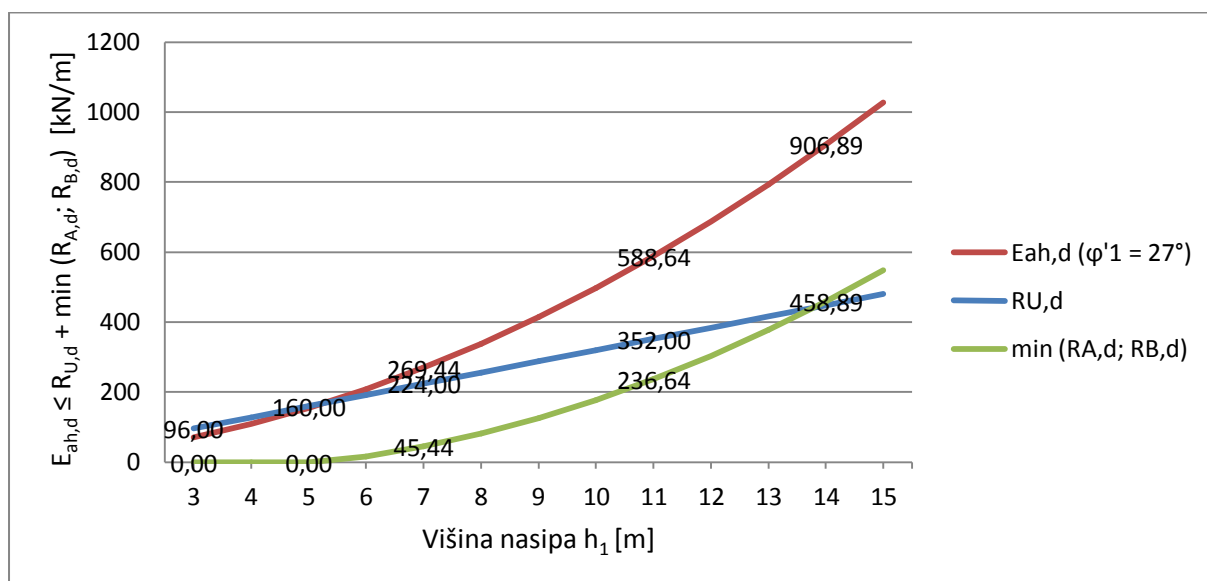
pomeni, da so vrednosti enake in da je dokaz pred zdrsom nad geosintetikom $E_{ah,d} \leq R_{O,d}$ izpolnjen. Grafikon 3 tudi pokaže, da dokaz pred zdrsom za primere, ko so odpornosti $R_{O,d}(h_1)$ pod vplivi $E_{ah,d}(h_1)$, ni izpolnjen in bo zato del nasipa zdrsel po geosintetiku. Za višino nasipa $h_1 = 3,0$ m in strižni kot 27° lahko preprečimo zdrs nasipa po geosintetiku, če vgradimo geosintetik, ki bo zagotovil dovolj veliko trenje, da bo $\lambda \geq 0,96$.



Grafikon 3: Dokaz pred zdrsom nasipa nad geosintetikom

Dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v začetnem stanju

Grafikon 4 prikazuje dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v začetnem stanju za različne višine nasipa h_1 in strižni kot nasipa 27° . Do višine nasipa $h_1 = 5,0$ m je pogoj izpolnjen brez vgraditve geosintetika. Za nasipe višje od 5,0 m pa je potrebno vgraditi geosintetik, ki bo nadomestil razliko $E_{ah,d}$ in $R_{U,d}$.

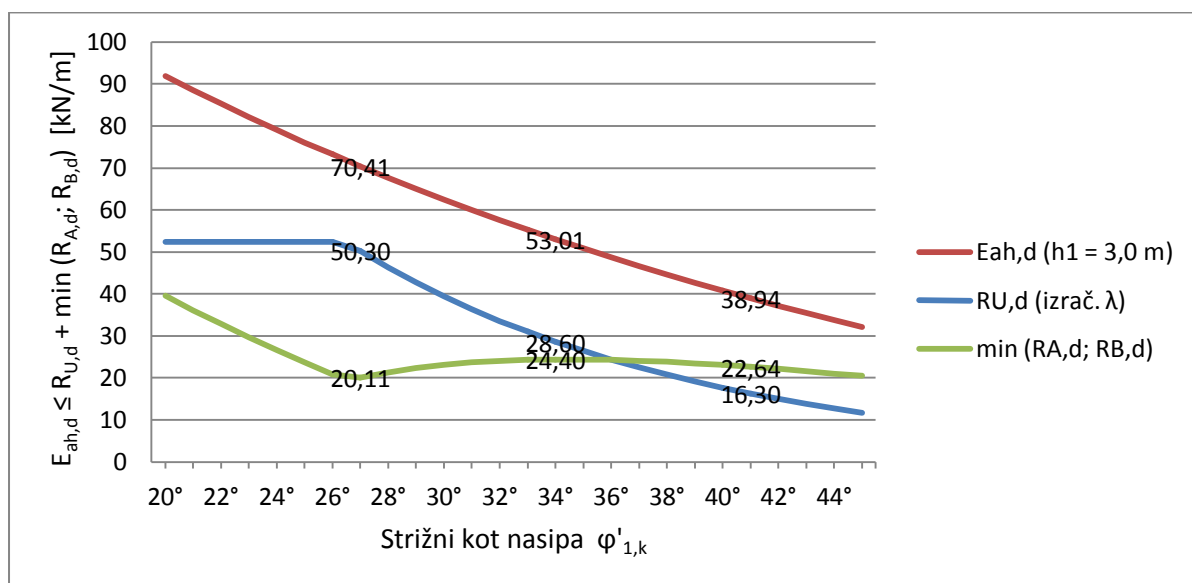


Grafikon 4: Dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v začetnem stanju

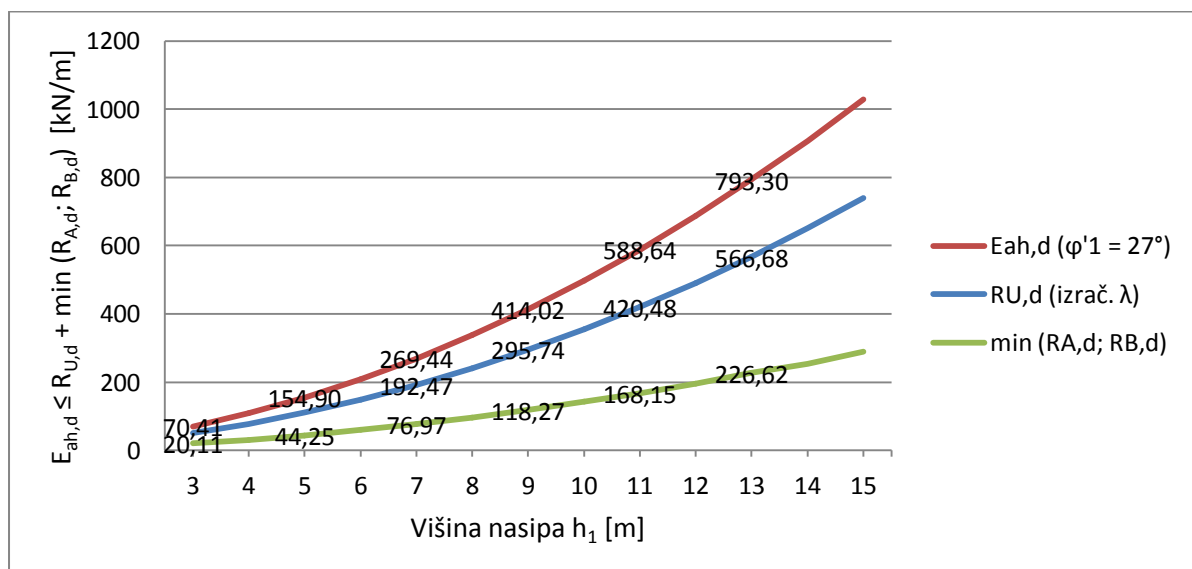
Dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v končnem stanju

Grafikona 5 in 6 prikazujeta dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v končnem stanju. V obeh grafikonih dokaz pred zdrsom nasipa ni izpolnjen, zato je vgraditev geosintetika obvezna. Iz grafikona 5 je razvidno, da se odpornost pred zdrsom pod geosintetikom $R_{U,d}$ zmanjšuje, čeprav je neodvisna od strižnega kota nasipa $\varphi'_{1,k}$. Odpornost pred zdrsom $R_{U,d}$ se zmanjšuje zato, ker sem upošteval vednost kompozitnega koeficienta λ , ki sem jo izračunal iz dokaza pred zdrsom nasipa nad geosintetikom (glej grafikon 2 za višino nasipa $h_1 = 3,0$ m). Geosintetik, ki ga nameravamo vgraditi pod nasip, mora nadomestiti razliko med vplivi in odpornostmi in tako pri nizki koheziji tal $c'_{2,k}$ preprečiti zdrs nasipa pod geosintetikom.

Rezultati v grafikonu 5 so podani za strižni kot nasipa $\varphi'_{1,k} = 27^\circ, 34^\circ$ in 41° .



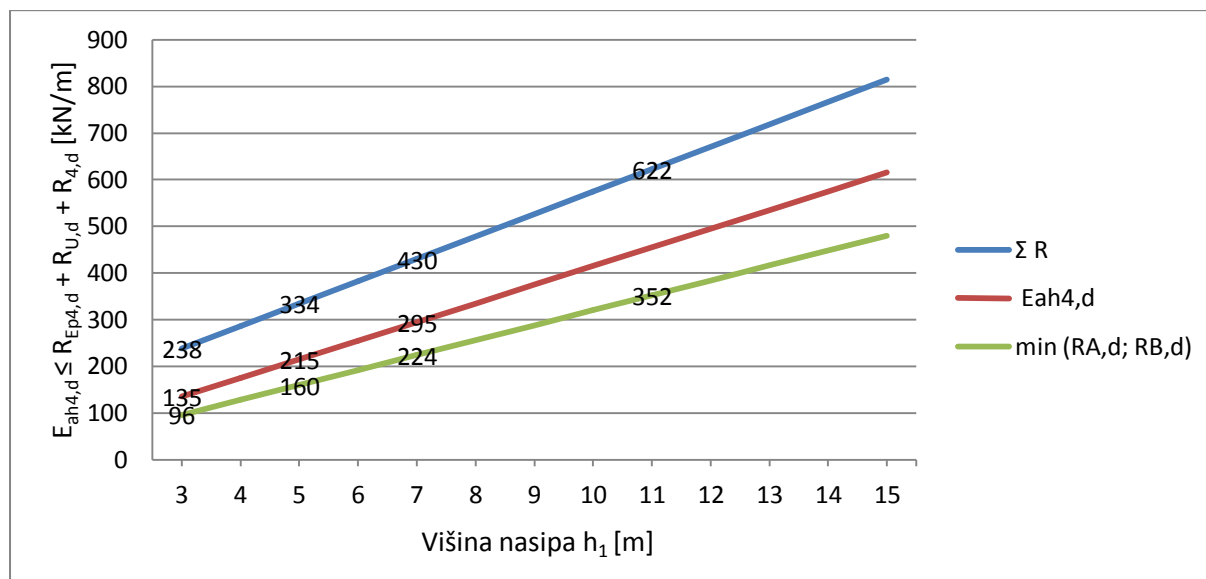
Grafikon 5: Dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v končnem stanju – $\varphi'_{1,k}$



Grafikon 6: Dokaz pred zdrsom nasipa pod geosintetikom v končnem stanju – h_1

Dokaz pred iztiskom tal

Grafikon 7 prikazuje, da je pogoj pred iztiskom tal za različne višine nasipa h_1 izpolnjen, saj je vsota odpornosti tal ($\Sigma R = R_{Ep4,d} + R_{U,d} + R_{4,d}$) nad vrednostjo vplivov $E_{ah,4,d}$.



Grafikon 7: Dokaz pred iztiskom tal

Iz rezultatov analize vidimo, da lahko z vgraditvijo ustreznih geosintetikov preprečimo porušitev nasipa. Preprečiti ne moremo le zdrsa nasipa nad geosintetikom, ker je v določenih primerih zahtevan kompozitni koeficient večji od 1, kar pa ni mogoče. V teh primerih je potrebno zagotoviti, da je strižni kot nasipa ($\varphi'_{1,k}$) večji od minimalnega zahtevanega, s tem pa se zmanjša tudi potrebni minimalni kompozitni koeficient geosintetika. Rezultati iz grafikonov 2 in 3 pokažejo, da mora imeti nasip višine $h_1 = 3,0$ m strižni kot nasipa vsaj 27° , nasip višine $h_1 = 5,0$ m, mora imeti strižni kot nasipa vsaj 24° in nasip višine $h_1 = 7,0$ m, mora imeti strižni kot nasipa vsaj 23° .

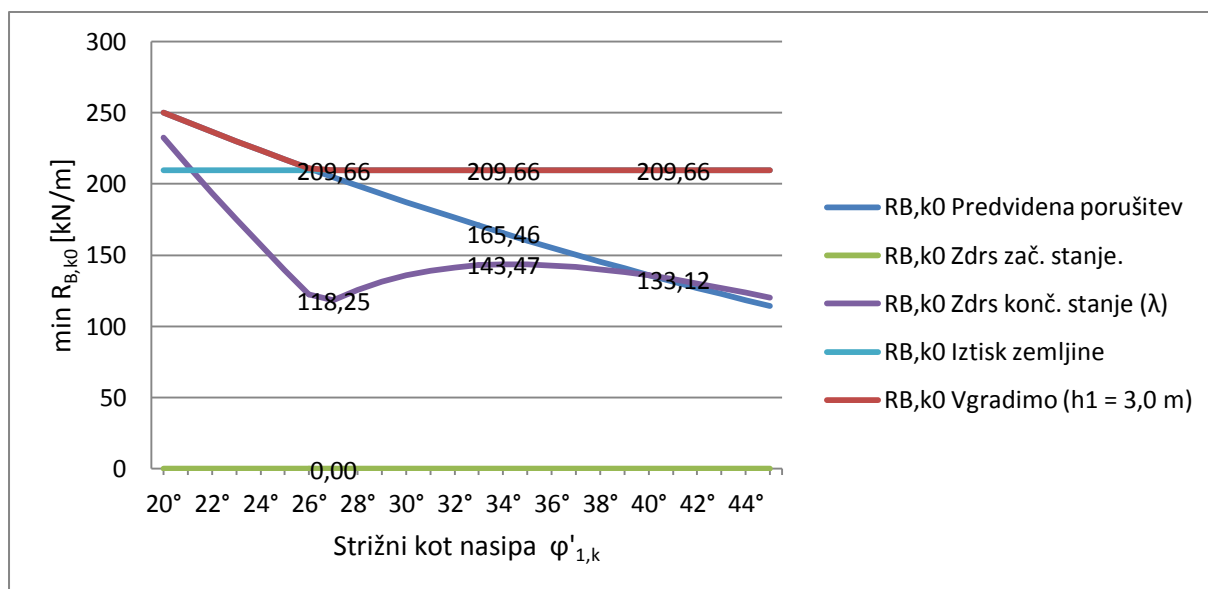
Minimalna kratkotrajna natezna trdnost geosintetikov

Grafikoni 8, 9, 10 in 11 prikazujejo izračunane minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov. V grafikonih 8, 9 in 10 vidimo, kateri dokaz je odločilen pri izbiri geosintetikov.

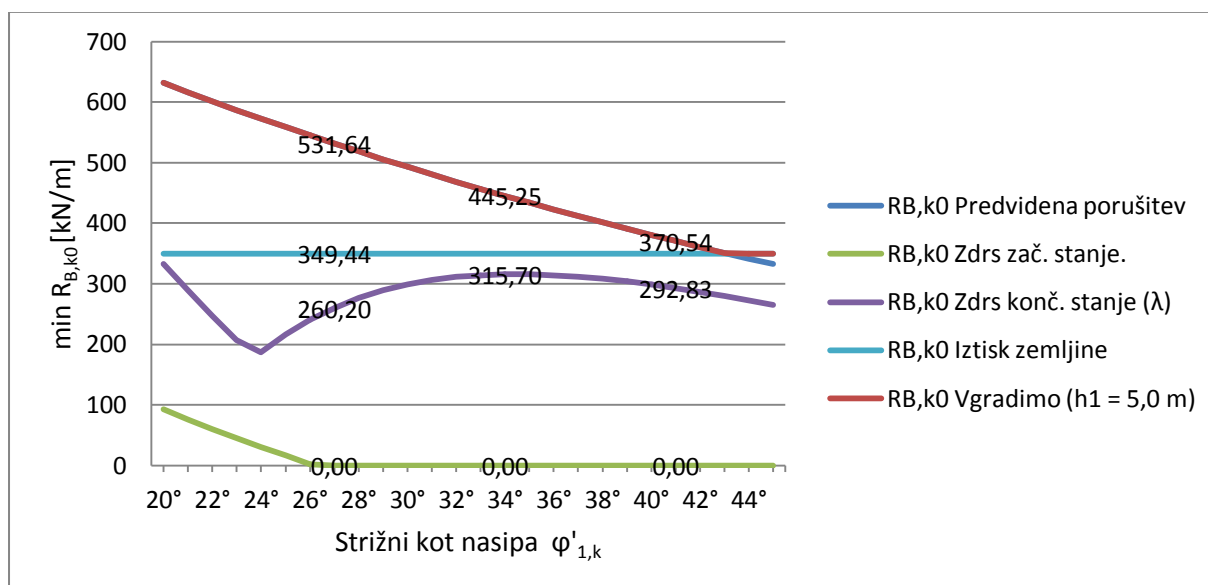
V grafikonu 8 je za nasip višine $h_1 = 3,0$ m do strižnega kota nasipa $\varphi'_{1,k} \leq 26^\circ$ odločilen dokaz pred poružitvijo nasipa po vnaprej predvideni drsini. Od strižnega kota nasipa $\varphi'_{1,k} > 26^\circ$, pa je odločilen dokaz pred iztiskom tal pod nasipom. Dejansko nasipa s strižnim kotom $\varphi'_{1,k} \leq 26^\circ$ ne moremo zgraditi, ker ni izpolnjen pogoj pred zdrsom nasipa nad geosintetikom ($E_{O,d} \leq R_{O,d}$). Glej grafikon 3.

V grafikonih 8, 9 in 10 vidimo, da z naraščanjem višine nasipa h_1 vedno bolj prevladuje izbira geosintetikov glede na dokaz pred porušitvijo nasipa po vnaprej predvideni drsini.

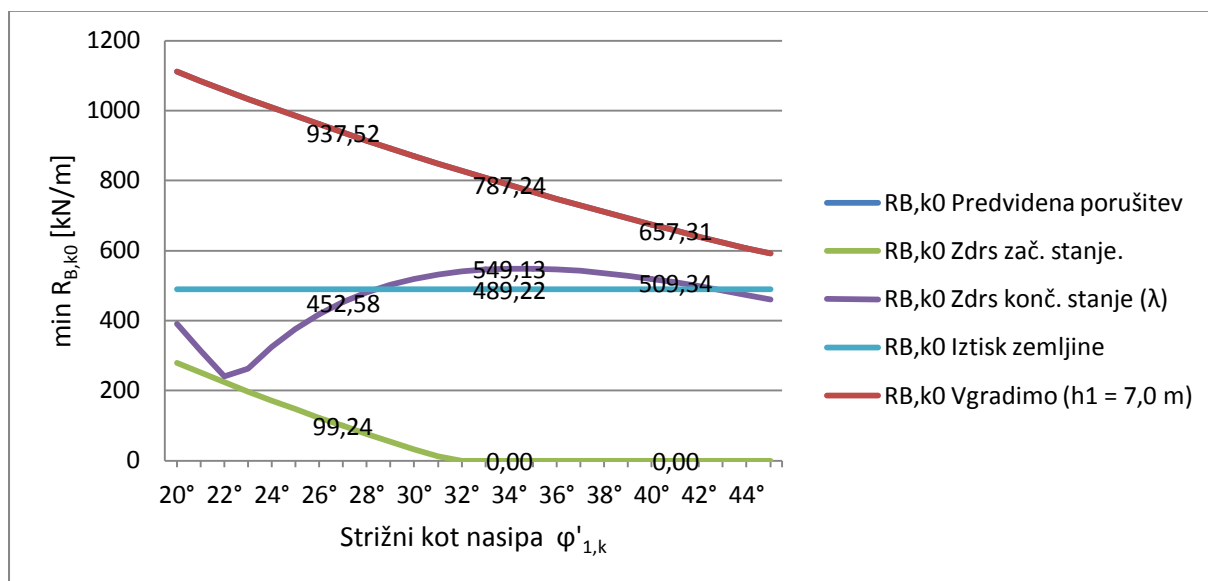
V vseh grafikonih: 8, 9, 10 in 11, je razvidno, da minimalna kratkotrajna natezna trdnost geosintetikov $R_{B,k0}$ pada z naraščanjem strižnega kota nasipa $\varphi'_{1,k}$.



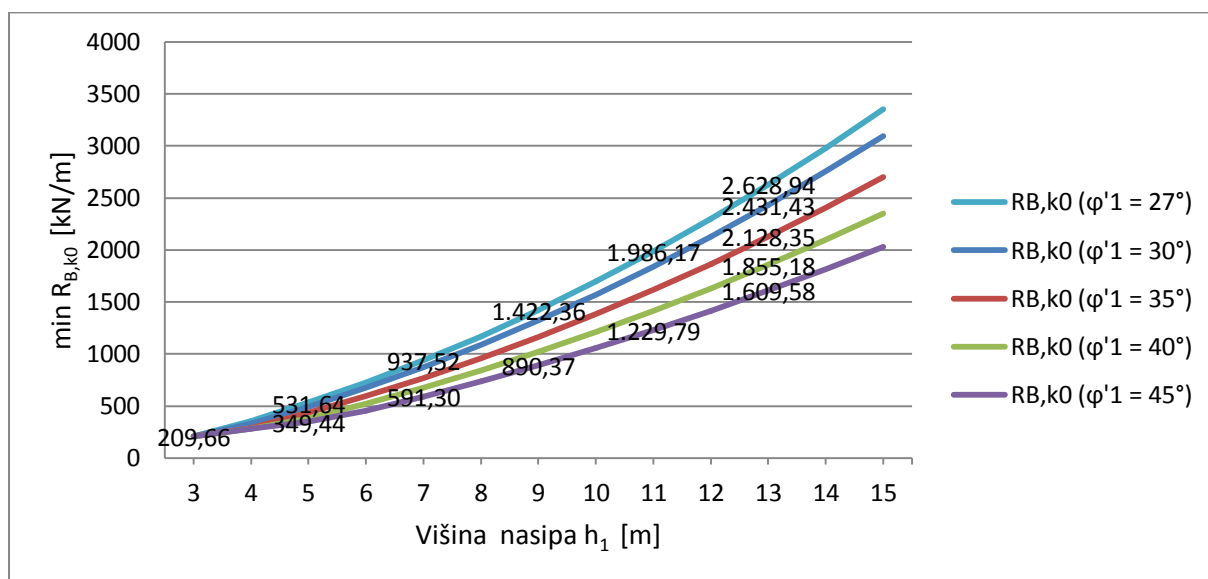
Grafikon 8: Minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov – $h_1 = 3,0$ m



Grafikon 9: Minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov – $h_1 = 5,0$ m



Grafikon 10: Minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov – $h_1 = 7,0$ m



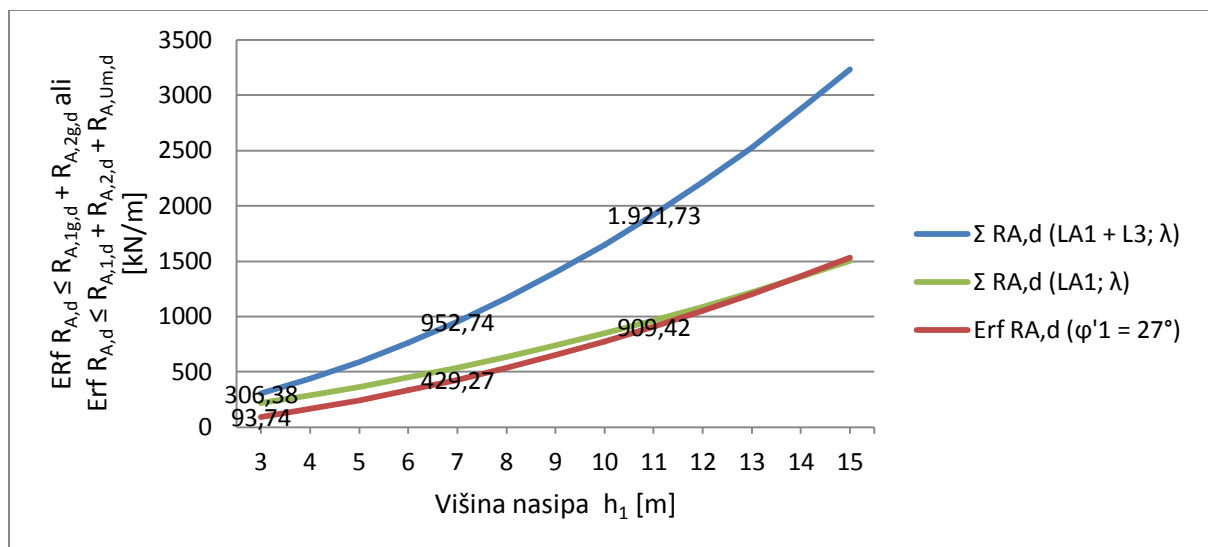
Grafikon 11: Izračunane minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov

Odpornost pred izvlekom

V grafikonih od 12 do 19 predstavljajo vrednosti $Erf R_{A,d}$ zahtevano odpornost pred izvlekom geosintetika, vrednosti $\Sigma R_{A,d}(L_{Ai}; \lambda)$ predstavljajo dejansko odpornost geosintetika pred izvlekom in vrednosti $\Sigma R_{A,d}(L_{Ai} + L_3; \lambda)$ predstavljajo dejansko odpornost geosintetika, ki smo ga ovili okrog sloja nasipa, pred izvlekom. Kadar so vrednosti $\Sigma R_{A,d}(L_{Ai}; \lambda)$ nad vrednostmi Erf

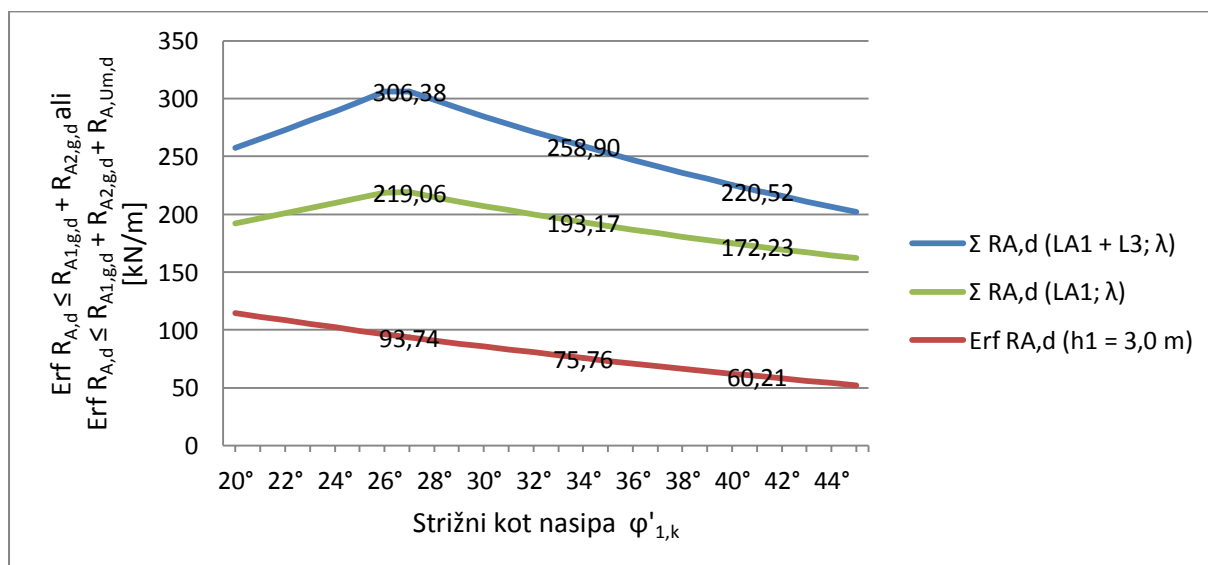
$R_{A,d}$, je pogoj pred izvlekom izpolnjen. Kadar vrednosti $\Sigma R_{A,d}(L_{Ai}; \lambda)$ niso nad vrednostmi Erf $R_{A,d}$, pogoj ni izpolnjen in moramo geosintetik oviti okrog sloja nasipa.

Grafikon 12, 14, 16 in 18 prikazujejo dokaz pred izvlekom geosintetika za nasipe različne višine a z enakim strižnim kotom $\varphi'_{1,k} = 27^\circ$. Dokaz pred izvlekom geosintetika je v vseh grafikonih izpolnjen za višine nasipa $h_1 < 13,0$ m. Za višje nasipe, pa kot pokaže grafikon 12, dokaz ni izpolnjen in je zato potrebno geosintetik oviti okrog sloja nasipa.

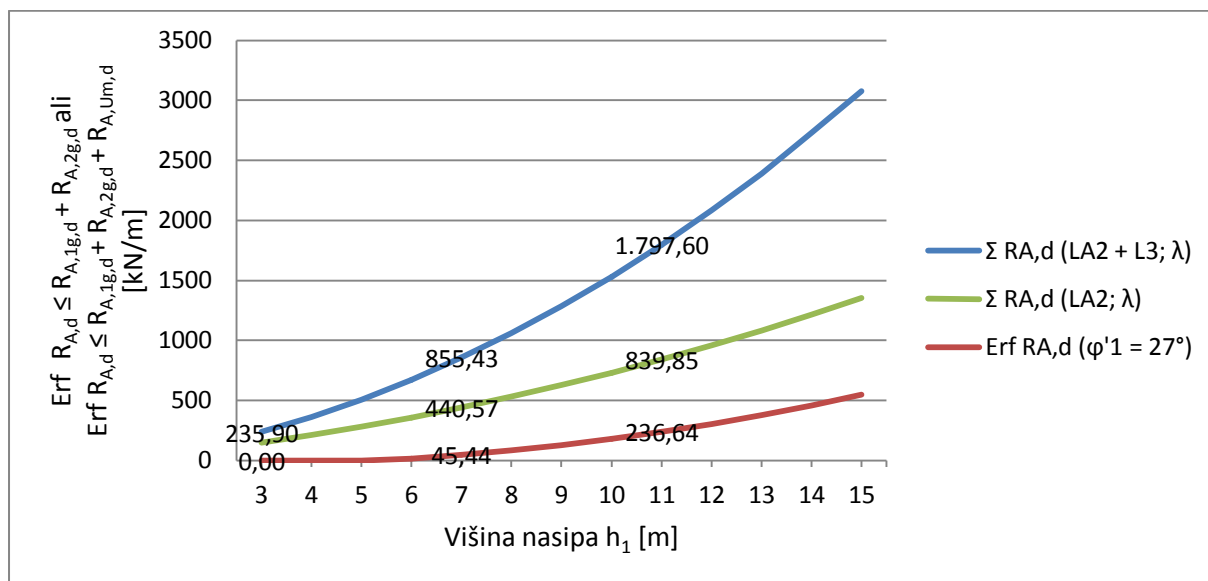


Grafikon 12: Dokaz pred izvlekom geosintetika za vnaprej predvideno drsino – h_1

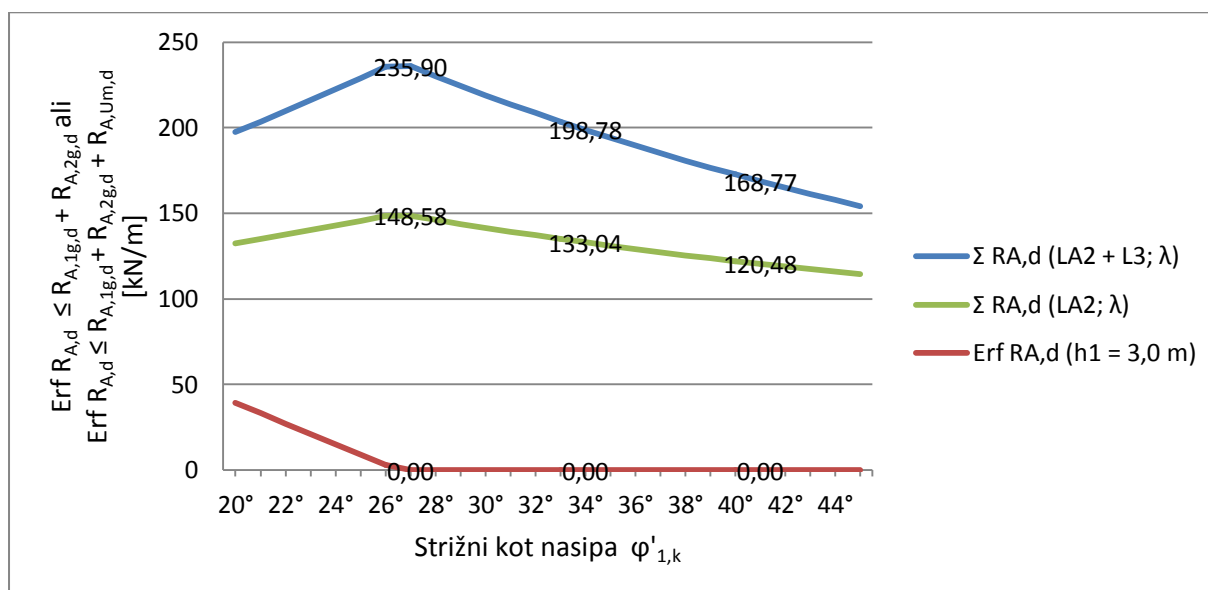
Grafikoni 13, 15, 17 in 19 prikazujejo dokaz pred izvlekom geosintetika iz nasipa višine 3,0 m a z različnimi strižnimi koti. Dokaz pred izvlekom geosintetika je v vseh primerih izpolnjen, zato ni potrebno oviti geosintetika okrog sloja nasipa. Odpornosti pred izvlekom padajo od strižnega kota $\varphi'_{1,k} = 27^\circ$, ker se od te vrednosti zmanjšuje izračunani kompozitni koeficient λ . Glej grafikon 2 za višino nasipa $h_1 = 3,0$ m.



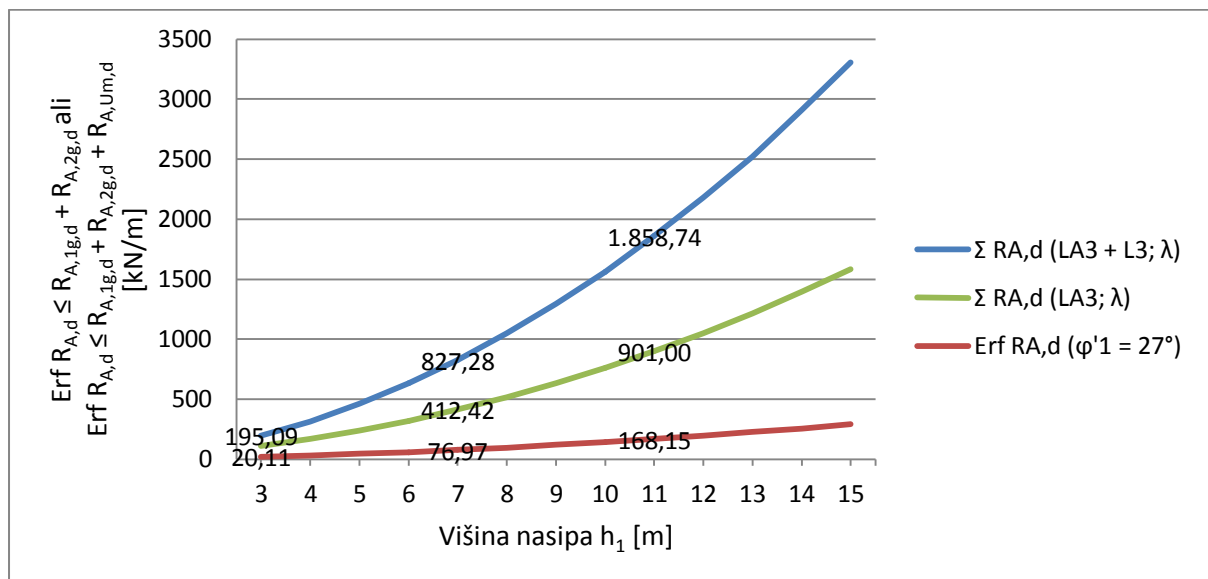
Grafikon 13: Dokaz pred izvlekom geosintetika za vnaprej predvideno drsino – $\varphi'_{1,k}$



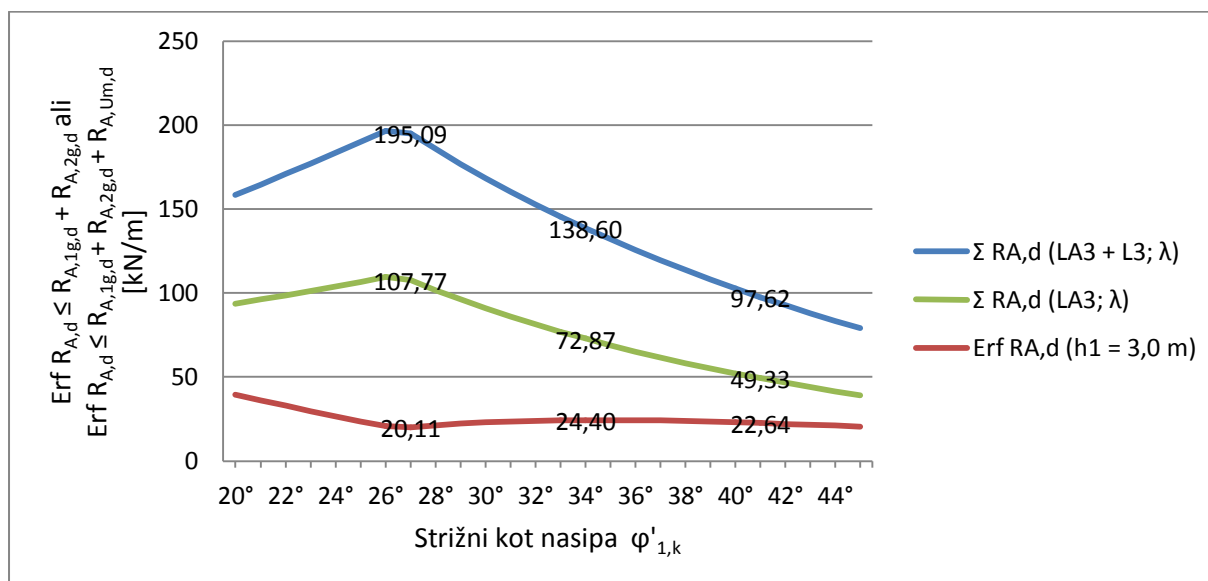
Grafikon 14: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred zdrsom v začetnem st. – h_1



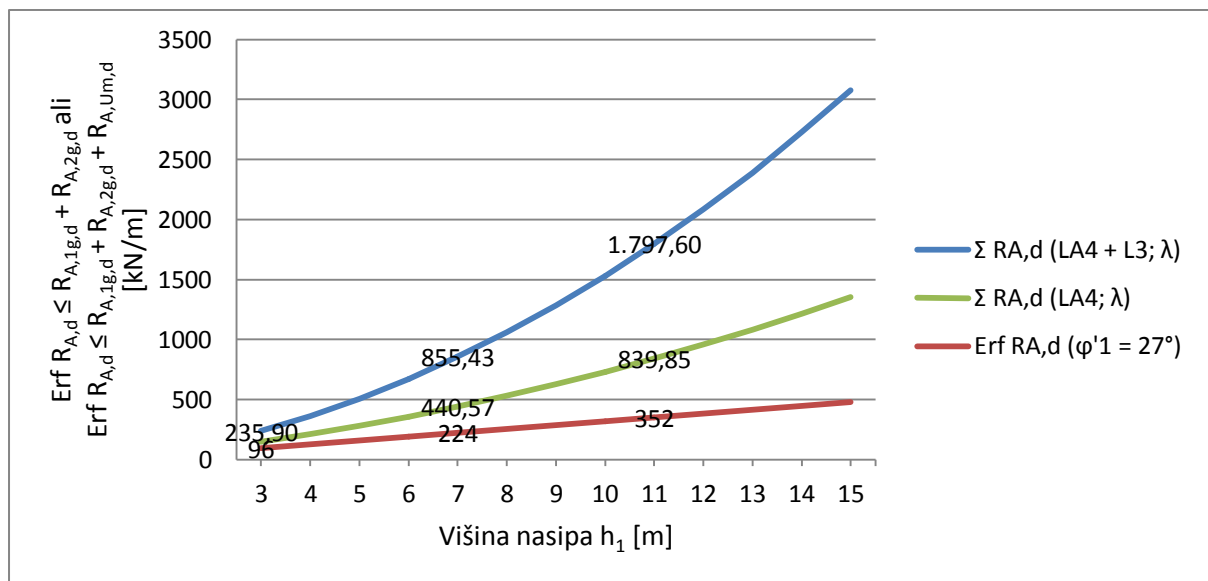
Grafikon 15: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred zdrsom v začetnem st. – $\varphi'_{1,k}$



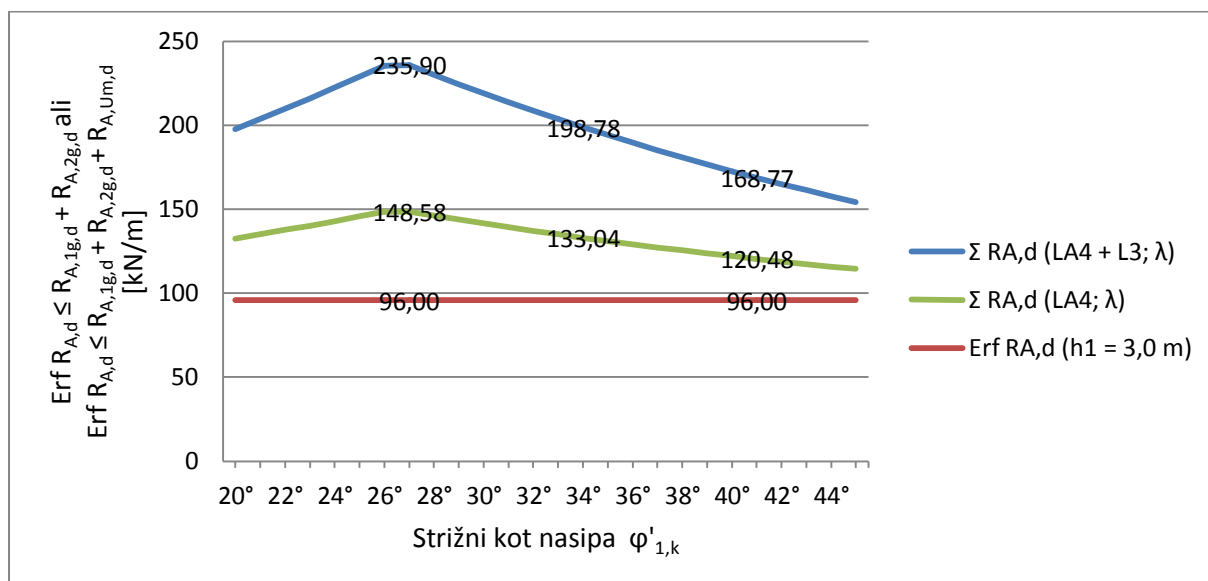
Grafikon 16: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred zdrsom v končnem st. – h_1



Grafikon 17: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred zdrsom v končnem st. – $\varphi'_{1,k}$



Grafikon 18: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred iztiskom tal – h_1



Grafikon 19: Dokaz pred izvlekom geosintetika za dokaz pred iztiskom tal – $\varphi'_{1, k}$

Iz grafikonov od 12 do 19 razberemo, da je potrebno geosintetik oviti okrog sloja nasipa samo v primeru, ko ima nasip višino $h_1 > 13,0$ m in strižni kot $\varphi'_{1, k} \leq 27^\circ$. V ostalih primerih je dokaz pred izvlekom izpolnjen brez geosintetika, ovitega okrog sloja nasipa.

3.6 Zaključek

V skladu z mejnim stanjem nosilnosti preverimo možne porušitve nasipa po drsini krožne oblike, porušitev nasipa po vnaprej predvideni drsini po najšibkejših ravninah nasipu in tleh, zdrs nasipa in iztisk tal zaradi obtežbe nasipa. Kadar dokazi pred poružitvijo nasipa niso izpolnjeni, vgradimo geosintetične ojačitve, ki nadomestijo razliko med vplivi in odpornostmi za vse dokaze pred poružitvijo nasipa. V primeru iztiska tal mora biti ravnotežni pogoj izpolnjen brez vgraditve geosintetikov.

Geosintetik, ki ga bomo vgradili, mora ustrezati vsem pogojem porušitve nasipa v začetnem in v končnem stanju, zato v nasip vgradimo geosintetik z izračunano največjo potrebno kratkotrajno natezno trdnostjo ločeno za začetno in končno stanje. Med izračunanima vrednostima vedno upoštevamo večjo.

Dejanska odpornost pred izvlekom geosintetika ($R_{A1,d} + R_{A2,d}$) mora biti večja od potrebne odpornosti pred izvlekom geosintetika ($Erf R_{A,d}$). Kadar dejanska odpornost pred izvlekom ni večja, moramo geosintetik oviti okoli sloja nasipa in s tem bistveno zvišamo dejansko odpornost pred izvlekom za vrednost $R_{A,Um,d}$.

Izračunane vrednosti $R_{B,k0}$ so minimalne zahtevane vrednosti geosintetikov. Pri vgrajevanju geosintetikov pa je bolje izbrati geosintetik z večjo kratkotrajno natezno trdnostjo od minimalne, pri tem pa moramo paziti na izkoriščenost geosintetika. Dobro izkoriščeni geosintetik ima natezno trdnost manjšo ali enako izračunani odpornosti pred izvlekom in večjo od najmanjše zahtevane.

Zahtevani kompozitni koeficient geosintetika λ izračunamo glede na dokaz pred zdrsom nasipa po geosintetiku ali glede na dokaz pred zdrsom po delu geosintetika, ovitega okoli sloja nasipa, in glede na dokaz pred izvlekom geosintetika iz nasipa. Glede na izračunane vrednosti kompozitnih koeficientov upoštevamo največjo. Običajno je odločilna vrednost za kompozitni koeficient izračunana iz pogoja pred zdrsom nad geosintetikom ali nad geosintetikom, ovitim okrog sloja nasipa. Kompozitni koeficient λ vpliva na koeficient trenja f_{sg} , ki pa ga upoštevamo samo v kombinaciji z dreniranimi strižnimi parametri.

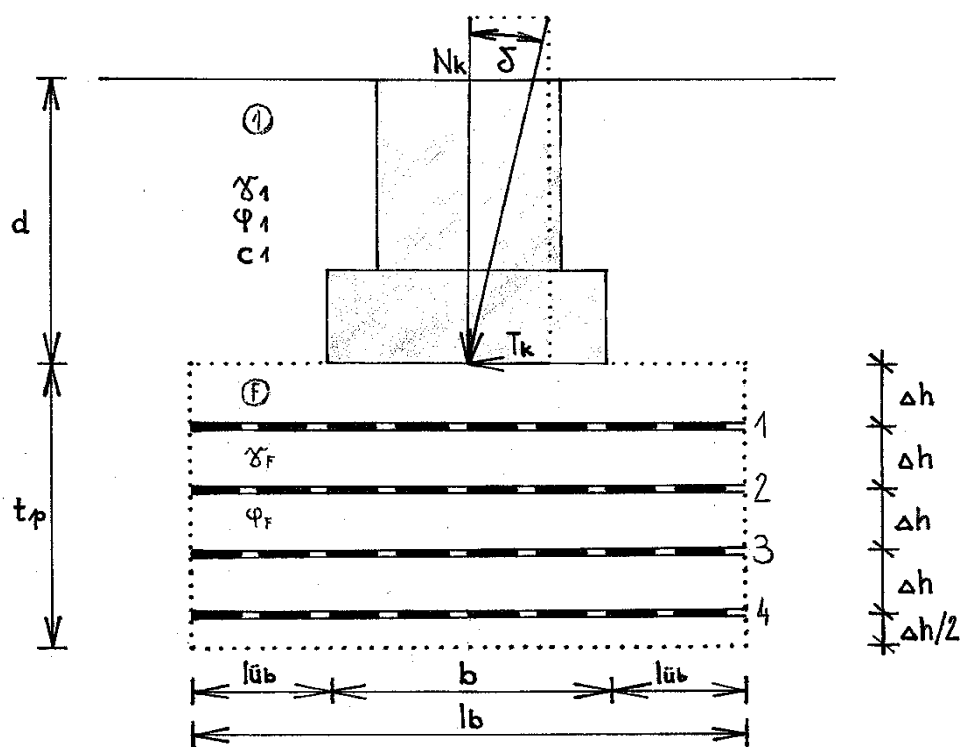
Dolžina geosintetika je enaka vsoti širine nasipa B in dolžini ovojnica L_0 , če ju potrebujemo.

Iz zgornjih pogojev in enačb je mogoče izračunati vrednosti nedrenirane strižne trdnosti tal c_{u2} , ki izpolni pogoje pred poružitvijo brez vgraditve geosintetikov.

4 NOSILNOST TAL POD TEMELJEM

4.1 Opis

Temelj prenaša obtežbo konstrukcije na tla. Kadar je računski obremenitev tal prevelika, lahko naredimo nadomestna tla z uporabo geosintetikov. Prvotna tla odkoplremo in odkopano zemljinu po slojih debeline med $\Delta h = 15$ do 40 cm ponovno nasujemo v jamo. Vsak sloj zemljine zgostimo. Kadar tudi nadomestna tla ne prenesejo računskih obremenitev temelja, med sloje nadomestnih tal vgradimo še geosintetik. Armirana nadomestna tla imajo bistveno večjo nosilnost in znižano deformabilnost kot nearmirana tla.



Slika 8: Temelj na armiranih nadomestnih tleh

Mejno stanje nosilnosti (GZ 1 – Grenzzustand 1, ULS – Ultimate Limit state) izvedemo v skladu s standardoma DIN 1054 in DIN 4017. Preveriti moramo dokaz varnost pred zdrsom po DIN 1054 (GZ 1B, STR), dokaz lege rezultante pritiska na dno temelja po DIN 1054 (GZ 1A, EQU), dokaz nosilnosti tal po DIN 4017 (GZ 1B, STR) in, kadar leži temelj na strmi podlagi, pečini ali na terasi, še dokaz pred poružitvijo zaledja po DIN 4084 (GZ 1C, GEO).

Izračun mejnega stanja uporabnosti (GZ 2 – Grenzzustand 2, SLS – Serviceability Limit State) izvedemo v skladu s standardom DIN 1054. Izračunati moramo deformacije, kar pomeni posedke in zasuke, po DIN 4019. Izračunati moramo tudi dokaz lege rezultante pritiska na dno temelja po DIN 1054 in, če je potrebno, še horizontalne premike.

V skladu z EBGeo v mejnem stanju uporabnosti (GZ 2 - Grenzzustand 2, SLS – Serviceability Limit State) namesto deformacij izračunamo povprečno togost armiranih tal, iz katere lahko po navodilih iz standarda DIN 4019 izračunamo deformacije.

Geosintetike projektiramo glede na dokaz nosilnosti tal iz mejnega stanja nosilnosti in dokaz povprečne togosti armiranih tal iz mejnega stanja uporabnosti. V svoji diplomski nalogi sem v skladu z EBGeo analiziral ta dva dokaza.

4.2 Geometrija in podatki

4.2.1 Temelj

Dolžino temelja označimo z a , širino temelja z b in globino temelja z d . Z dolžino in širino je določena oblika tlorisa temelja, od česar so odvisni koeficienti oblike temelja v_d , v_c in v_b .

Vpliv temelja razstavimo na njegovo vertikalno komponento, ki jo označimo s F_v ali z N , in na horizontalno komponento, ki jo označimo s F_h ali s T . Vertikalna komponenta je vsota stalne karakteristične sile, ki jo označimo s $F_{gv,k}$ ali z $N_{G,k}$, in spremenljive karakteristične sile, ki jo označimo s $F_{qv,k}$ ali z $N_{Q,k}$. Horizontalna komponenta je vsota stalne karakteristične sile, ki jo označimo s $F_{gh,k}$ ali s $T_{G,k}$, in spremenljive karakteristične sile, ki jo označimo s $F_{qh,k}$ ali z $T_{Q,k}$.

Rezultanta vplivov temelja deluje na tla pod kotom δ , ki ga izračunamo kot razmerje med vsoto horizontalnih sil T_k in vsoto vertikalnih sil N_k :

$$\tan \delta = (T_{G,k} + T_{Q,k}) / (N_{G,k} + N_{Q,k}) \quad (104)$$

Kadar vplivi ne delujejo v težišču temelja, moramo izračunati njegovo nadomestno dolžino a' in širino temelja b' , v kateri vplivi delujejo v težišču. Nadomestni dimenziji tlorisa temelja izračunamo z enačbama:

$$a' = a - 2 * e_a \quad (105)$$

$$b' = b - 2 * e_b \quad (106)$$

Ekscentričnost e izračunamo kot razmerje med vsoto momentov v težišču dna temelja in vsoto navpičnih sil na temelj. Enačbo za ekscentričnost zapišemo:

$$e = \Sigma M / (N_{G,k} + N_{Q,k}) \quad (107)$$

$$\Sigma M = (T_{G,k} + T_{Q,k}) * d + E_{Q,k} * d / 3 \quad (108)$$

$$E_{Q,k} = 1/2 * \gamma_{1,k} * d^2 * \tan^2 (45^\circ - \varphi'_{1,k} / 2) \quad (109)$$

$E_{Q,k}$ je aktivni horizontalni pritisk tal na temelj. Upoštevamo ga samo, kadar temelj ni simetrično zasut.

Z ω je označen manjši kot med rezultanto horizontalnih vplivov T in osjo, ki je vzporedna s stranico a' skozi težišče nadomestne ploskve. Z α označimo naklon dna temelja in z β označimo naklon zaledja ob temelju.

4.2.2 Tla

Prvotna tla definiramo s karakterističnim strižnim kotom $\varphi'_{1,k}$, karakteristično vrednostjo kohezije $c'_{1,k}$ in karakteristično prostorninsko težo $\gamma_{1,k}$. Za prvotna tla ni potrebno podati njihove globine, saj ta ne nastopa v enačbah. Predvidevam, da je globina tal veliko večja v primerjavi s širino temelja b .

Globino nadomestnih tal označimo s t_p in je odvisna od izbranega števila slojev nadomestnih tal n_B in njihove višine Δh . Nadomestna tla imajo drugačne karakteristične parametre kot prvotna tla, zato jim pripišemo indeks F. Strižni kot nadomestnih tal označimo s $\varphi'_{F,k}$, kohezijo s $c'_{F,k}$ in prostorninsko težo z $\gamma_{F,k}$. Vrednost kohezije nadomestnih tal $c'_{F,k}$ ne nastopa v enačbah.

4.2.3 Geosintetik

Kadar je projektna odpornost nadomestnih tal manjša od vplivov temelja, moramo med posamezne sloje nadomestnih tal vgraditi še geosintetike. Število vgrajenih geosintetikov je enako številu izbranih slojev nadomestnih tal n_B . Dolžina geosintetikov l_b je enaka širini nadomestnih tal l_b . Prvi geosintetik vgradimo nad polovični sloj na dnu nadomestnih tal. Najvišje ležeči geosintetik položimo pod najvišji sloj nadomestnih tal. Pod temelj ne položimo geosintetika.

Vsak geosintetik je določen s kratkotrajno natezno trdnostjo $R_{B,k0}$ in z delnimi faktorji za končno stanje A_1, A_2, A_3, A_4 in A_5 . Od vrste geosintetika je odvisen tudi kompozitni koeficient λ .

4.3 Dokaz nosilnosti tal in dokaz povprečne togosti tal

4.3.1 Dokaz nosilnosti tal (STR)

V mejnem stanju nosilnosti (GZ1, ULS) v skladu s standardom DIN 4017 analiziramo dokaz nosilnosti tal za mejno stanje STR, kar v nemških standardih ustreza mejnemu stanju 1B. Izračune preverimo le za končno drenirano stanje.

Varnost pred porušitvijo tal je zagotovljena, ko je izpolnjen ravnotežni pogoj:

$$E_d \leq R_d \quad (110)$$

Vpliv temelja

Projektno vrednost vplivov temelja na tla označimo z E_d in jo izračunamo z enačbo:

$$E_d = N_{G,k} * \gamma_G + N_{Q,k} * \gamma_Q \quad (111)$$

$N_{G,k}$ je navpična stalna obtežba, $N_{Q,k}$ pa navpična spremenljiva obtežba. Vrednosti delnih varnostnih faktorjev za vplive γ_G in γ_Q so podane v preglednici 2.

Nosilnost tal

Projektno nosilnost tal $R_{n,d}$ izračunamo iz karakteristične nosilnosti tal $R_{n,k}$, ki jo delimo z delnim varnostnim faktorjem za tla γ_{Gr} (Gr – Grund – tla). Vrednosti delnih varnostnih faktorjev za odpornosti so podane v preglednici 3.

$$R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr} \quad (112)$$

Karakteristično nosilnost tal izračunamo z enačbo:

$$R_{n,k} = a' * b' * (c'_{1,k} * N_c + \gamma_{1,k} * d * N_d + \gamma_{1,k} * b' * N_b) \quad (113)$$

Vrednosti a' in b' sta nadomestni dimenziji tlorisa temelja (glej enačbi 105 in 106). S $c'_{1,k}$ smo označili vrednost drenirane kohezije tal, z $\gamma_{1,k}$ prostorninsko težo tal in z d globino temelja.

Koeficiente nosilnosti N_c , N_d , N_b izračunamo po enačbah:

$$N_d = N_{d0} * v_d * i_d * \lambda_d * \xi_d \quad (114)$$

$$N_c = N_{c0} * v_c * i_c * \lambda_c * \xi_c \quad (115)$$

$$N_b = N_{b0} * v_b * i_b * \lambda_b * \xi_b \quad (116)$$

Koeficiente N_{d0} , N_{c0} in N_{b0} izračunamo po enačbah:

$$N_{d0} = e^{\pi * \tan \varphi'_{1,k} * \tan^2 (45^\circ + \varphi'_{1,k} / 2)} \quad (117)$$

$$N_{c0} = (N_{d0} - 1) / \tan \varphi'_{1,k} \quad (118)$$

$$N_{b0} = (N_{d0} - 1) * \tan \varphi'_{1,k} \quad (119)$$

Koeficiente oblike označimo z v_d , v_c in v_b . Njihove vrednosti so odvisne od oblike tlorisa temelja, ki so predpisane v standardu DIN 4017.

Preglednica 7: Enačbe za izračun koeficientov oblike temelja v_d , v_c in v_b iz DIN 4017

| TLORIS | v_b | v_d | $v_c (\varphi \neq 0)$ | $v_c (\varphi = 0)$ |
|-----------------|---------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Pasovni temelj | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Pravokotni | $1 - 0,3 * b' / a'$ | $1 + b' / a' * \sin \varphi$ | $(v_d * N_{d0} - 1) / (N_{d0} - 1)$ | $1 + 0,2 * b' / a'$ |
| Kvadrat in krog | 0,7 | $1 + \sin \varphi$ | $(v_d * N_{d0} - 1) / (N_{d0} - 1)$ | 1,2 |

EkspONENT m izračunamo z enačbami, ki so predpisane v standardu DIN 4017:

$$m = m_a * \cos^2 \omega + m_b * \sin^2 \omega \quad (120)$$

$$m_a = (2 + a' / b') / (1 + a' / b') \quad (121)$$

$$m_b = (2 + b' / a') / (1 + b' / a') \quad (122)$$

Koeficiente nagiba obtežbe i_b , i_d in i_c izračunamo po enačbah:

Preglednica 8: Enačbe za izračun koeficientov nagiba obtežbe i_b , i_d in i_c iz DIN 4017

| PRIMER | Kot nklona obtežbe | i_b | i_d | i_c |
|-----------------------------------|------------------------------------|--|---|--|
| $\varphi > 0$ in $c \geq 0$ | $\delta > 0$ | $(1 - \tan \delta)^{m+1}$ | $(1 - \tan \delta)^m$ | $(i_d * N_{d0} - 1) / (N_{d0} - 1)$ |
| | $\delta < 0$ | $\cos \delta * (1 - 0,04 * \delta)^{(0,64 + 0,028 * \varphi)}$ | $\cos \delta * (1 - 0,0244 * \delta)^{(0,03 + 0,04 * \varphi)}$ | |
| $\varphi = 0$ in $c > 0$ | $\delta > 0$ in $\delta < 0$ | Se ne uporablja $N_{b0} = 0$ | 1,0 | $0,5 + 0,5 * (1 - T / (A' * c))^{(1/2)}$ |

Koeficiente nklona zaledja λ_b , λ_d in λ_c izračunamo po enačbah:

Preglednica 9: Enačbe za izračun koeficientov nklona zaledja λ_b , λ_d in λ_c iz DIN 4017

| PRIMER | λ_b | λ_d | λ_c |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--|
| $\varphi > 0$ in $c \geq 0$ | $(1 - 0,5 * \tan \beta)^6$ | $(1 - \tan \beta)^{1,9}$ | $(N_{d0} * e^{-0,0349 * \beta * \tan \varphi} - 1) / (N_{d0} - 1)$ |
| $\varphi = 0$ in $c > 0$ | Se ne uporablja $N_{b0} = 0$ | 1,0 | $1 - 0,4 * \tan \beta$ |

Koeficiente nklona tal ξ_b , ξ_d in ξ_c izračunamo po enačbah:

Preglednica 10: Enačbe za izračun koeficientov nklona tal ξ_b , ξ_d in ξ_c iz DIN 4017

| PRIMER | ξ_b | ξ_d | ξ_c |
|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| $\varphi > 0$ in $c \geq 0$ | $e^{-0,045 * \alpha * \tan \varphi}$ | $e^{-0,045 * \alpha * \tan \varphi}$ | $e^{-0,045 * \alpha * \tan \varphi}$ |
| $\varphi = 0$ in $c > 0$ | Se ne uporablja $N_{b0} = 0$ | 1,0 | $1 - 0,0068 * \alpha$ |

Z e je označena osnova naravnega logaritma.

Preverjanje nosilnosti tal

Kadar je pogoj $E_d \leq R_{n,d}$ izpolnjen, imajo tla dovolj veliko nosilnost, da prenesejo obremenitev temelja in ne potrebujemo nadomeščanja tal.

Kadar pogoj $E_d \leq R_{n,d}$ ni izpolnjen in se odločimo za armiranje tal, ponovimo izračun z upoštevanjem korekcijskih faktorjev k_b , k_d , k_c , ali korekcijskih koeficientov k'_b , k'_d , k'_c , ki povečajo odpornost tal. Faktorji oz. koeficienti predstavljajo vrednosti nadomestnih tal, ki imajo večjo odpornost kot prvotna tla. Vrednosti faktorjev in koeficientov so odvisne od globine nadomestnih tal t_p .

Nosilnost nadomestnih tal $R'_{n,d}$

Nadomestna tla so določena s številom slojev zemljine n_B , z vertikalno razdaljo med plastmi zemljine Δh , s širino nadomestnih tal l_b in z globino celotnih nadomestnih tal t_p .

Število slojev zemljine n_B lahko izberemo, a moramo pri izbiri upoštevati, da je najmanjše število slojev zemljine 2, največje število pa je določeno z količnikom med globino celotnih nadomestnih tal t_p in med izbrano vertikalno razdaljo med plastmi geosintetika Δh . Pogoj za izbiro števila slojev nadomestnih tal n_B zapišemo z enačbo:

$$2 \leq n_B < t_p / \Delta h \quad (123)$$

Vertikalna razdalja med posameznimi plastmi mora biti konstantna ($\Delta h = \text{const}$). Vertikalno razdaljo si lahko izberemo, vendar ne sme biti manjša kot 15 cm in ne večja kot 40 cm oziroma ne sme biti večja kot polovica širine temelja b , če je temelj ožji kot 80 cm. Robna pogoja sta podana z enačbama:

$$0,15 \text{ m} \leq \Delta h \leq 0,40 \text{ m} \quad (124)$$

$$\Delta h \leq 0,50 * b \quad (125)$$

Za temelje, ki imajo razmerje stranic $b / a \leq 0,2$, izračunamo širino nadomestnih tal l_b le v smeri krajše stranice b . Širina nadomestnih tal l_b mora biti v vseh ravninah enaka in jo izberemo glede na dva robna pogoja:

$$(b + 4 * \Delta h) < l_b \leq 2 * b \quad (126)$$

Dolžino nadomestnih tal l_a določimo glede na razmerje stranic po naslednjih enačbah:

$$l_a = a \quad (b / a \leq 0,2) \quad (127)$$

$$(a + 4 * \Delta h) < l_a \leq a + b \quad (b / a > 0,2) \quad (128)$$

Globino nadomestnih tal t_p izračunamo z enačbo:

$$t_p = (n_B + 0,5) * \Delta h \quad (129)$$

Kadar izberemo 2 plasti nadomestnih tal ($n_B = 2$), je izračunana vrednost t_p enaka kot minimalna dovoljena globina nadomestnih tal $\min t_p$.

$$\min t_p = 2,5 * \Delta h \quad (130)$$

Pri izdelavi nadomestnih tal vgradimo še polovično plast zemljine pod najnižjo plast nadomestnih tal, zato je enačba za izračun minimalne globine 2,5-krat večja, kot je višina nadomestne plasti Δh . To pomeni, da imamo 2 celi plasti in še polovico višine plasti nadomestnih tal.

Kadar je izračunana vrednost t_p večja kot maksimalno dovoljena globina nadomestnih tal $\max t_p$, vzamemo maksimalno dovoljeno globino nadomestnih tal, ki jo izračunamo z enačbo:

$$\max t_p = (b / 2) * \tan (45^\circ + \varphi'_{F,k} / 2) \quad (131)$$

Izračun odpornosti nadomestnih tal $R'_{n,k}$ izračunamo z enačbo:

$$R'_{n,k} = a' * b' * (\gamma_k * b' * N_b * k_b + \gamma_k * d * N_d * k_d + c'_k * N_c * k_c) \text{ ali} \quad (132)$$

$$R'_{n,k} = a' * b' * (\gamma_k * b' * N_b * k'_b + \gamma_k * d * N_d * k'_d + c'_k * N_c * k'_c) \quad (133)$$

Zgornji enačbi se razlikujeta le po korekcijskih faktorjih k_b , k_d , k_c v prvi enačbi in korekcijskih koeficientih k'_b , k'_d in k'_c v drugi enačbi. Nosilnostni koeficienti N_b , N_d , N_c , so enaki kot pri prvotnih tleh.

Prvo od zgornjih enačb uporabimo, kadar je globina nadomestnih tal t_p večja od teoretične globine nadomestnih tal $t_{p,\delta}$: $t_p > t_{p,\delta}$. Globino nadomestnih tal t_p smo določili na začetku, teoretično globino nadomestnih tal $t_{p,\delta}$ pa izračunamo z enačbo:

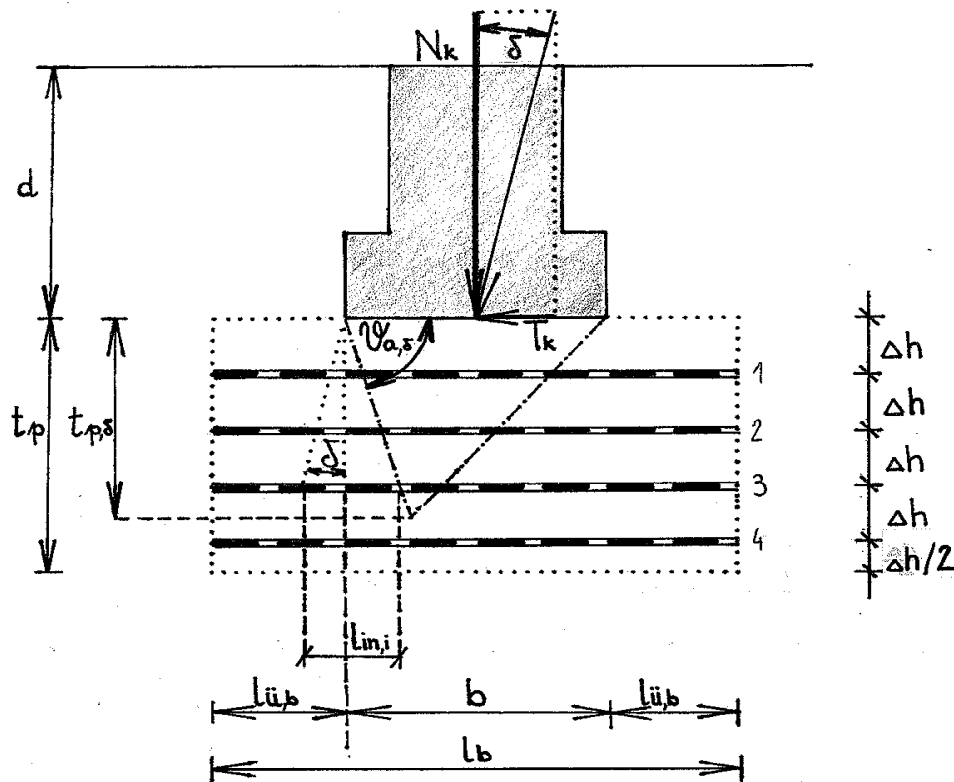
$$t_{p,\delta} = (\sin \vartheta_{a,\delta} * \cos (\vartheta_{a,\delta} - \varphi'_{F,k})) / \cos \varphi'_{F,k} * b \quad (134)$$

Preden izračunamo teoretično globino nadomestnih tal $t_{p,\delta}$, moramo izračunati še kot zdrsne površine $\vartheta_{a,\delta}$ (glej sliko 9). Kot zdrsne površine je kot med spodnjim robom temelja in porušno drsino v nadomestnih tleh. Kadar obtežba deluje navpično na tla, horizontalni vpliv je enak nič ($\delta = 0$), so napetosti v tleh simetrične in je kot zdrsne površine $\vartheta_{a,\delta}$ na obeh straneh pod temeljem enak. Kadar pa deluje zunanja obtežba na tla pod kotom, različnim od nič ($\delta \neq 0$), sta kota zdrsne površine pod levim robom temelja in pod desnim robom temelja različna. V tem primeru vedno upoštevamo večji kot zdrsne površine $\vartheta_{a,\delta}$.

Kot zdrsne površine izračunamo z enačbo:

$$\vartheta_{a,\delta} = \arccot \left(\left((1 + \tan^2 \varphi'_{F,k}) * \tan \varphi'_{F,k} - \tan \delta / \tan \varphi'_{F,k} \right)^{1/2} + \tan \delta - \tan \varphi'_{F,k} \right) \quad (135)$$

V enačbi za izračun kota zdrsne površine mora biti strižni kot nadomestnih tal $\varphi'_{F,k}$ večji od kota naklona obtežbe δ ($\varphi'_{F,k} > \delta$).



Slika 9: Porušitev armiranih tal pod temeljem

V primeru, da je $t_p > t_{p,\delta}$, v enačbi za izračun odpornosti nadomestnih tal upoštevamo korekcijske faktorje k_b , k_d , k_c . V primeru, da je $t_p \leq t_{p,\delta}$, pa upoštevamo korekcijske koeficiente k_b' , k_d' in k_c' .

Korekcijski faktorji k_b , k_d , k_c imajo vrednost večjo od 1 in predstavljajo povečanje nosilnosti nadomestnih tal v primerjavi s prvotnimi tlemi. Korekcijske faktorje izračunamo z enačbami:

$$k_b = C * k_{b,\delta} + 1 \quad (136)$$

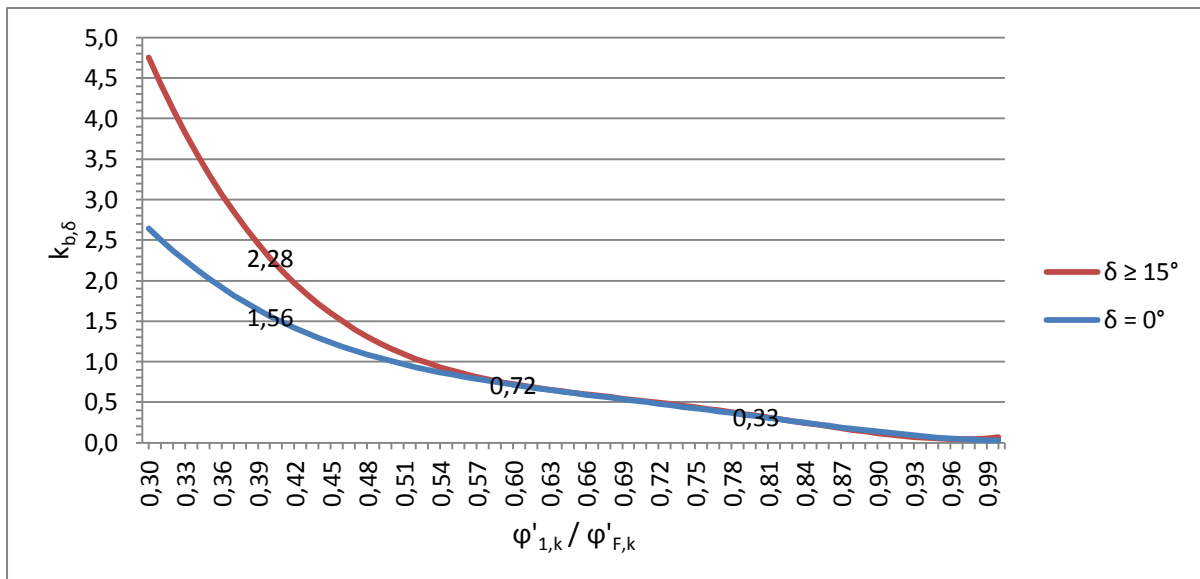
$$k_d = C * k_{d,\delta} + 1 \quad (137)$$

$$k_c = C * k_{c,\delta} + 1 \quad (138)$$

Koeficient C je odvisen od strižnega kota prvotnih tal $\varphi'_{1,k}$ in od strižnega kota nadomestnih tal $\varphi'_{F,k}$. Kadar je strižni kot nadomestnih tal $\varphi'_{F,k} \geq 40^\circ$, je koeficient C enak 1,00 ($C = 1,00$). Če je strižni kot manjši, ga izračunamo z enačbo:

$$C = (2 / \varphi'_{1,k} * (40^\circ - \varphi'_{F,k})^{(1/2)} * (\varphi'_{F,k} / \varphi'_{1,k})^{0,7} + 1)^{-1} \quad (139)$$

Korekcijske faktorje $k_{b,\delta}$, $k_{d,\delta}$ in $k_{c,\delta}$ preberemo iz grafikona 20 in 21. Vrednosti korekcijskih faktorjev so odvisne od razmerja kotov notranjega trenja med prvotnimi in nadomestnimi tlemi ($\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k}$) in od kota naklona obtežbe δ . Korekcijska faktorja $k_{d,\delta}$ in $k_{c,\delta}$ preberemo iz istega grafikona in sta enaka. Razmerje strižnih kotov med prvotnimi in nadomestnimi tlemi ne sme biti večje kot 1 ($\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k} < 1$). V primeru, da je razmerje večje kot 1, so korekcijski faktorji $k_{b,\delta}$, $k_{d,\delta}$ in $k_{c,\delta}$ enaki 0 in je vrednost korekcijskih faktorjev k_b , k_d in k_c enaka 1, kar pomeni, da je odpornost nadomestnih tal enaka odpornosti prvotnih tal.



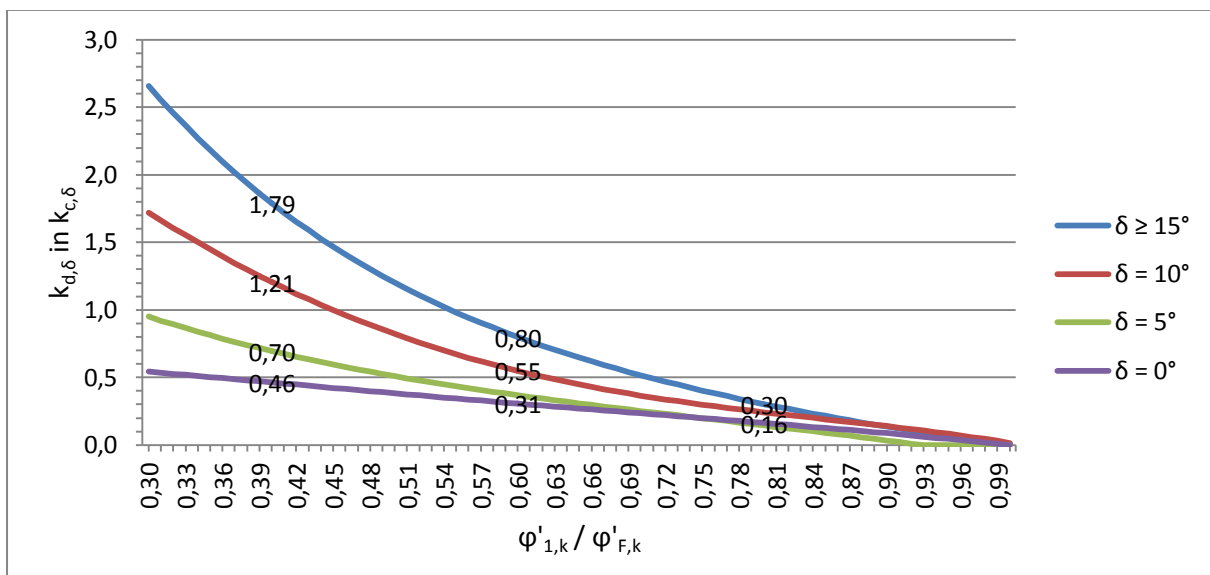
Grafikon 20: Korekcijski faktorji $k_{b,\delta}$ v odvisnosti od razmerja $\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k}$ in kota δ

$\delta \geq 15^\circ$

$$k_{b,\delta} \approx 88,118 * (\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k})^4 - 268,60 * (\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k})^3 + 304,24 * (\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k})^2 - 153,72 * (\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k}) + 30,028 \quad (140)$$

$\delta \geq 0^\circ$

$$k_{b,\delta} \approx 34,909 * (\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k})^4 - 105,54 * (\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k})^3 + 118,92 * (\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k})^2 - 61,1 * (\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k}) + 12,837 \quad (141)$$



Grafikon 21: Korekcijski faktorji $k_{d,\delta}$ in $k_{c,\delta}$ v odvisnosti od razmerja $\varphi'_{1,k} / \varphi'_{F,k}$ in kota δ

$$\delta \geq 15^\circ$$

$$k_{d,\delta} = k_{c,\delta} \approx 8,860 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^4 - 31,008 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^3 + 42,514 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^2 - 28,51 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k}) + 8,15 \quad (142)$$

$$\delta = 10^\circ$$

$$k_{d,\delta} = k_{c,\delta} \approx -2,909 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^4 + 2,504 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^3 + 6,28 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^2 - 9,96 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k}) + 4,1 \quad (143)$$

$$\delta = 5^\circ$$

$$k_{d,\delta} = k_{c,\delta} \approx 1,409 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^4 - 6,37 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^3 + 9,76 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^2 - 7,2 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k}) + 2,4 \quad (144)$$

$$\delta = 0^\circ$$

$$k_{d,\delta} = k_{c,\delta} \approx -1,612 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^4 + 3,728 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^3 - 2,99 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k})^2 + 0,21 * (\varphi'_{1,k}/\varphi'_{F,k}) + 0,66 \quad (145)$$

Kadar je vrednost teoretične nadomestne globine tal večja od dejanske globine nadomestnih tal ($t_{p,\delta} > t_p$), v enačbi za izračun odpornosti nadomestnih tal uporabimo korekcijske koeficiente k'_b , k'_d in k'_c . Korekcijske koeficiente izračunamo z enačbami:

$$k'_c = 1 + (k_c - 1) * (t_p / t_{p,\delta}) \quad (146)$$

$$k'_b = 1 + (k_b - 1) * (t_p / t_{p,\delta}) \quad (147)$$

$$k'_d = 1 + (k_d - 1) * (t_p / t_{p,\delta}) \quad (148)$$

Projektno nosilnost nadomestnih tal $R'_{n,d}$ izračunamo iz karakteristične nosilnosti nadomestnih tal $R'_{n,k}$, ki jo delimo z delnim varnostnim faktorjem za tla γ_{Gr} (preglednica 3).

$$R'_{n,d} = R'_{n,k} / \gamma_{Gr} \quad (\text{enako kot enačba 112})$$

Ravnotežni pogoj nosilnosti nadomestnih tal $R'_{n,d}$

Kadar je projektna nosilnost nadomestnih tal $R'_{n,d}$ večja od projektnih vrednosti vplivov E_d , je ravnotežni pogoj izpolnjen in je varnost pred poružitvijo tal zagotovljena. Kadar ravnotežni pogoj nadomestnih tal ni izpolnjen, nadomestna tla armiramo z geosintetiki. Ravnotežni pogoj zapišemo:

$$E_d \leq R'_{n,d} \quad (149)$$

Nosilnost armiranih nadomestnih tal

Nosilnost armiranih nadomestnih tal označimo z vorh $R_{n,k}$ (vorh – vorhanden – razpoložljiv), kar je vsota nosilnosti nadomestnih tal $R'_{n,k}$ in vsota odpornosti vseh geosintetikov $\Delta R_{n,k}$. Nosilnost armiranih nadomestnih tal izračunamo z enačbo:

$$\text{vorh } R_{n,k} = R'_{n,k} + \Delta R_{n,k} \quad (150)$$

Odpornost geosintetika je določena z manjšo vrednostjo med natezno odpornostjo geosintetikov $R_{B,d}$ in njegovo odpornostjo pred izvlekom $R_{A,d}$. Skupna odpornost vseh geosintetikov je vsota manjših vrednosti za vsako ravnino i:

$$R_{i,d} = \min (R_{A,i,d}; R_{B,d}) \quad (\text{enaka kot enačba 8})$$

Projektno natezno odpornost geosintetika izračunamo z enačbama:

$$R_{B,k} = R_{B,k0} / (A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5) \quad (\text{enaka kot enačba 10})$$

$$R_{B,d} = R_{B,k} / \gamma_M \quad (\text{enaka kot enačba 11})$$

Odpornost geosintetika pred izvlekom $R_{A,k}$ je za vsako ojačitveno ravnino različna in je zlasti v najvišji ravnini lahko manjša kot njegova izračunana natezna nosilnost $R_{B,k}$. Karakteristično odpornost geosintetika pred izvlekom $R_{A,i,k}$ izračunamo z enačbo:

$$R_{A,i,k} = 2 * f_{sg,k} * (N_k / b * l_{in,i} + \sigma_{v,i} * l_{ü,b}) \quad (151)$$

$$R_{A,i,d} = R_{A,i,k} / \gamma_{GI} \quad (\text{enaka kot enačba 16})$$

Delna varnostna faktorja γ_M in γ_{GI} sta podana v preglednici 3.

Vsota dolžin $l_{in,i}$ in $l_{ü,b}$ je dolžina dela geosintetika, ki je zasidran med sloji nadomestnih tal.

Enačba za izračun odpornosti geosintetikov pred izvlekom $R_{A,i,k}$ pokaže, da je karakteristična odpornost geosintetika pred izvlekom odvisna od pritiska tal in pritiska temelja na ravnino geosintetika in od koeficienta trenja med geosintetikom in zemljino $f_{sg,k}$.

Pritisk temelja na geosintetik je zajet v členu N_k / b . Z N_k smo označili stalno karakteristično navpično obtežbo in z b širino temelja. Temelj vpliva le na del geosintetika, ki leži med projekcijo roba temelja v ravnini i in drsino (glej sliko 9). Dolžino geosintetika, na katero vpliva temelj, označimo z $l_{in,i}$ in izračunamo za vsako ravnino posebej, saj se dolžina spreminja z globino:

$$l_{in,i} = (\cot \vartheta_{a,\delta} + \tan \delta) * \Delta h * i \quad (152)$$

Z δ smo označili kot naklona obtežbe, z $\vartheta_{a,\delta}$ pa kot drsine.

Vpliv tal na geosintetike je zajet v členu $\sigma_{v,i} * l_{ü,b}$. Člen $\sigma_{v,i}$ predstavlja vertikalni pritisk zaradi obtežbe tal v ravnini i, člen $l_{ü,b}$ pa predstavlja dolžino geosintetika izven tlora temelja. Vpliv tal na geosintetik $\sigma_{v,i}$ izračunamo z enačbo:

$$\sigma_{v,i} = \gamma_F * \Delta h * i + \gamma_{ü} * d \quad (153)$$

Prostorninsko težo nadomestnih tal označimo z γ_F , vertikalno razdaljo med geosintetiki z Δh , z i pa smo označili ravnino geosintetika, na katerega računamo pritisk tal ($i = 1, \dots, n_B$).

Prostorninsko težo zemljine okrog temelja nad nadomestno zemljino označimo z $\gamma_{\ddot{u}}$ (\ddot{u} – über – nad) in ima enako vrednost kot prvotna tla γ_1 . Z d smo označili globino temelja. Pritisk tal na geosintetik narašča z globino, zato izračunamo vrednosti $\sigma_{v,i}$ za vsak geosintetik posebej.

Dolžino geosintetika, ki ne leži pod tlorisom temelja, označimo z $l_{\ddot{u},b}$ in izračunamo z enačbo:

$$l_{\ddot{u},b} = \frac{1}{2} * (l_b - b) \quad (154)$$

Dolžino geosintetikov smo označili z l_b , širino temelja pa smo označili z b .

Koeficient trenja $f_{sg,k}$ je za vse sloje armiranih nadomestnih tal enak, saj je strižni kot nadomestnih tal $\varphi'_{F,k}$ enak nad in pod geosintetikom. Kompozitni vpliv λ je odvisen od vrste geosintetika, ki ga bomo vgradili v nadomestna tla, in od zemljine med geosintetiki.

$$f_{sg,k} = \lambda * \tan \varphi'_{F,k} \quad (\text{enaka kot enačba 14})$$

Število 2 v enačbi za $R_{Ai,k}$ predstavlja spodnjo in zgornjo površino geosintetikov.

Pri izbiri geosintetikov je potrebno paziti, da je natezna odpornost geosintetika $R_{B,k}$ manjša ali enaka največji odpornosti geosintetika pred izvlekom $R_{An,k}$ ($R_{B,k} \leq R_{An,k}$), saj se tako izognemo predimenzioniranju geosintetikov in lahko rečemo, da je izkoriščenost geosintetikov dobra. V primeru, da bi bila odpornost pred izvlekom manjša kot natezna odpornost ($R_{A,k} \leq R_{B,k}$), bi se geosintetik vedno prej iztrgal iz tal in razlike med natezno odpornostjo in odpornostjo pred izvlekom ne bi mogli izkoristiti. Pogoji za določitev največje natezne trdnosti geosintetikov lahko zapišemo: $\max R_{B,k} \leq \max R_{A,k}$.

Povečanje nosilnosti nadomestnih tal zaradi vgraditve geosintetikov izračunamo z enačbo:

$$\Delta R_{n,k} = \sum_{i=1}^n R_{i,k} * (\cos \varphi'_{F,k} * \cos \delta) / \cos (\vartheta_{a,\delta} - \delta) \quad (155)$$

Projektno nosilnost armiranih nadomestnih tal izračunamo z enačbo (γ_{Gr} iz preglednice 3):

$$\text{vorh } R_{n,d} = \text{vorh } R_{n,k} / \gamma_{Gr} \quad (156)$$

Ravnotežni pogoj nosilnosti armiranih tal

Pogoj za preverjanje nosilnosti armiranih tal je izpolnjen, ko je projektna nosilnost armiranih tal $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ večja od projektne nosilnosti temelja E_d . Pogoj za preverjanje nosilnosti armiranih tal zapišemo:

$$E_d \leq \text{vorh } R_{n,d} = R'_{n,d} + \Delta R_{n,d} \quad (157)$$

Nosilnost armiranih tal je odvisna od števila ojačitvenih ravnin n_B , od dolžine geosintetikov l_b , od kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov $R_{B,k0}$, od kompozitnega koeficienta med geosintetikom in zemljino λ in od globine nadomestne zemljine t_p .

Ravnotežni pogoj nosilnosti armiranih tal nam pove, da morajo geosintetiki nadomestiti razliko med vplivi E_d in odpornostjo nadomestnih tal $R'_{n,d}$. Iz ravnotežnega pogoja nosilnosti armiranih tal lahko izračunamo zahtevano minimalno vsoto odpornosti geosintetikov.

$$\Delta R_{n,d} \geq E_d - R'_{n,d} \quad (158)$$

Geosintetiki morajo ustrezati tudi pogoju o povprečni togosti armiranih tal E' iz mejnega stanja uporabnosti, zato moramo, preden vgradimo geosintetike, preveriti tudi ta pogoj.

4.3.2 Dokaz povprečne togosti tal

V mejnem stanju uporabnosti (GZ 2, SLS) v skladu z standardom DIN 1054 izračunamo povprečno togost armiranih tal $E'_{s,k}$, iz česar lahko, v skladu z standardom DIN 4019, izračunamo posedke in zasuke. Posedke in zasuke temelja se največkrat določi z ustreznim računskim programom za izračun deformiranja tal.

V mejnem stanju uporabnosti moramo izračunati še dokaz lege rezultante pritiska na dno temelja in, če je to potrebno, še horizontalne premike. V svoji analizi sem preveril le povprečno togost armiranih tal v skladu s smernicami EBGEO.

Povprečno togost nadomestnih tal izračunamo z enačbo:

$$E'_{s,k} \geq E_{s,k} * (1 - N_k / R'_{n,k}) * R'_{n,k} / R_{n,k} \quad (159)$$

Povprečno togost armiranih nadomestnih tal izračunamo z enačbo:

$$E'_{s,k} \geq E_{s,k} * (1 - N_k / (R'_{n,k} + \Delta R_{n,k})) * (R'_{n,k} + \Delta R_{n,k}) / R'_{n,k} \quad (160)$$

Povprečna togost nadomestnih tal ali nadomestnih armiranih tal $E'_{s,k}$ mora biti večja ali enaka povprečni togosti prvotnih tal $E_{s,k}$. V primeru, da povprečna togost nadomestnih tal ni večja od povprečne togosti prvotnih tal, med sloje nadomestnih tal vgradimo geosintetike. Pogoj povprečne togosti armiranih tal lahko zahteva vgraditev geosintetikov z večjo kratkotrajno natezno trdnostjo $R_{B,k0}$ kot pa pogoj o nosilnosti armiranih nadomestnih tal.

4.4 Izbira geosintetikov

Pri izbiri geosintetikov za vgraditev v nadomestna tla imamo dve možnosti.

V prvem primeru lahko izračunamo minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov $R_{B,k0}$ in nato izračunamo še potrebno vrednost kompozitnega koeficienta λ , s katerim določimo vrsto geosintetika.

V drugem primeru najprej izračunamo minimalno vrednost kompozitnega koeficienta λ , s katerim smo določili vrsto geosintetika, in nato izračunamo pripadajočo kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov $R_{B,k0}$.

Iz pogoja za preverjanje porušitve tal v mejnem stanju nosilnosti (GZ 1B, ULS STR) in iz pogoja o povprečni togosti nadomestnih tal v mejnem stanju uporabnosti (GZ 2, SLS) izračunamo zahtevano vsoto minimalnih karakterističnih odpornosti geosintetikov $\Sigma R_{i,k}$. Med dobljenima rezultatoma vedno vzamemo večjega.

$$\begin{aligned} E_d * \Upsilon_{Gr} &= R'_{n,k} + \Delta R_{n,k} \\ \Delta R_{n,k} &= E_d * \Upsilon_{Gr} - R'_{n,k} \\ \Sigma R_{i,k} * (\cos \varphi'_{F,k} * \cos \delta) / \cos (\vartheta_{a,\delta} - \delta) &= E_d * \Upsilon_{Gr} - R'_{n,k} \\ \Sigma R_{i,k} &= (E_d * \Upsilon_{Gr} - R'_{n,k}) * \cos (\vartheta_{a,\delta} - \delta) / (\cos \varphi'_{F,k} * \cos \delta) \end{aligned} \quad (161)$$

$$\begin{aligned} E'_{s,k} &= E_{s,k} * (1 - N_k / \text{vorh } R_{n,k}) * \text{vorh } R_{n,k} / R'_{n,k} && /: E_{s,k} \\ E'_{s,k} / E_{s,k} &= (1 - N_k / \text{vorh } R_{n,k}) * \text{vorh } R_{n,k} / R'_{n,k} && /* R'_{n,k} \\ 1 * R'_{n,k} &= (1 - N_k / \text{vorh } R_{n,k}) * \text{vorh } R_{n,k} \\ R'_{n,k} &= \text{vorh } R_{n,k} - N_k \\ R'_{n,k} + \Delta R_{n,k} &= R'_{n,k} + N_k \\ \Delta R_{n,k} &= N_k \\ \Sigma R_{i,k} * (\cos \varphi'_{F,k} * \cos \delta) / \cos (\vartheta_{a,\delta} - \delta) &= N_k \\ \Sigma R_{i,k} &= N_k * \cos (\vartheta_{a,\delta} - \delta) / (\cos \varphi'_{F,k} * \cos \delta) \end{aligned} \quad (162)$$

1. možnost:

Izračunamo minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov:

$$\min R_{B,k0} = (\Sigma R_{i,k} / n_B) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 \quad (163)$$

Na najvišje geosintetike je najmanjši pritisk, zato jih je najlažje izvleči iz zemljine. V primeru, da je odpornost pred izvlekom najvišjega geosintetika manjša kot izračunana natezna odpornost geosintetika ($R_{A1,k} < R_{B,k}$), pogoj pred porušitvijo armiranih tal ni izpolnjen in izračunamo minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov z enačbo:

$$\min R_{B,k0} = ((\sum R_{i,k} - R_{A1,k}) / (n_B - 1)) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 \quad (164)$$

V primeru, da ima tudi drugi najvišji geosintetik manjšo odpornost pred izvlekom, kot je izračunana natezna odpornost geosintetika ($R_{A2,k} < R_{B,k}$), pogoj pred porušitvijo armiranih tal ni izpolnjen. Minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov izračunamo z enačbo:

$$\min R_{B,k0} = ((\sum R_{i,k} - R_{A1,k} - R_{A2,k}) / (n_B - 2)) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 \quad (165)$$

Postopek ponovimo za vse ojačitvene ravnine, saj morajo razliko med odpornostjo pred izvlekom $R_{A_i,k}$ in zahtevano natezno odpornostjo $R_{B,k}$ iz višje ležečih ravnin prevzeti nižje ležeči geosintetiki.

Glede na izračunano minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov izračunamo kompozitni koeficient λ za najvišji geosintetik $i = 1$.

$$\lambda = (\min R_{B,k0} / (A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5)) / (2 * (N_{G,k} / b * l_{in,1} + \sigma_{v,1} * l_{ü,b}) * \tan \varphi'_{F,k}) \quad (166)$$

Vrednost kompozitnega koeficienta ne sme biti večja od 1. V primeru, da je izračunana vrednost večja od 1, v nadaljnjih izračuni vzamemo največjo dovoljeno vrednost $\lambda = 1$.

Največjo natezno trdnost $\max R_{B,k0}$ izračunamo za najnižji geosintetik ($i = n_B$), z enačbo:

$$\max R_{B,k0} = 2 * \tan \varphi'_{F,k} * \lambda * (N_{G,k} / b * l_{in,nB} + \sigma_{v,nB} * l_{ü,b}) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 \quad (167)$$

V primeru, da je izračunana $\min R_{B,k0}$ večja od izračunane $\max R_{B,k0}$ in je vrednost kompozitnega koeficienta $\lambda = 1,0$, armiranih tal ne moremo narediti. V tem primeru je največja odpornost pred izvlekom manjša od zahtevane natezne trdnosti geosintetikov: $R_{A,n,k} < R_{B,k}$, zato je odpornost celotne armirane zemljine manjša od zahtevane.

2. možnost:

Izračunamo minimalni kompozitni koeficient $\min \lambda$. V izračunu upoštevamo vse ojačitvene ravnine ($i = 1, \dots, n_B$). Izračunani kompozitni koeficient ne sme biti večji od 1,0, $\lambda \leq 1,0$.

$$\min \lambda = \sum R_{i,k} / (\sum_{i=1}^{nB} 2 * \tan \varphi'_{F,k} * (N_k / b * l_{in,i} + \sigma_{v,i} * l_{ü,b})) \quad (168)$$

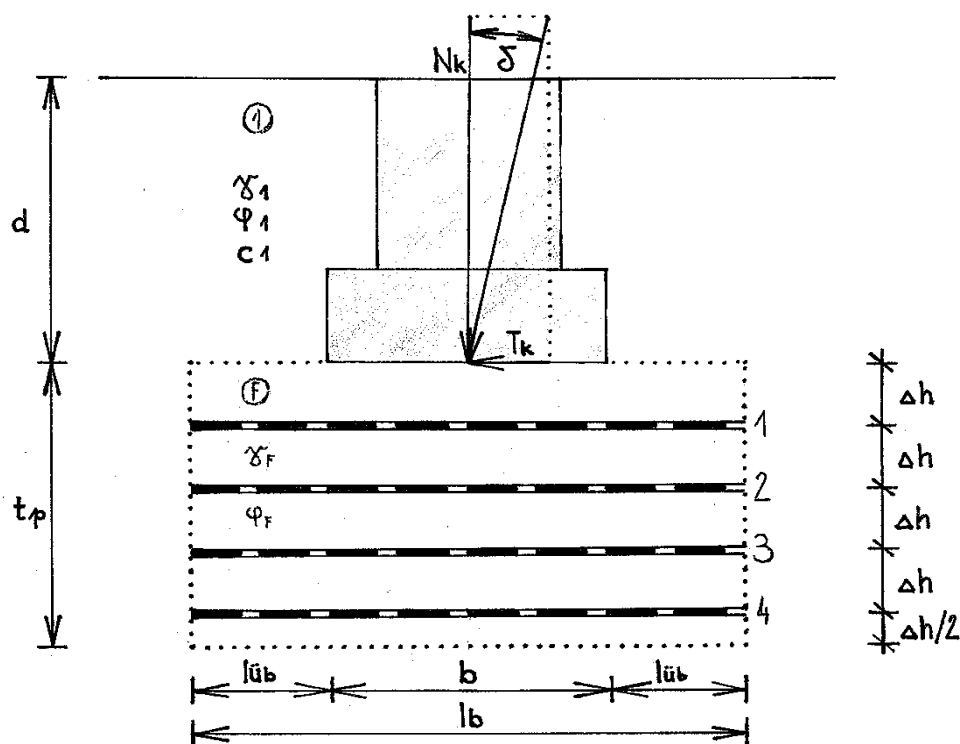
Pripadajočo kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov $R_{B,k0}$ izračunamo glede na $\min \lambda$ za najnižji geosintetik v armiranih nadomestnih tleh ($i = n_B$):

$$R_{B,k0} (\min \lambda) = 2 * \tan \varphi'_{F,k} * \min \lambda * (N_k / b * l_{in,nB} + \sigma_{v,nB} * l_{ü,b}) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 \quad (169)$$

Največjo kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov $R_{B,k0}$ ($\max \lambda = 1$) izračunamo za najnižji geosintetik v armiranih nadomestnih tleh ($i = n_B$):

$$R_{B,k0} (\lambda = 1) = 2 * \tan \varphi'_{F,k} * 1 * (N_k / b * l_{in,nB} + \sigma_{v,nB} * l_{ü,b}) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 \quad (170)$$

4.5 Primer: Temelj na armiranih nadomestnih tleh



Slika 10: Temelj na armiranih nadomestnih tleh, primer

| | A primer: | B primer: |
|------------------------------|--|---|
| Vertikalna stalna obtežba: | $N_{G,k} = \text{od } 200 \text{ do } 1000 \text{ kN/m}$ | $N_{G,k} = 500 \text{ kN/m}$ |
| Strižni kot nadomestnih tal: | $\varphi'_{F,k} = 30^\circ$ | $\varphi'_{F,k} = \text{od } 20^\circ \text{ do } 45^\circ$ |

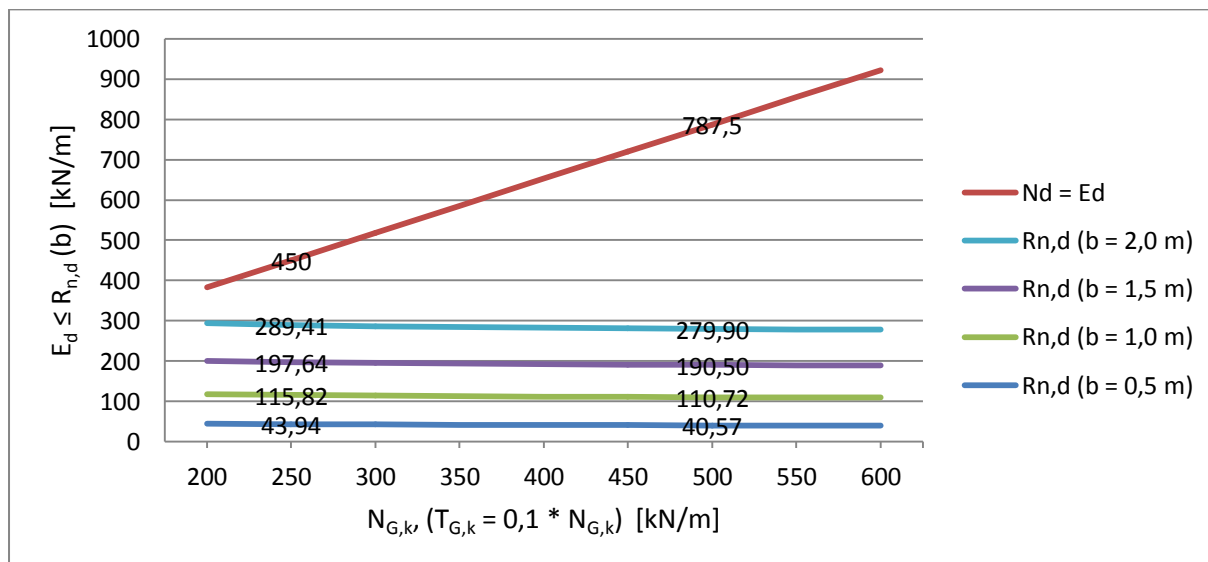
| | |
|------------------------------------|---|
| Dolžina temelja: | $a = 1000,0 \text{ m}$ |
| Širina temelja: | $b = 2,0 \text{ m}$ |
| Globina temelja: | $d = 1,0 \text{ m}$ |
| Horizontalna stalna obtežba: | $T_{G,k} = 0,1 * N_{G,k}$ |
| Vertikalna spremenljiva obtežba: | $N_{Q,k} = 75 \text{ kN/m}$ |
| Horizontalna spremenljiva obtežba: | $T_{Q,k} = 0$ |
| EkspONENT: | $m = 2; \omega = 90^\circ$ |
| Število slojev nadomestnih tal: | $n = 2, 6, 7, 8 \text{ in } 9$ |
| Višina slojev nadomestnih tal: | $\Delta h = 0,15 \text{ m}$ |
| Širina nadomestnih tal: | $l_b = 4,0 \text{ m}$ |
| Zmanjševalni faktorji: | $A_1 = 2,5; A_2 = 1,2; A_3 = 1,0; A_4 = 1,0; A_5 = 1,0$ |

| | Prvotna tla: | Nadomestna tla: |
|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Prostorninska teža: | $\gamma_{1,k} = 18 \text{ kN/m}^3$ | $\gamma_{F,k} = 20 \text{ kN/m}^3$ |
| Kohezija: | $c'_{1,k} = 5 \text{ kN/m}^2$ | $c'_{F,k} = 0 \text{ kN/m}^2$ |
| Strižni kot: | $\varphi'_{1,k} = 20^\circ$ | A primer B primer |
| Povprečna togost: | $E_{s,k} = 8000 \text{ kN/m}^2$ | Moramo jo izračunati |

A primer: $N_{G,k}$ = od 200 kN/m do 1000 kN/m; $\varphi'_{F,k} = 30^\circ$

Nosilnost prvotnih tal

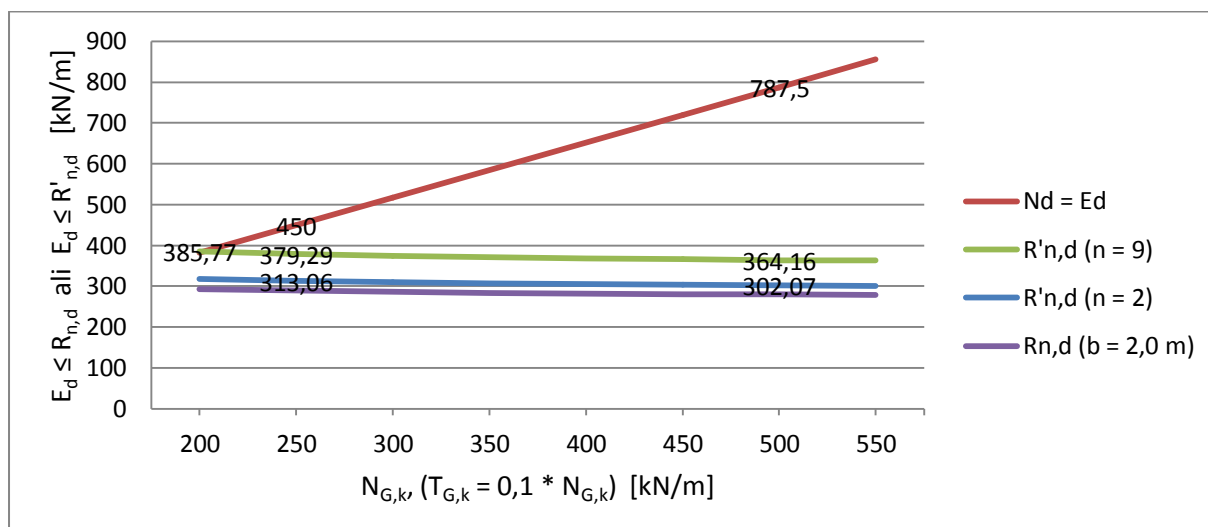
Grafikon 22 pokaže, da ravnotežni pogoj nosilnosti tal ni izpolnjen, saj so vrednosti odpornosti tal $R_{n,d(b)}$ pod vrednosti vplivov E_d . Kadar ravnotežni pogoj nosilnosti tal ni izpolnjen, moramo zgraditi nadomestna tla.



Grafikon 22: Dokaz nosilnosti prvotnih tal za A primer

Nosilnost nadomestnih tal

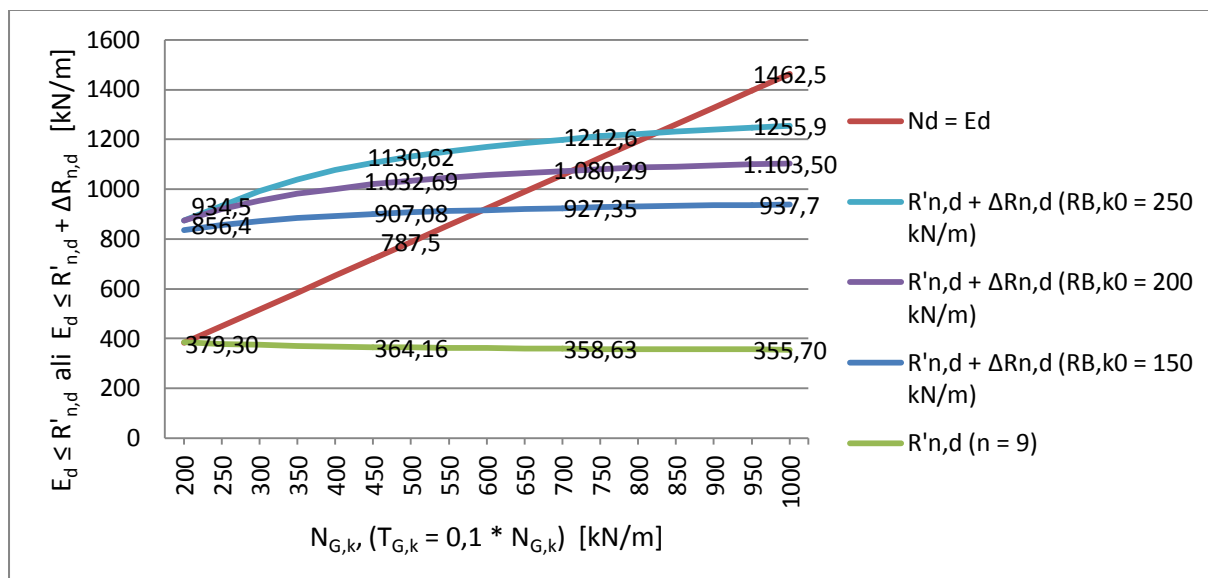
V grafikonu 23 je ravnotežni $E_d \leq R'_{n,d}$ izpolnjen samo za navpično obtežbo temelja $N_{G,k} = 200$ kN/m in za globino nadomestne zemljine $t_p = n * \Delta h = 9 * 0,15$ m = 1,425 m. V primerih z večjo navpično obtežbo $N_{G,k}$ je potrebno med sloje nadomestne zemljine vgraditi geosintetične ojačitve.



Grafikon 23: Dokaz nosilnosti nadomestnih tal za A primer

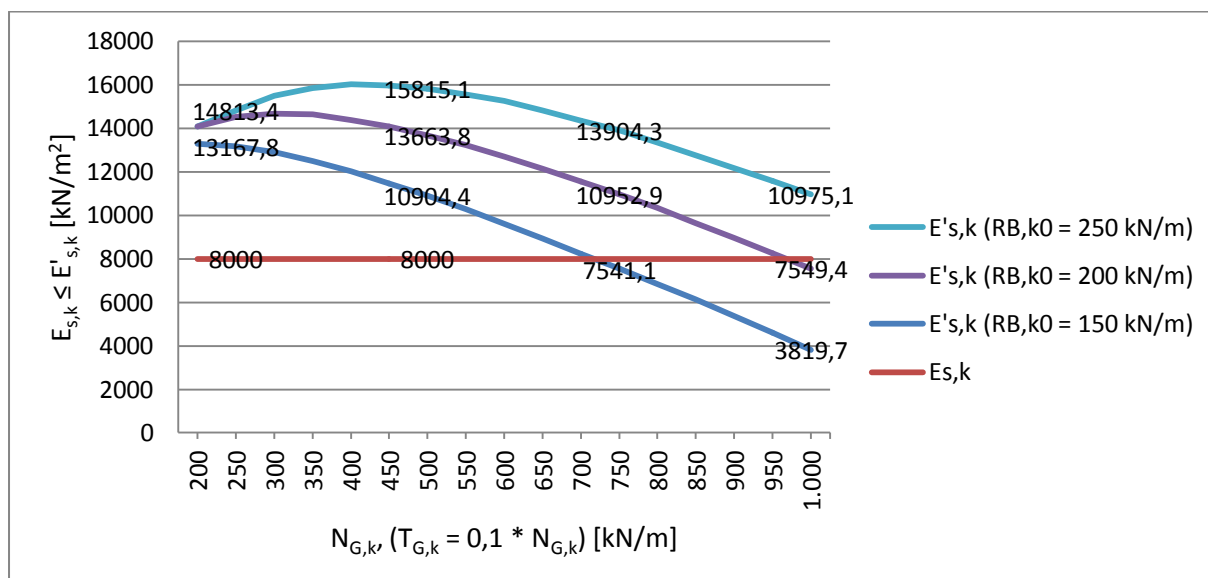
Nosilnost armiranih nadomestnih tal in povprečna togost nadomestnih armiranih tal

V grafikonu 24 je dokaz nosilnosti armiranih tal izpolnjen, če je krivulja $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d} (R_{B,k0})$ nad premico E_d . V primeru, da dokaz nosilnosti armiranih tal ni izpolnjen, moramo izbrati geosintetike z večjo kratkotrajno natezno trdnostjo. Kadar je dokaz izpolnjen, preverimo še dokaz o povprečni togosti nadomestne armirane zemljine. Rezultati v grafikonu 24 in 25 so podani za navpično obtežbo temelja: $N_{G,k} = 250 \text{ kN/m}$, 500 kN/m , 750 kN/m in 1000 kN/m .



Grafikon 24: Dokaz nosilnosti armiranih nadomestnih tal z izbranimi $R_{B,k0}$ za A primer

V grafikonu 25 je dokaz o povprečni togosti tal izpolnjen, če je krivulja $E'_{s,k} (R_{B,k0})$ nad konstanto $E_{s,k}$. V primeru, da dokaz ni izpolnjen, je potrebno izbrati geosintetike z večjo kratkotrajno natezno trdnostjo $R_{B,k0}$.

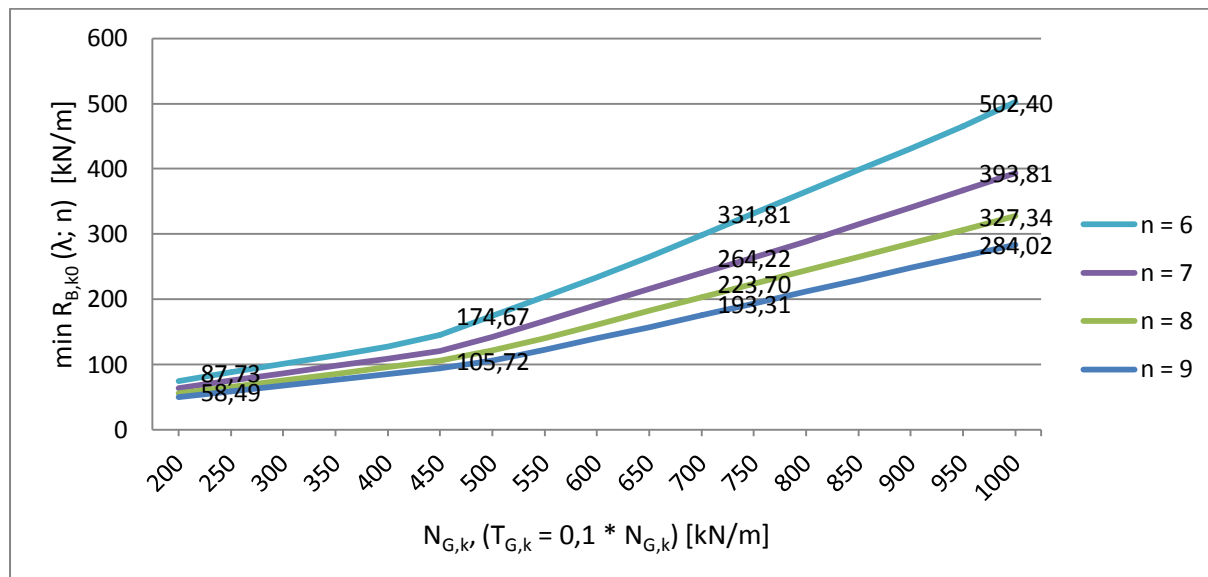


Grafikon 25: Dokaz povp. togosti armiranih nadomestnih tal z izbranimi $R_{B,k0}$ za A primer

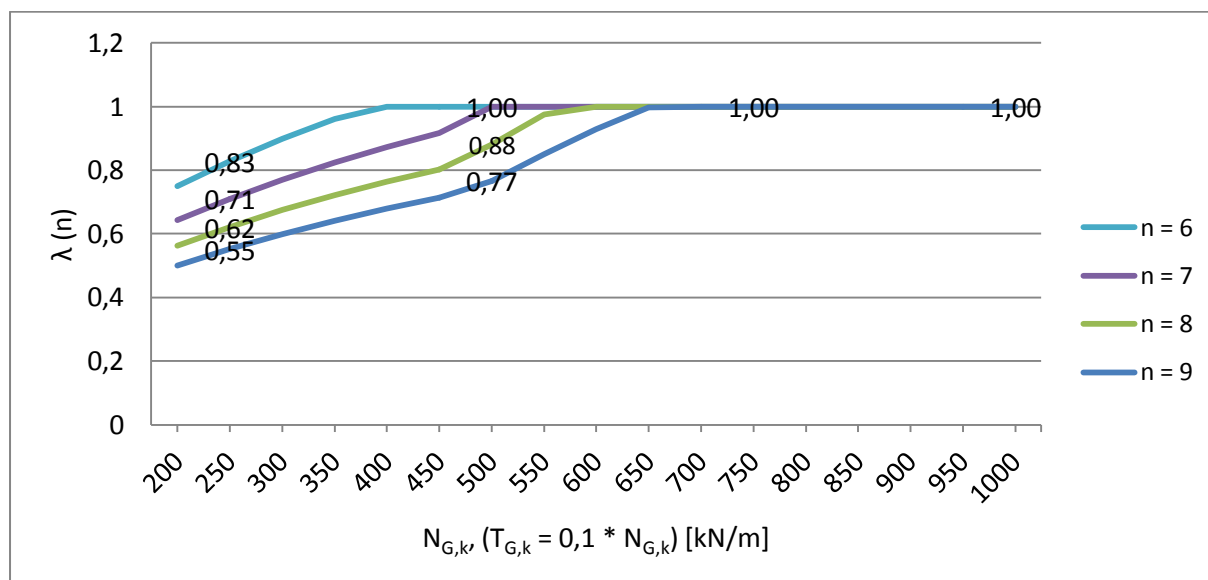
Izbira geosintetikov

Rezultati v grafikonih 26, 27, 28, 29, 30 in 31 so podani za navpično obtežbo temelja: $N_{G,k} = 250 \text{ kN/m}$, 500 kN/m , 750 kN/m in 1000 kN/m .

1. možnost: izračunamo $\min R_{B,k0}$ in λ

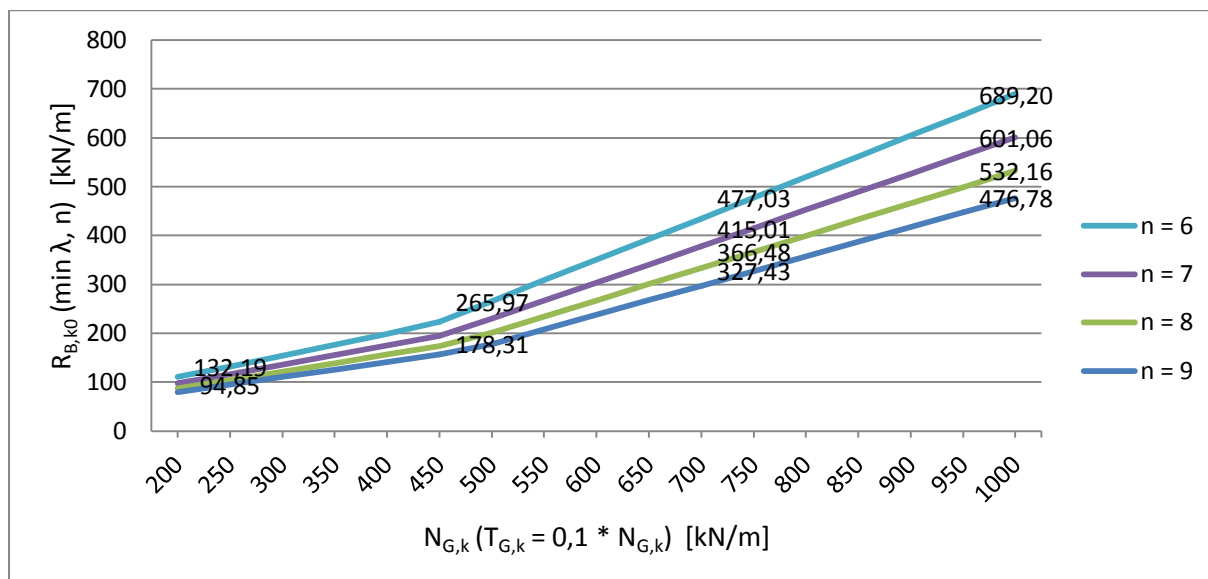


Grafikon 26: Izračunane $\min R_{B,k0}$ po 1. možnosti za A primer

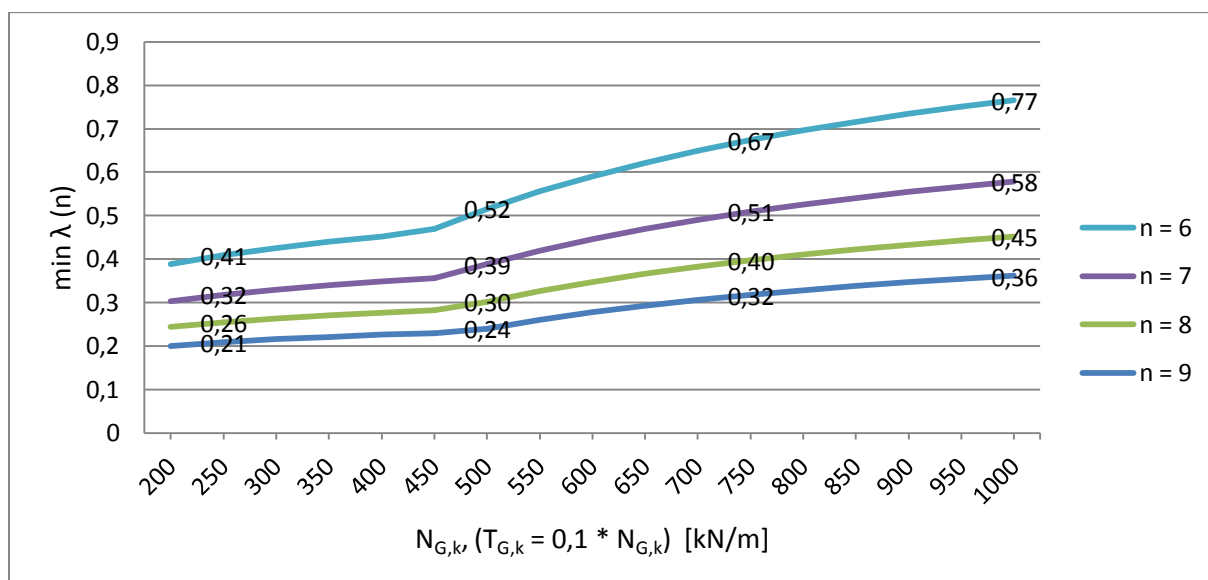


Grafikon 27: Izračunane vrednosti kompozitnega koeficienta λ po 1. možnosti za A primer

2. možnost: izračunamo $\min \lambda$ in $R_{B,k0}$ ($\min \lambda$)



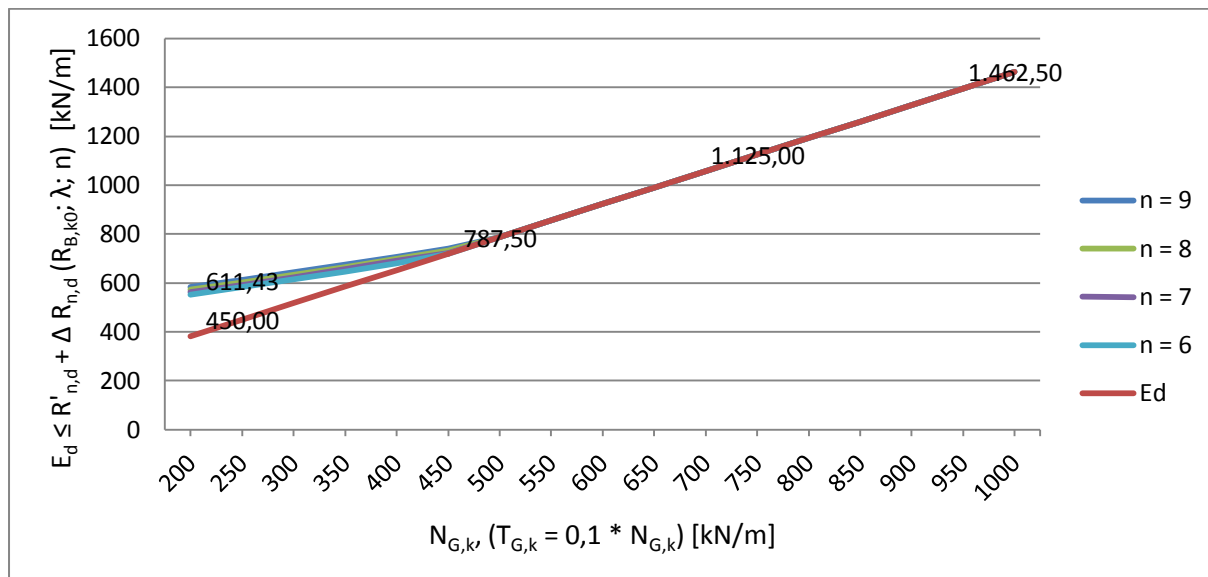
Grafikon 28: Izračunane $R_{B,k0}$ po 2. možnosti za A primer



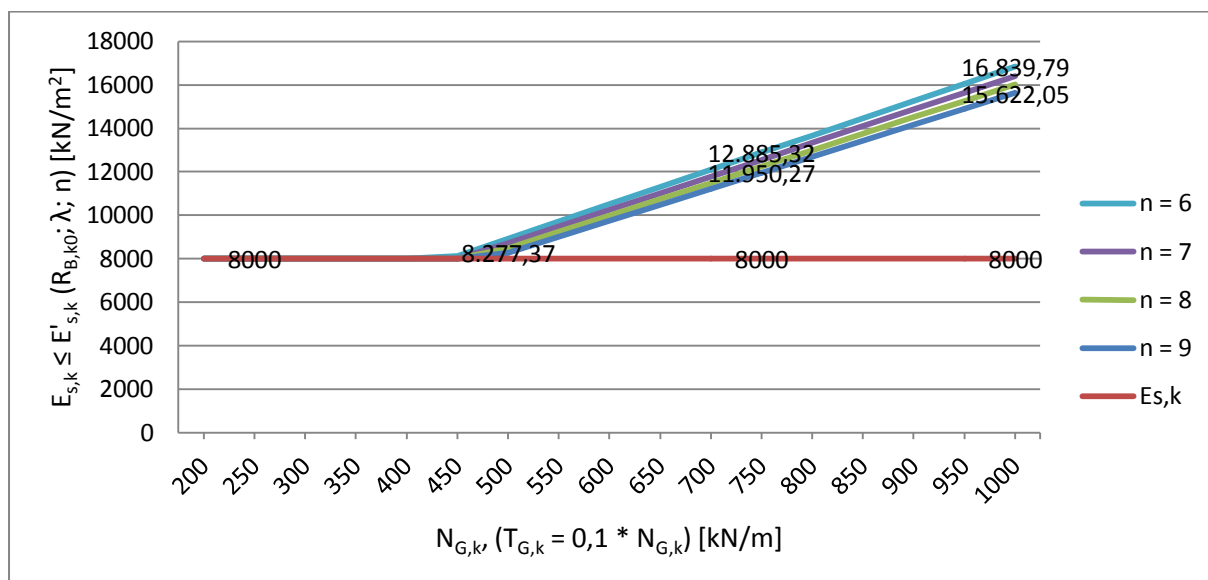
Grafikon 29: Izračunane minimalne vrednosti kom. koef. λ po 2. možnosti za A primer

Rezultati analize

Razultati analize nosilnosti armiranih nadomestnih tal in povprečne togosti armiranih tal so po prvi in po drugi možnosti enaki.



Grafikon 30: Dokaz nosilnosti armiranih nad. tal z izračunanimi $R_{B,k0}$ in λ za A primer

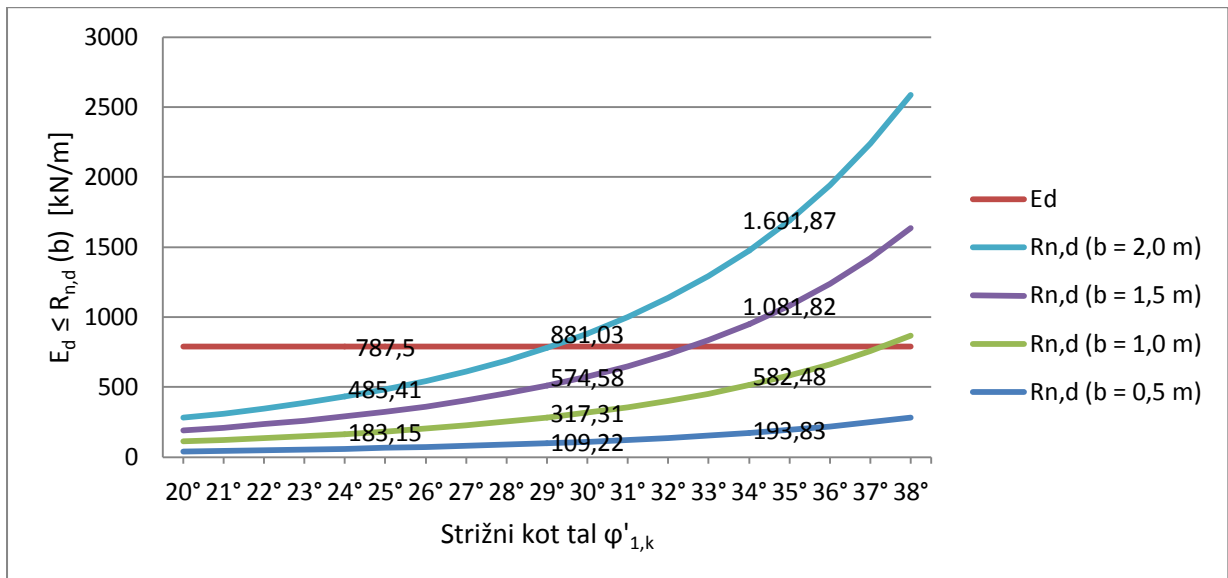


Grafikon 31: Dokaz povp. togosti armiranih nad. tal z izračunanimi $R_{B,k0}$ in λ za A primer

B primer: $\varphi'_{F,k}$ = od 20° do 45°; $N_{G,k}$ = 500 kN/m

Nosilnost prvotnih tal

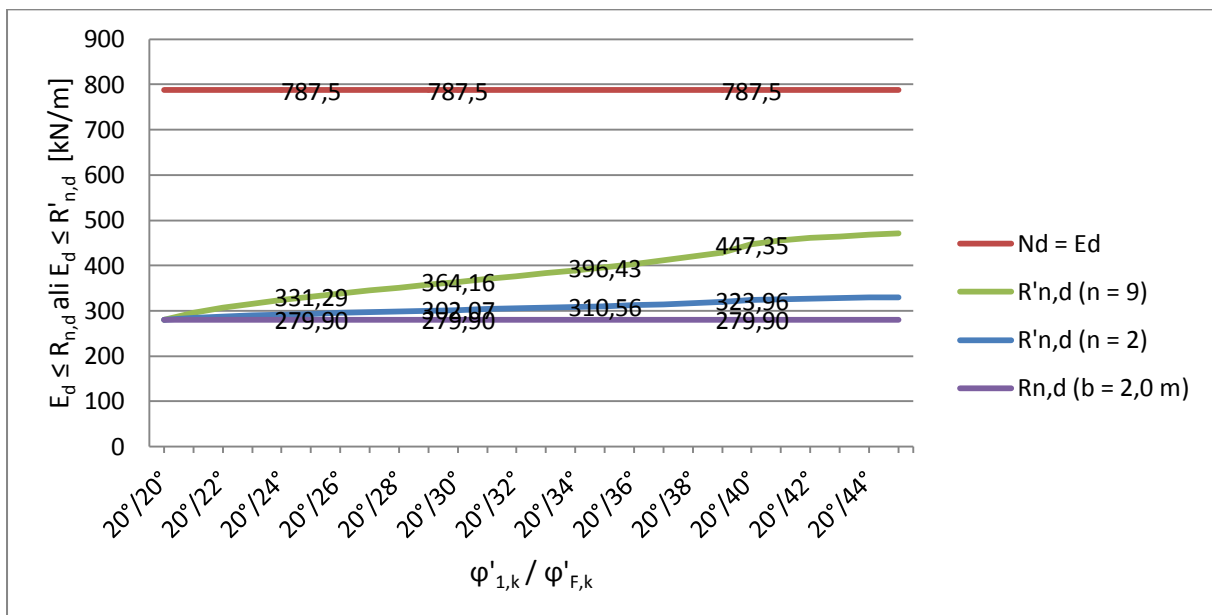
Za grafikon 32 velja, da je pogoj nosilnosti tal izpolnjen, če je vrednost krivulje $R_{n,d}(b)$ nad konstanto vplivov E_d . Odpornost tal se s povečevanjem strižnega kota tal $\varphi'_{1,k}$ izboljšuje.



Grafikon 32: Dokaz nosilnosti prvotnih tal za B primer

Nosilnost nadomestnih tal

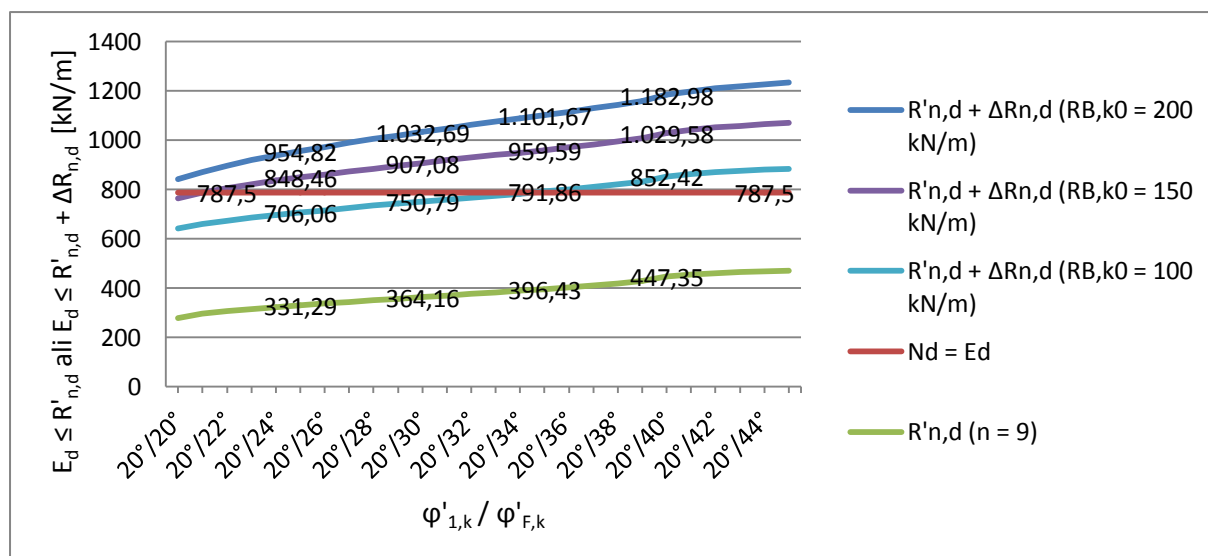
V grafikonu 33 vidimo, da so odpornosti nadomestnih tal $R'_{n,d}(n)$ za vse strižne kote nadomestnih tal $\varphi'_{F,k}$ pod vplivi E_d , zato dokaz nosilnosti nadomestnih tal ni izpolnjen in je potrebno med sloje nadomestnih tal vgraditi geosintetične ojačitve.



Grafikon 33: Dokaz nosilnosti nadomestnih tal za B primer

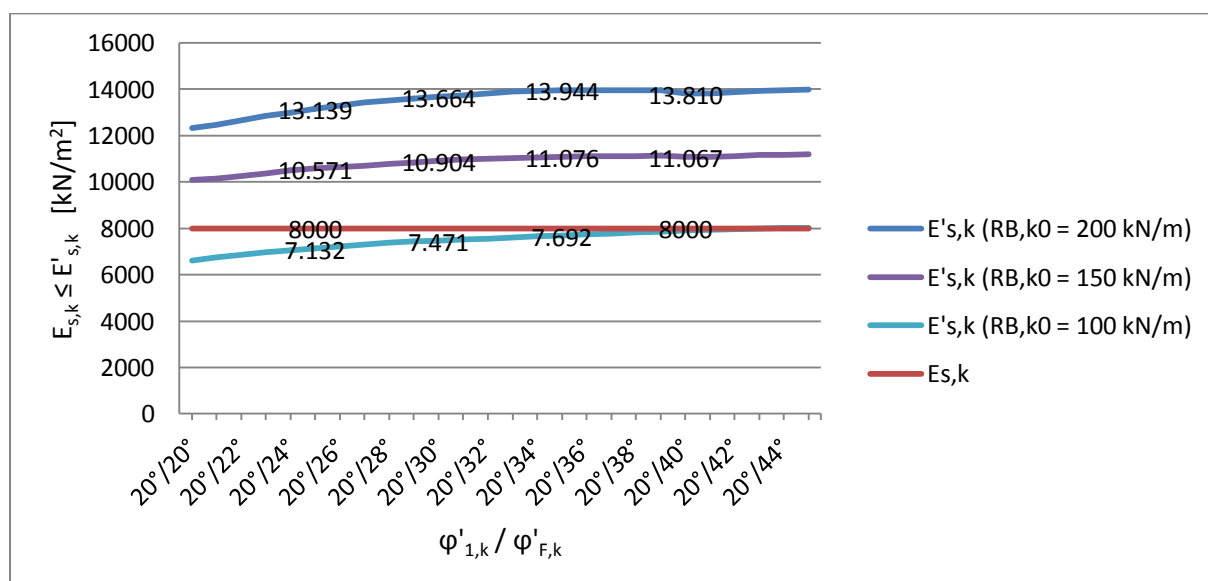
Nosilnost armiranih nadomestnih tal in povprečna togost nadomestnih armiranih tal

V grafikonu 34 je dokaz nosilnosti armiranih tal izpolnjen, če je krivulja $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}(R_{B,k0})$ nad konstanto E_d . V primeru, da dokaz nosilnosti armiranih tal ni izpolnjen, moramo izbrati geosintetike z večjo kratkotrajno natezno trdnostjo. Rezultati v grafikonu 34 so podani za strižne kote nadomestnih tal: $\varphi'_{F,k} = 25^\circ$, $\varphi'_{F,k} = 30^\circ$, $\varphi'_{F,k} = 35^\circ$ in $\varphi'_{F,k} = 40^\circ$.



Grafikon 34: Dokaz nosilnosti armiranih nadomestnih tal z izbranimi $R_{B,k0}$ za B primer

V grafikonu 35 je dokaz o povprečni togosti tal izpolnjen, če je krivulja $E'_{s,k}(R_{B,k0})$ nad konstanto $E_{s,k}$. V primeru, da dokaz ni izpolnjen, je potrebno izbrati geosintetike z večjo kratkotrajno natezno trdnostjo $R_{B,k0}$. Rezultati v grafikonu 35 so podani za strižne kote nadomestnih tal: $\varphi'_{F,k} = 25^\circ$, $\varphi'_{F,k} = 30^\circ$, $\varphi'_{F,k} = 35^\circ$ in $\varphi'_{F,k} = 40^\circ$.

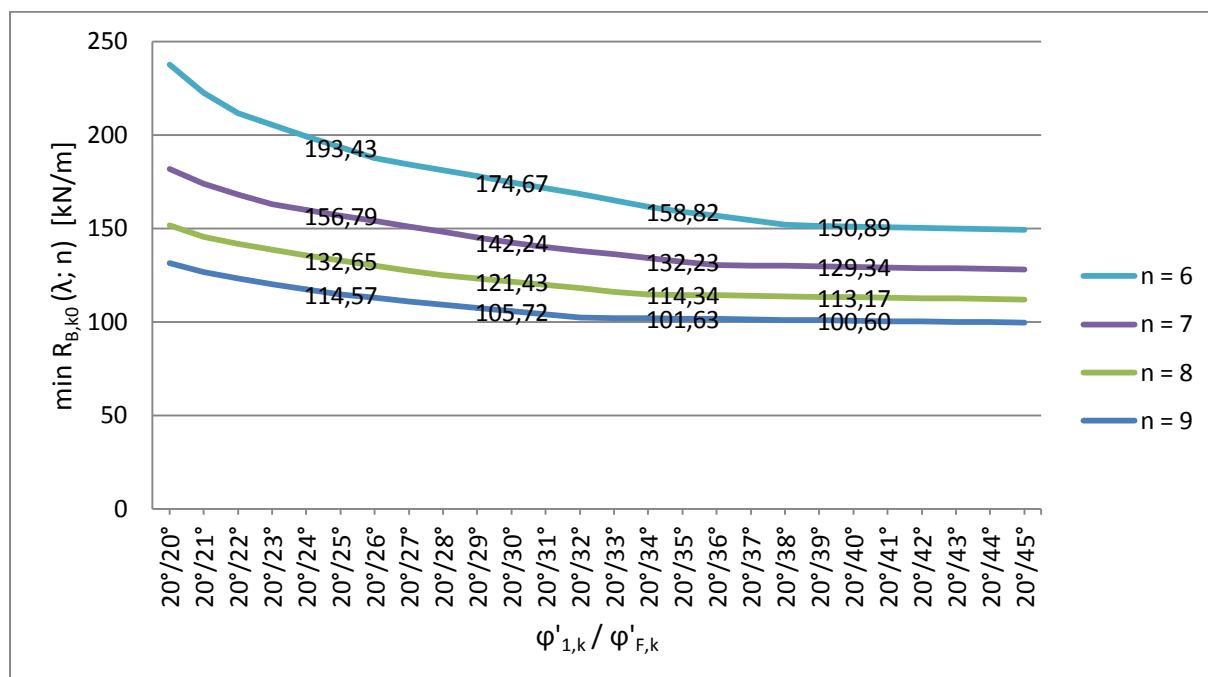


Grafikon 35: Dokaz povp. togosti armiranih nadomestnih tal z izbranimi $R_{B,k0}$ za B primer

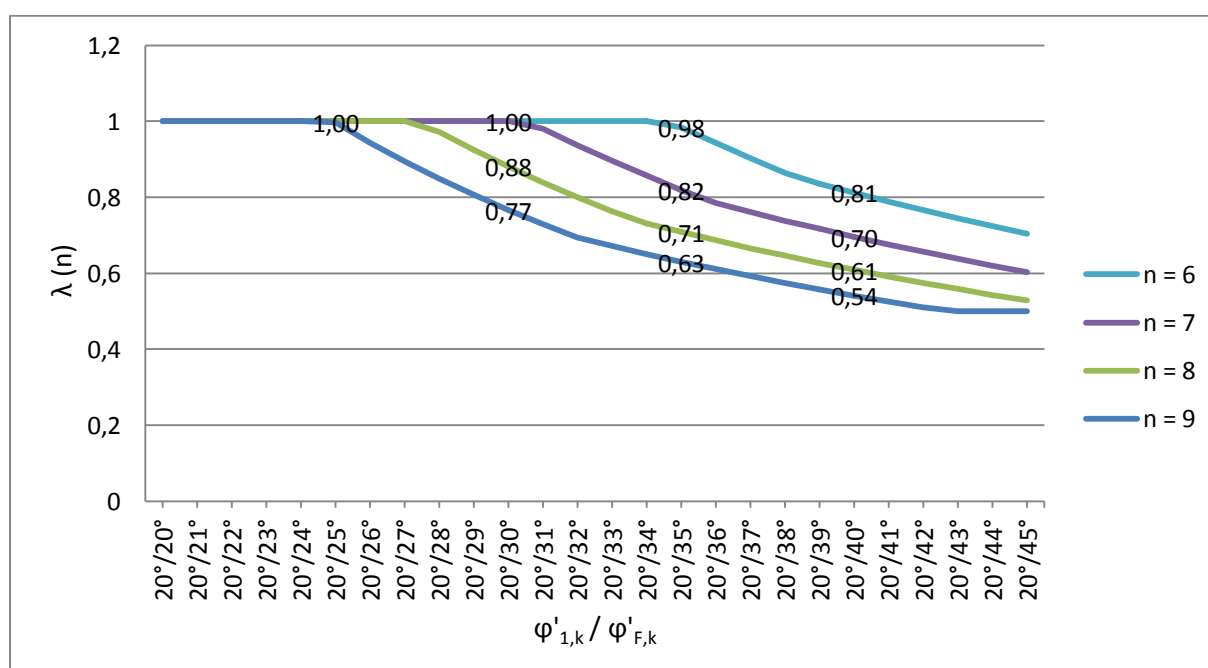
Izbira geosintetikov

Rezultati v grafikonih 36, 37, 38, 39, 40 in 41 so podani za strižne kote nadomestnih tal: $\varphi'_{F,k} = 25^\circ$, $\varphi'_{F,k} = 30^\circ$, $\varphi'_{F,k} = 35^\circ$ in $\varphi'_{F,k} = 40^\circ$.

1. možnost: izračunamo $\min R_{B,k0}$ in λ

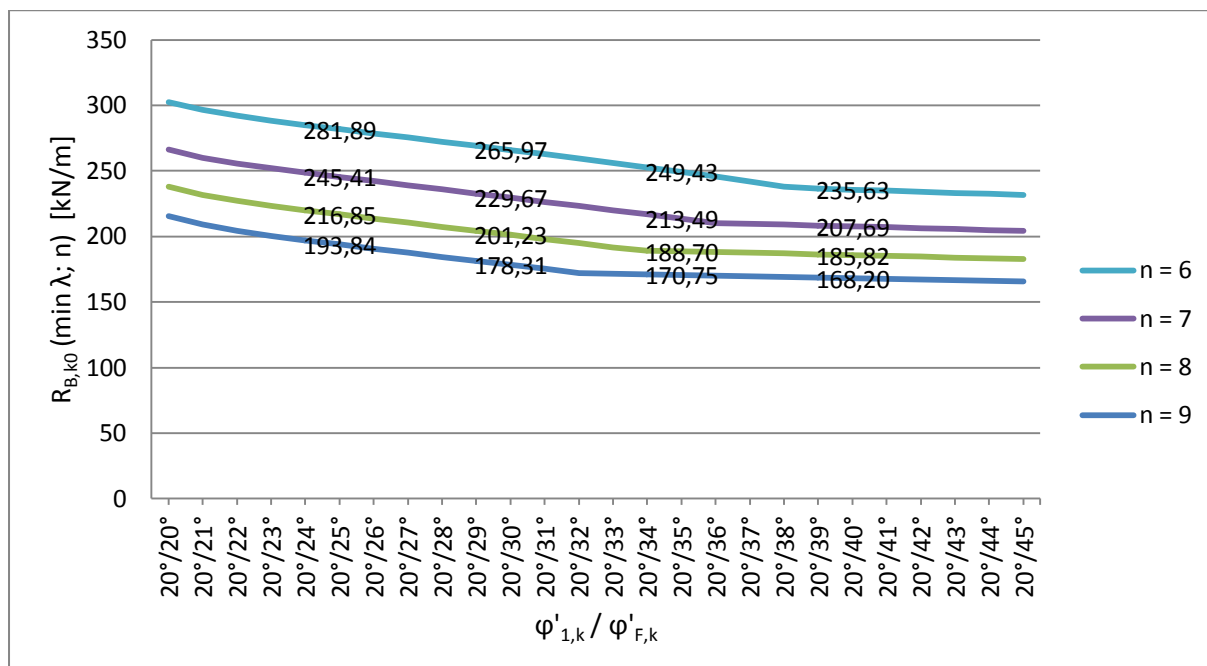


Grafikon 36: Izračunane $\min R_{B,k0}$ po 1. možnosti za B primer

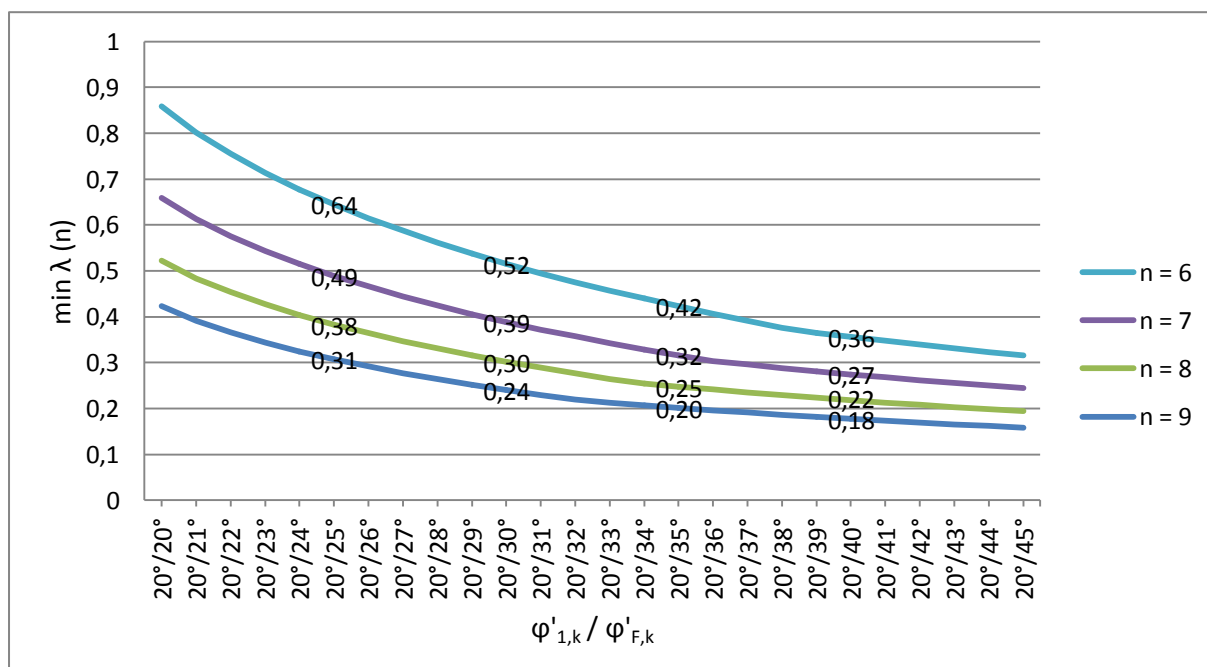


Grafikon 37: Izračunane vrednosti kompozitnega koeficienta λ po 1. možnosti za B primer

2. možnost: izračunamo $\min \lambda$ in $R_{B,k0}$ ($\min \lambda$)



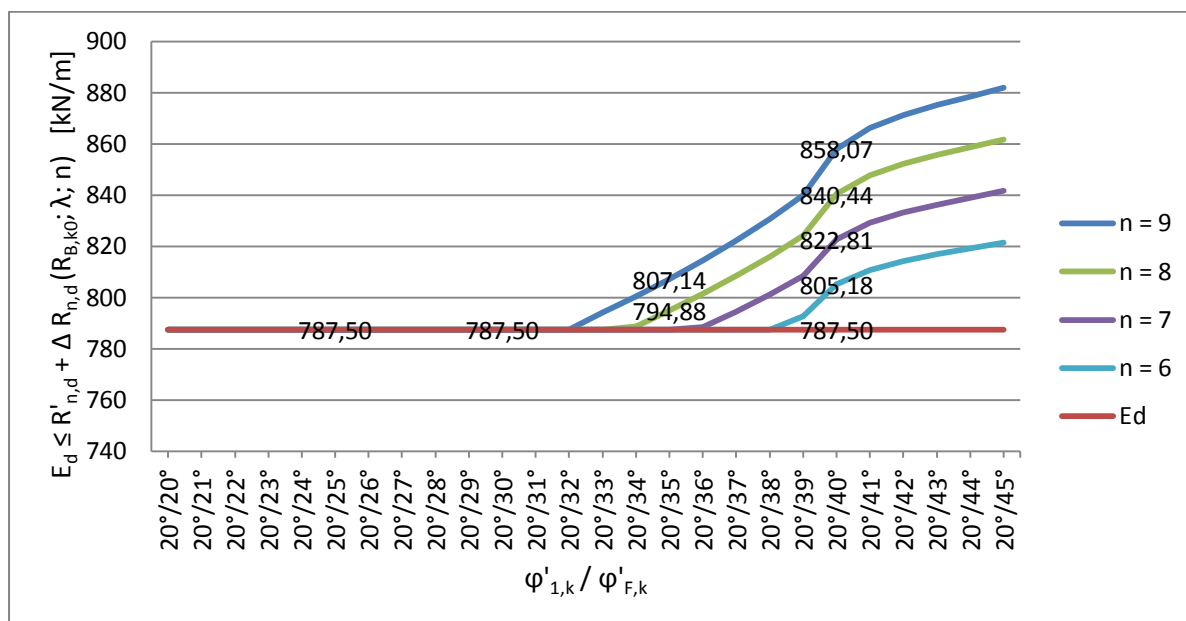
Grafikon 38: Izračunane $R_{B,k0}$ po 2. možnosti za B primer



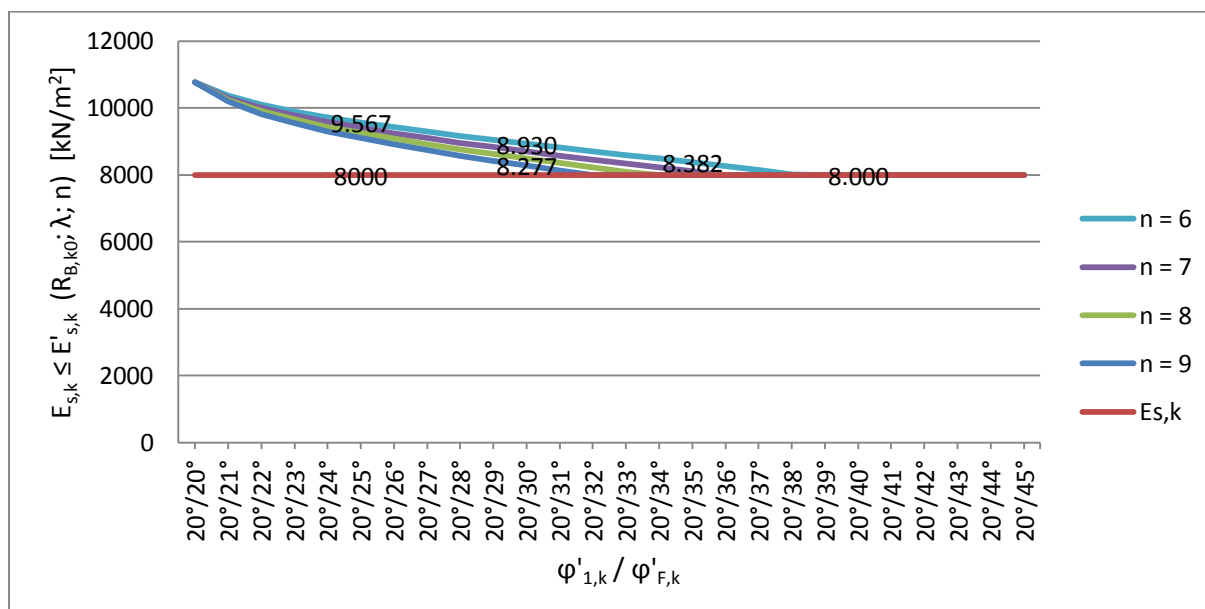
Grafikon 39: Izračunane minimalne vrednosti kom. koef. λ po 2. možnosti za B primer

Rezultati analize

Razultati analize nosilnosti armiranih nadomestnih tal in povprečne togosti armiranih tal so po prvi in po drugi možnosti enaki.



Grafikon 40: Dokaz nosilnosti armiranih nad.tal z izračunanimi $R_{B,k0}$ in λ za B primer



Grafikon 41: Dokaz pov. togosti armiranih nad. tal z izračunanimi $R_{B,k0}$ in λ za B primer

4.6 Zaključek

Armirana tla zgradimo, kadar je nosilnost prvotnih tal in nadomestnih tal manjša od vplivov temelja.

Kot sem prikazal v primeru, lahko z ustrezno izbiro širine temelja b preprečimo porušitev tal. Nosilnost nadomestnih tal lahko reguliramo z izbiro števila n_B in višine slojev nadomestnih tal Δh . Iz ravnotežnega pogoja nosilnosti armiranih nadomestnih tal in pogoja o povprečni togosti armiranih tal lahko izračunamo minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov $\min R_{B,k0}$ in maksimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov $\max R_{B,k0}$.

Nosilnost armiranih nadomestnih tal je vsota nosilnosti nadomestnih tal in nosilnosti geosintetikov. Ker večino obremenitev prevzamejo geosintetiki, je nosilnost armiranih nadomestnih tal odvisna predvsem od števila ojačitvenih trakov n_B in njihove natezne trdnosti. V primeru, da je razdalja med ojačitvenimi ravninami najmanjša ($\min \Delta h$), lahko vgradimo največje število geosintetikov in s tem dosežemo največjo nosilnost armiranih nadomestnih tal. V primeru, da zmanjšamo vertikalno razdaljo med geosintetiki, je potrebno vgraditi geosintetike, ki v kombinaciji s tlemi povzročijo večji kompozitni koeficient λ in tako zmanjšajo možnost izvleka.

Pri izbiri geosintetika je potrebno paziti, da ima izbrani geosintetik dovolj veliko natezno trdnost $R_{B,k}$ in odpornost pred pretrgom $R_{A,k}$. Hkrati moramo paziti na izkoriščenost geosintetika, kar pomeni, da mora imeti geosintetik natezno trdnost manjšo ali enako največji odpornosti pred izvlekom. V tem primeru lahko rečemo, da je geosintetik dobro izkoriščen. V nasprotnem primeru razlike med natezno trdnostjo geosintetika in odpornostjo pred izvlekom nikoli ne bi izkoristili, saj bi se geosintetik vedno prej iztrgal iz tal. Dovolj veliko odpornost pred izvlekom v armiranih tleh zagotovimo z ustreznim strižnim kotom armiranih tal $\varphi'_{F,k}$, z dovolj veliko vertikalno razdaljo med geosintetiki Δh in z izbiro ustreznih geosintetikov, ki zagotovijo dovolj velik kompozitni koeficient λ .

Minimalne natezne trdnosti geosintetikov določimo glede na pogoj pred poružitvijo armiranih tal iz mejnega stanja nosilnosti in glede na pogoj o povprečni togosti tal iz mejnega stanja uporabnosti.

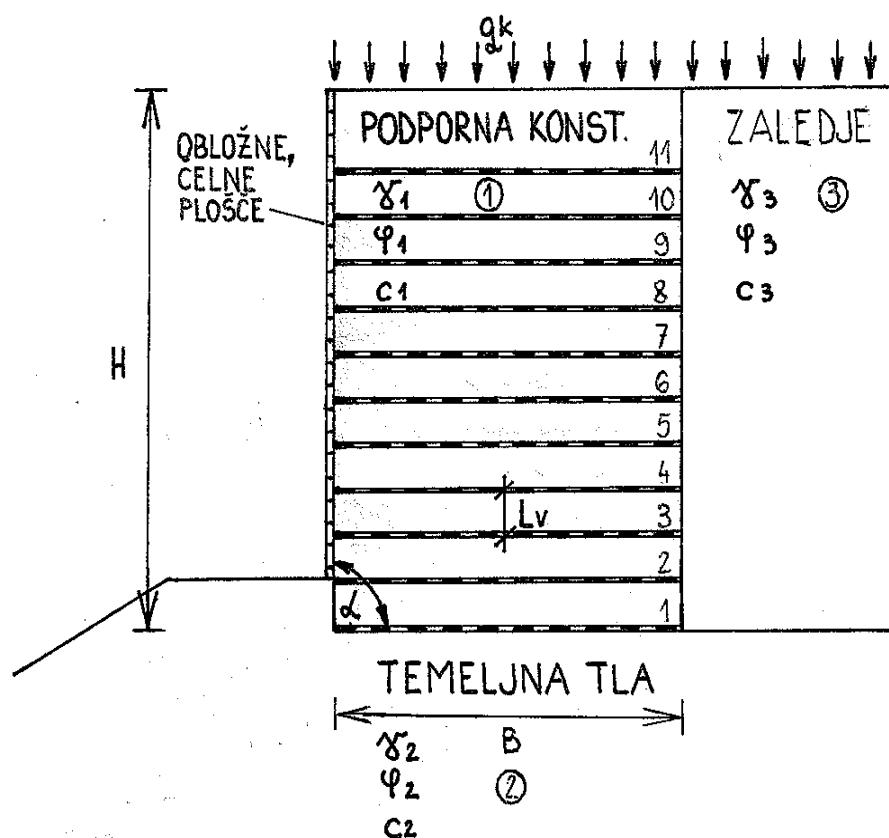
Z dobrim premislekom, ustrezno izbiro širine temelja b , ustrezno izbiro števila ojačitvenih ravnin n_B in ustrezno izbiro geosintetikov imajo lahko armirana nadomestna tla bistveno večjo nosilnost kot prvotna tla.

5 PODPORNNA KONSTRUKCIJA

5.1 Opis

S podporno konstrukcijo lahko stabiliziramo strma zaledja, nasipe ali brežine pri velikih vkopih. Z izgradnjo podporne konstrukcije preprečimo porušitev ali zdrs zaledja, do katere lahko pride zaradi majhne kohezije zaledja $c' \approx 0$.

Podporno konstrukcijo zgradimo iz več slojev zemljine, med katere položimo geosintetike. Z geosintetiki armirana zemljina se obnaša kot kompozit, kjer zemljina prevzame tlačne obremenitve, geosintetik pa natezne obremenitve. Na prednjo stran podporne konstrukcije lahko vgradimo obložne plošče.



Slika 11: Podporna konstrukcija

Podporna konstrukcija je v mejnem stanju nosilnosti (GZ 1 – Grenzzustand 1, ULS – Ultimate Limit state) varna, ko so izpolnjeni dokaz varnosti pred zdrsom po standardu DIN 1054 (GZ 1B, STR), dokaz globalne stabilnosti podporne konstrukcije po DIN 4084 (GZ 1C, GEO), dokaz lege rezultante pritiska na dno podporne konstrukcije po DIN 1054 (GZ 1A, EQU), dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo po DIN 4017 (GZ 1B, STR) in dokaz o priključitvi obložnih plošč po DIN 4085 (GZ 1B, STR).

V mejnem stanju uporabnosti (GZ 2 - Grenzzustand 2, SLS – Serviceability Limit State), ki ga izvedemo v skladu s standardom DIN 1054, moramo preveriti dokaz lege rezultante pritiska na dno podporne konstrukcije, premike konstrukcije v spodnji ploskvi in pogrezanja.

Geosintetike projektiramo v mejnem stanju nosilnosti glede na dokaz varnosti pred zdrsom, dokaz varnosti pred poružitvijo podporne konstrukcije in glede na dokaz o priključitvi obložnih plošč.

5.2 Geometrija in podatki

5.2.1 Podporna konstrukcija in geosintetiki

Podporno konstrukcijo označimo z indeksom 1. Definiramo jo s strižnim kotom $\varphi'_{1,k}$, kohezijo $c'_{1,k}$ in prostorninsko težo $\gamma_{1,k}$. Pri dimenzioniranju geosintetikov upoštevamo, da je vrednost kohezije podporne konstrukcije $c'_{1,k} = 0$. Kohezija $c'_{1,k}$ ne nastopa v enačbah.

Višino podporne konstrukcije podamo z oznako H in je enaka višini zaledja, ki ga bomo s podporno konstrukcijo zavarovali. Širino podporne konstrukcije označimo z B in je določena z dolžino geosintetikov. Pri preddimenzioniranju znaša dolžina geosintetikov in širina podporne konstrukcije približno 70% višine konstrukcije.

$$B = 0,70 * H \quad (171)$$

Geosintetiki so določeni s kratkotrajno natezno trdnostjo $R_{B,k0}$, z delnimi faktorji za končno stanje A_1, A_2, A_3, A_4 in A_5 in z delnim faktorjem za materialno odpornost γ_M . Vrednosti delnega faktorja γ_M so za mejno stanje GEO podane v preglednici 5. Od vrste geosintetika je odvisen tudi kompozitni koeficient λ .

Geosintetike označimo od spodaj navzgor s številkami od 1 proti n. Prvi geosintetik položimo na temeljna tla in nanj nasujemo sloj zemljine. Običajna razdalja med posameznimi sloji geosintetika l_v je med 0,3 m in 0,6 m. Razdalja med geosintetiki je za vse sloje enaka. Zaželeno je, da je nad najvišjim geosintetikom debelejši sloj zemljine kot 0,6 m, saj je tako pritisk zemljine na geosintetik večji in je otežen njegov izvlek. Število armirnih trakov n določimo z razmerjem med višino konstrukcije H in z izbrano razdaljo med dvema geosintetikoma l_v :

$$n = H / l_v \quad (172)$$

Na koncu geosintetičnih okrepitev lahko naredimo zadnjo steno podporne konstrukcije, s katero ločimo podporno konstrukcijo od zaledja. Podporna konstrukcija je lahko glede na kot α nagnjena proti zaledju. Na zunanji, zračni strani podporne konstrukcije na geosintetike priključimo obložne plošče. Vrsta obložnih plošč je določena s kotom trenja zemljine v podporni konstrukciji ob prednjo stran podporne konstrukcije. Kot trenja označimo z δ_1 .

Obložne plošče so lahko deformabilne, pogojno deformabilne ali nedeformabilne. Naloga obložnih plošč je, da preprečijo porušitev zemljine v podporni konstrukciji in ji dajejo boljši izgled.

Karakteristično lastno težo podporne konstrukcije izračunamo z enačbo:

$$G_k = H * B * \gamma_{1,k} \quad (173)$$

Nad podporno konstrukcijo in nad zaledjem upoštevamo še vpliv zunanje linijske obtežbe, ki jo označimo s q . Karakteristično spremenljivo zunanjo obtežbo nad podporno konstrukcijo izračunamo z enačbo:

$$Q_k = q_k * B \quad (174)$$

5.2.2 Tla

Tla pod podporno konstrukcijo označimo z indeksom 2 in jih definiramo s strižnim kotom $\varphi'_{2,k}$, kohezijo $c'_{2,k}$ in prostorninsko težo $\gamma_{2,k}$. Za tla pod podporno konstrukcijo ne podamo njene globine, kar pomeni, da je globina tal velika.

5.2.3 Zaledje

Zaledje za podporno konstrukcijo označimo z indeksom 3. Podati moramo njegov strižni kot $\varphi'_{3,k}$, kohezijo $c'_{3,k}$ in prostorninsko težo $\gamma_{3,k}$. Pri dimenzioniranju geosintetikov upoštevamo, da je vrednost kohezije zaledja $c'_{3,k} = 0$.

Višina zaledja je določena z višino H . Nad zaledjem upoštevamo še vpliv zunanje linijske obtežbe, ki jo označimo s q . Zaledje pritiska na zadnjo steno podporne konstrukcije vzdolž celotne višine H , pri čemer znaša koeficient trenja zaledja na zadnjo steno vedno $\mu = 2 / 3$.

Koeficient aktivnega pritiska zaledja na podporno konstrukcijo K_{ah} izračunamo z enačbo:

$$K_{ah,gk} = K_{ah,qk} = \cos^2 \varphi'_{3,k} / (1 + (\sin (\varphi'_{3,k} + \delta_{3,k}) * \sin \varphi'_{3,k} / \cos \delta_{3,k})^{1/2})^2 \quad (175)$$

$$\delta_{3,k} = \mu * \varphi'_{3,k} = 2/3 * \varphi'_{3,k} \quad (176)$$

Vpliv zaledja na zadnjo steno podporne konstrukcije razdelimo na njegovo horizontalno komponento $E_{ah,k}$ in na njegovo vertikalno komponento $E_{av,k}$.

Horizontalni stalni pritisk zaledja na podporno konstrukcijo izračunamo z enačbo:

$$E_{agh,k} = \frac{1}{2} * \gamma_{3,k} * K_{ah,gk} * H^2 \quad (177)$$

Horizontalni spremenljivi pritisk zaledja na podporno konstrukcijo izračunamo z enačbo:

$$E_{aqh,k} = K_{ah,qk} * H * q_k \quad (178)$$

Vertikalni stalni pritisk zaledja na podporno konstrukcijo izračunamo z enačbo:

$$E_{agv,k} = E_{agh,k} * \tan(\delta - \alpha) \quad (179)$$

Vertikalni spremenljivi pritisk zaledja na podporno konstrukcijo izračunamo z enačbo:

$$E_{aqv,k} = E_{aqh,k} * \tan(\delta - \alpha) \quad (180)$$

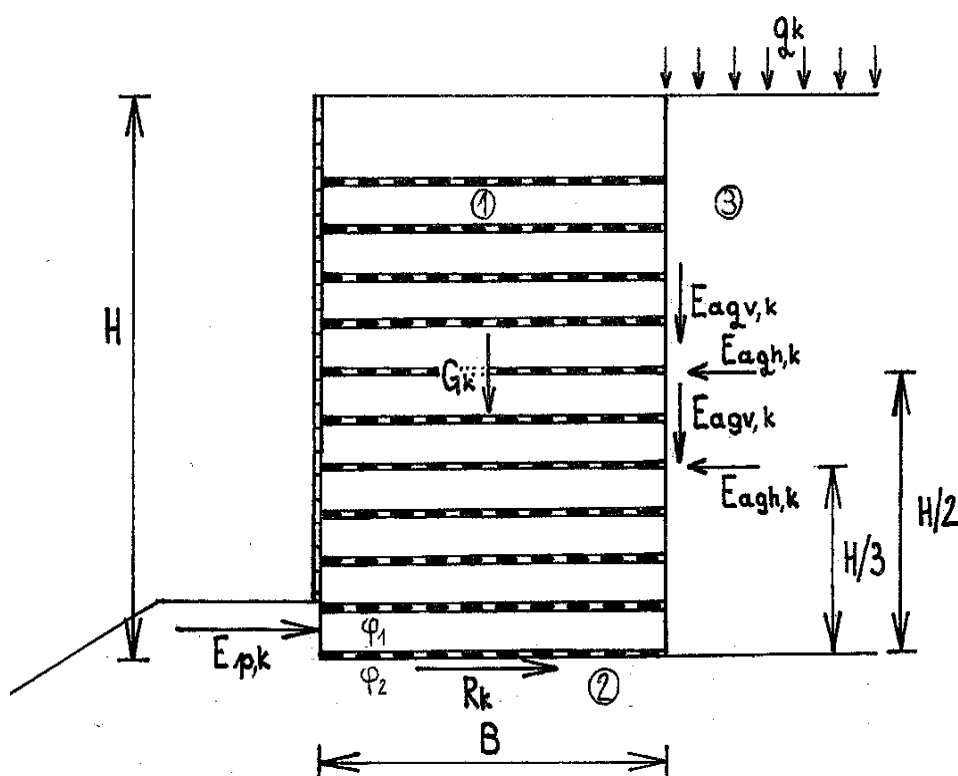
Vsoto vplivov v horizontalni smeri označimo s T_k , vsoto vplivov v vertikalni smeri pa z N_k .

5.3 Mejno stanje nosilnosti

5.3.1 Dokaz varnosti pred zdrsom konstrukcije

Dokaz varnosti pred zdrsom preverimo po standardu DIN 1054 za mejno stanje STR. Varnost pred zdrsom je zagotovljena, ko je izpolnjen sledeči ravnotežni pogoj:

$$T_d \leq R_{t,d} + E_{p,d} \quad (181)$$



Slika 12: Zdrs podporne konstrukcije

Z dokazom varnosti pred zdrsom preverimo možnost, da celotna podpora konstrukcija zdrsi po kontaktni ravnini med najnižjim geosintetikom in tlemi. Podporno konstrukcijo obravnavamo kot monolit, kar pomeni, da zanemarimo njeno večslojnost in zanemarimo zdrs dela konstrukcije po katerikoli drugi kontaktni ravnini med geosintetikom in tlemi.

Vpliv na podporno konstrukcijo

Zaledje pritiska na podporno konstrukcijo in jo poskuša izriniti. Vpliv zaledja na podporno konstrukcijo imenujemo aktivni horizontalni pritisk zaledja in ga označimo s T_d . Aktivni horizontalni pritisk zaledja izračunamo z enačbo:

$$T_d = E_{agh,k} * \gamma_G + E_{aqh,k} * \gamma_Q \quad (182)$$

Vrednosti za delna varnostna faktorja γ_G in γ_Q so podane v preglednici 2.

Horizontalni pritisk zaledja T_d je obratnosorazmeren z strižnim kotom zaledja $\varphi'_{3,k}$. Kadar je naklon zaledja $\varphi'_{3,k}$ najmanjši, je horizontalni pritisk zaledja T_d največji.

Odpornost proti zdrs

Podporna konstrukcija se zdrs upira z odpornostjo proti zdrs $R_{t,d}$ in s pasivnim pritiskom v tleh pred podporno konstrukcijo $E_{p,d}$.

Odpornost trenja pred zdrsom $R_{t,d}$ izračunamo z enačbo:

$$R_{t,d} = (G_k + E_{agv,k} + E_{aqv,k}) * f_{sg,k} / \gamma_{GL} \quad (183)$$

Pri dimenzioniranju poskušamo določiti najbolj neugodno kombinacijo, zato pri izračunu odpornosti izločimo spremenljivi vpliv nad podporno konstrukcijo q_k , ki v tem primeru deluje ugodno. Odpornost pred zdrsom je tem večja, čim večja je lastna teža podporne konstrukcije G_k , čim večji je vertikalni vpliv zaledja E_{agv} in E_{aqv} , ki se skozi podporno konstrukcijo prenese na najnižji geosintetik, in čim večji je koeficient trenja vzdolž najnižjega geosintetika $f_{sg,k}$.

Koeficient trenja vzdolž najnižjega geosintetika označimo s $f_{sg,k}$ ali $\tan \delta_{s,k}$ in je odvisen od kompozitnega koeficienta λ in od strižnega kota nad geosintetikom $\varphi'_{1,k}$ ali strižnega kota pod geosintetikom $\varphi'_{2,k}$. Vedno upoštevamo manjšo vrednost med strižnim kotom $\varphi'_{1,k}$ in strižnim kotom $\varphi'_{2,k}$. V primeru, da je strižni kot nad geosintetikom manjši kot strižni kot pod geosintetikom ($\varphi'_{1,k} < \varphi'_{2,k}$), bo podporna konstrukcija zdrsela nad geosintetikom, v nasprotnem primeru pa pod geosintetikom. Koeficient trenja izračunamo z enačbo:

$$f_{sg,k} = \lambda * \tan \varphi'_{ODLOČILEN,k} = \tan \delta_{s,k} \quad (184)$$

$$\varphi'_{ODLOČILEN,k} = \min (\varphi'_{1,k}; \varphi'_{2,k}) \quad (185)$$

Vrednosti delnega varnostnega faktorja γ_{GL} (Gl – Gleiten – zdrs) so podane v preglednici 3.

Pasivni zemeljski pritisk v tleh pred podporno konstrukcijo $E_{p,d}$ upoštevamo le takrat, kadar zgradimo podporno konstrukcijo pod zemljino in je izkop zemljine pred podporno konstrukcijo nedvoumno izključen. Pri dimenzioniranju geosintetikov je bolje, da pasivne odpornosti tal pred podporno konstrukcijo ne upoštevamo, saj so v tem primeru zahteve glede geosintetikov večje.

Dokaz varnosti pred zdrsom

Dokaz varnosti pred zdrsom konstrukcije je izpolnjen, ko je izpolnjen pogoj:

$$T_d \leq R_{t,d} \quad (186)$$

Iz ravnotežnega pogoja $T_d \leq R_{t,d}$ lahko izračunamo potrebni kompozitni koeficient λ , ki prepreči zdrs:

$$\begin{aligned} T_d &\leq (G_k + E_{agv,k} + E_{aqv,k}) * \tan \delta_{s,k} / \gamma_{GL} \\ \tan \delta_{s,k} &\geq T_d * \gamma_{GL} / (G_k + E_{agv,k} + E_{aqv,k}) \\ \lambda * \tan \varphi'_{ODLOČILEN,k} &\geq T_d * \gamma_{GL} / (G_k + E_{agv,k} + E_{aqv,k}) \\ \lambda &\geq T_d * \gamma_{GL} / (G_k + E_{agv,k} + E_{aqv,k}) * \tan \varphi'_{ODLOČILEN,k} \end{aligned} \quad (187)$$

Vrednosti izračunanega kompozitnega koeficienta ne more biti večja od 1,0 ($\lambda \leq 1,0$). V primeru, da je izračunana vrednost kompozitnega koeficienta večja od 1, moramo vgraditi daljše geosintetike, kot to zahteva konstrukcijski pogoj $B > 0,7 * H$.

Iz ravnotežnega pogoja $T_d \leq R_{t,d}$ lahko izračunamo potrebno dolžino geosintetikov B, ki prepreči zdrs podporne konstrukcije:

$$\begin{aligned} T_d &\leq (G_k + E_{agv,k} + E_{aqv,k}) * \tan \delta_{s,k} / \gamma_{GL} \\ T_d &\leq (H * B * \gamma_{1,k} + E_{agv,k} + E_{aqv,k}) * \tan \delta_{s,k} / \gamma_{GL} \\ B &\geq (T_d * \gamma_{GL}) / (\tan \delta_{s,k} * H * \gamma_{1,k} - E_{agv,k} / (H * \gamma_{1,k}) - E_{aqv,k} / (H * \gamma_{1,k})) \end{aligned} \quad (188)$$

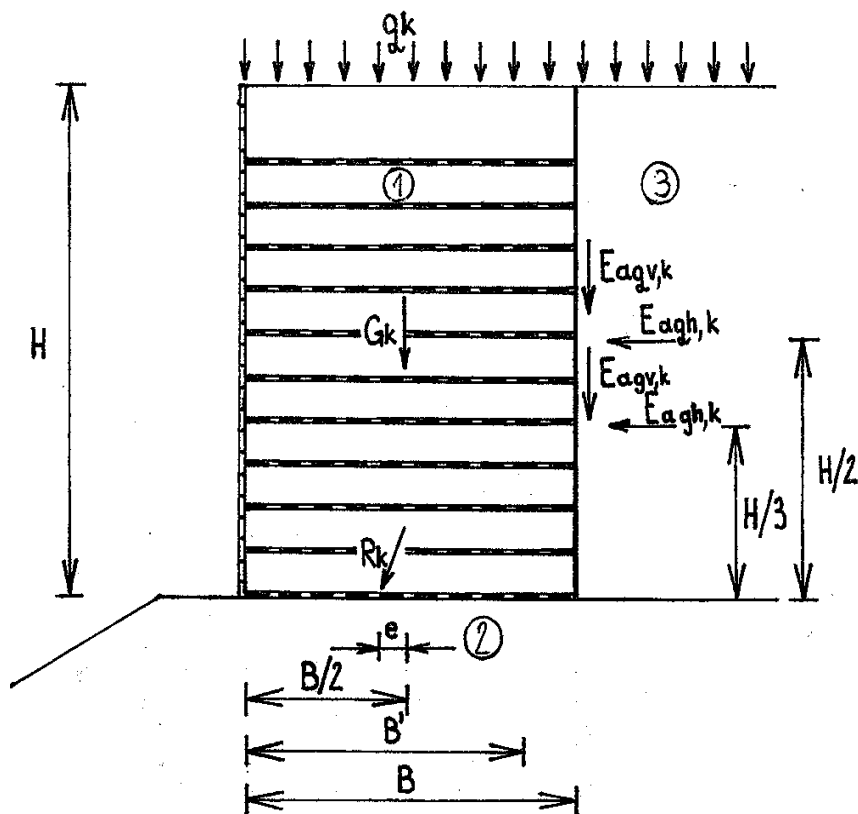
5.3.2 Dokaz ekscentričnosti rezultante vseh delujočih sil na podporno konstrukcijo

Dokaz ekscentričnosti rezultante vseh delujočih sil na podporno konstrukcijo omogoča oceno rotacije (zasuka) podporne konstrukcije.

Dokaz ekscentričnosti rezultante vseh delujočih sil preverimo po standardu DIN 1054 za mejno stranje EQU, pri čemer je dokaz izpolnjen, če velja:

$$e \leq B / 3 \quad (189)$$

Izračunati moramo oddaljenost rezultante vseh delujočih sil od težišča temeljne ploskve podporne konstrukcije, ki jo označimo z e in imenujemo ekscentričnost rezultante. Ekscentričnost rezultante ne sme biti večja od širine jedra podporne konstrukcije B/3. Širino jedra v mejnem stanju nosilnosti merimo od težišča konstrukcije, in sicer 1/6 širine konstrukcije B na notranjo, zaledno stran in 1/6 širine konstrukcije B na zunanjo, zračno stran podporne konstrukcije. Podporno konstrukcijo obravnavamo kot monolit.



Slika 13: Lega rezultante v dnu podporne konstrukcije

Vplivi

Z razmerjem med vsoto karakterističnih momentov ΣM_k in vsoto karakterističnih navpičnih sil ΣN_k na dno podporne konstrukcije izračunamo ekscentričnost rezultante:

$$e = \Sigma M_k / \Sigma N_k \quad (190)$$

Vsoto karakterističnih momentov na težišče podporne konstrukcije izračunamo z enačbo:

$$\Sigma M_k = (E_{agh,k} * H / 3) + (E_{aqh,k} * H / 2) - (E_{agv,k} * B / 2) - (E_{aqv,k} * B / 2) \quad (191)$$

Pritiski zaledja na konstrukcijo so enaki kot pri zdrs in jih izračunamo z istimi enačbami.

Aktivni horizontalni stalni pritisk zaledja na podporno konstrukcijo $E_{agh,k}$ z globino H konstantno narašča, kar pomeni, da je vpliv zaledja na podporno konstrukcijo na vrhu enak 0, v najnižji točki pa ima največjo vrednost. Aktivni horizontalni pritisk zaledja ima obliko trikotnika in rezultanto pritiska na tretjini višine podporne konstrukcije $H/3$.

Aktivni horizontalni spremenljivi pritisk zaradi spremenljive obtežbe na zaledju q_k na podporno konstrukcijo $E_{aqh,k}$ ima vzdolž višine podporne konstrukcije konstanten vpliv in zato obliko pravokotnika. Njegova rezultanta deluje na polovici višine podporne konstrukcije $H/2$.

Vertikalna komponenta aktivnega stalnega pritiska zaledja $E_{agv,k}$ in vertikalna komponenta aktivnega spremenljivega pritiska zaledja $E_{aqv,k}$ obremenjujeta podporno konstrukcijo vzdolž

njene zadnje stene, zato je dolžina ročice vertikalnih vplivov enaka polovici širine podporne konstrukcije $B/2$.

Kadar je vsota momentov pozitivna, se konstrukcija nagiba na zračno stran. Takrat je rezultanta pritiskov na zunanji, zračni strani širine jedra. Kadar je vsota momentov negativna, je rezultanta pritiskov na zaledni strani širine jedra in takrat se konstrukcija nasloni na zaledje.

Vsoto karakterističnih navpičnih pritiskov na dno površine izračunamo z istimi enačbami kot pri zdrs, le da tu upoštevamo še spremenljivo obtežbo nad podporno konstrukcijo q_k .

$$\Sigma N_k = G_k + E_{agv,k} + Q_k + E_{aqv,k} \quad (192)$$

V mejnem stanju EQU ni odpornosti, ampak med seboj primerjamo ugodne in neugodne vplive.

Lega rezultante v dnu podporne konstrukcije

Dokaz bo izpolnjen, kadar je oddaljenost rezultante pritiska e znotraj širine jedra podporne konstrukcije $B/3$.

Če leži rezultanta pritiskov zunaj dopustnega območja $B/3$ pomeni, da se konstrukcija preveč nagiba in da je preseženo mejno stanje nosilnosti.

Če rezultanta pritiskov leži zunaj dopustnega območja, a na zaledni strani, pomeni, da se podporna konstrukcija nasloni na zaledje in ga tako dodatno obremenjuje. To ne predstavlja problema, saj se bo zaledje po potrebi odzvalo s povečanimi zemeljskimi pritiski.

Kadar pogoj $e \leq B/3$ ni izpolnjen, lahko izračunamo potrebno širino podporne konstrukcije B , ki prepreči zasuk podporne konstrukcije z enačbo:

$$\begin{aligned} & (E_{agh,k} * H/3 + E_{aqh,k} * H/2 - E_{agv,k} * B/2 - E_{aqv,k} * B/2) / (G_k + E_{agv,k} + Q_k + E_{aqv,k}) \leq B/3 \\ & (E_{agh,k} * H/3 + E_{aqh,k} * H/2 - (E_{agv,k}/2 + E_{aqv,k}/2) * B) / (H * B * \gamma_{1,k} + E_{agv,k} + B * q_k + E_{aqv,k}) \leq B/3 \\ & E_{agh,k} * H/3 + E_{aqh,k} * H/2 - (E_{agv,k}/2 + E_{aqv,k}/2) * B \leq B/3 * (H * B * \gamma_{1,k} + E_{agv,k} + B * q_k + E_{aqv,k}) \\ & E_{agh,k} * H/3 + E_{aqh,k} * H/2 \leq B/3 * (H * B * \gamma_{1,k} + E_{agv,k} + B * q_k + E_{aqv,k}) + (E_{agv,k}/2 + E_{aqv,k}/2) * B \\ & E_{agh,k} * H/3 + E_{aqh,k} * H/2 \leq (H/3 * \gamma_{1,k} + q_k/3) * B^2 + (E_{agv,k}/3 + E_{aqv,k}/3 + E_{agv,k}/2 + E_{aqv,k}/2) * B \\ & 0 \leq (H/3 * \gamma_{1,k} + q_k/3) * B^2 + (E_{agv,k}/3 + E_{aqv,k}/3 + E_{agv,k}/2 + E_{aqv,k}/2) * B - (E_{agh,k} * H/3 + E_{aqh,k} * H/2) \end{aligned}$$

$$0 \leq a * B^2 + b * B + c$$

$$a = H/3 * \gamma_{1,k} + q_k/3 \quad (193)$$

$$b = E_{agv,k}/3 + E_{aqv,k}/3 + E_{agv,k}/2 + E_{aqv,k}/2 \quad (194)$$

$$c = - E_{agh,k} * H/3 - E_{aqh,k} * H/2 \quad (195)$$

$$B_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (196)$$

5.3.3 Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo

Zaradi prevelike obremenitve in prevelike lastne teže podporne konstrukcije se lahko tla pod podporno konstrukcijo porušijo.

Dokaz varnosti pred poružitvijo tal preverimo po standardu DIN 4017 za mejno stanje STR, pri čemer obravnavamo podporno konstrukcijo kot pasovni temelj. Z N_d smo označili vsoto vseh navpičnih vplivov na tla, z $R_{n,d}$ pa nosilnost tal. Delni varnostni faktor γ_{Gr} je podan v preglednici 3. Ko je izpolnjen sledeči ravnotežni pogoj, je varnost pred poružitvijo tal pod podporno konstrukcijo zagotovljena:

$$N_d \leq R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr} \quad (197)$$

Vplivi

V izračun vzamemo vse navpične vplive na tla in tako dobimo najslabše možne pogoje. Tla obremenjuje lastna teža podporne konstrukcije G_k , spremenljiva obremenitev nad podporno konstrukcijo Q_k , vertikalna komponenta aktivnega stalnega pritiska zaledja $E_{agv,k}$ in vertikalna komponenta aktivnega spremenljivega pritiska zaledja $E_{aqv,k}$. Delna varnostna faktorja za vplive γ_G in γ_Q , za mejno stanje STR sta podana v preglednici 2. Projektno vrednost vplivov izračunamo z enačbo:

$$N_d = (G_k + E_{agv,k}) * \gamma_G + (Q_k + E_{aqv,k}) * \gamma_Q \quad (198)$$

Nosilnost tal pod podporno konstrukcijo

Postopek izračuna nosilnosti tal $R_{n,k}$ je enak kot v poglavju 4.3.1 Dokaz nosilnosti tal:

$$R_{n,k} = a' * b' * (c'_{2,k} * N_c + \gamma_{2,k} * d * N_d + \gamma_{2,k} * b' * N_b) \quad (\text{enako kot enačba 113})$$

$$N_c = N_{c0} * v_c * i_c * \lambda_c * \xi_c \quad (\text{enako kot enačba 114})$$

$$N_d = N_{d0} * v_d * i_d * \lambda_d * \xi_d \quad (\text{enako kot enačba 115})$$

$$N_b = N_{b0} * v_b * i_b * \lambda_b * \xi_b \quad (\text{enako kot enačba 116})$$

Enačbe za izračun koeficientov so podane v preglednicah 13, 14, 15 in 16.

Ker podporne konstrukcije nismo vgradili v tla, je člen d enak nič in se zgornja enačba poenostavi v enačbo:

$$R_{n,k} = a' * b' * (c'_{2,k} * N_c + \gamma_{2,k} * b' * N_b) \quad (199)$$

Naklon obtežbe označimo s $\tan \delta_E$, in ga določimo kot razmerje med vsoto karakterističnih horizontalnih vplivov zaledja in vsoto karakterističnih vertikalnih vplivov zaledja:

$$\tan \delta_E = (E_{agh,k} + E_{aqh,k}) / (G_k + Q_k + E_{agv,k} + E_{aqv,k}) \quad (200)$$

Nadomestna širina podporne konstrukcije b' predstavlja centrično obremenjeni del spodnje ploskve. Ekscentričnost e smo izračunali že v poglavju 5.3.2, Dokaz ekscentričnosti rezultante. Nadomestno širino podporne konstrukcije izračunamo z enačbo:

$$b' = B - 2 * e \quad (201)$$

Ravnotežni pogoj

Ravnotežni pogoj pred porušitvijo tal pod podporno konstrukcijo je izpolnjen, kadar je nosilnost tal večja kot vsota navpičnih vplivov $R_{n,d} \geq N_d$. Kadar ravnotežni pogoj ni izpolnjen ($R_{n,d} < N_d$), pod podporno konstrukcijo naredimo armirana nadomestna tla, enako kot pri malonosilnih tleh pod temeljem (glej poglavje 4).

5.3.4 Dokaz globalne stabilnosti podporne konstrukcije in zaledja

Dokaz globalne stabilnosti za podporno konstrukcijo preverimo po standardu DIN 4084 za mejno stanje GEO.

Geosintetike projektiramo glede na dokaz globalne stabilnosti podporne konstrukcije in zaledja. Porušitev podporne konstrukcije je delni ali popolni premik dela konstrukcije po razpoki, ki nastane zaradi presežene kohezije v podporni konstrukciji in zaledju.

Pri dimenzioniranju geosintetikov analiziramo samo drsine, ki potekajo čez podporno konstrukcijo in prerežejo geosintetike. Preiskujemo notranjo stabilnost konstrukcije. Drsine, ki konstrukcijo popolnoma zaobidejo, preiščemo pozneje. Tega v diplomski nalogi nisem obravnaval.

Pri analizi podpornih konstrukcij uporabimo linearne drsine, krožne drsine, drsine v obliki logaritemskih spiral in kombinirane drsine iz dveh linearnih drsin. V računskih primerih sem analize opravil samo z linearnimi drsinami.

Drsina razdeli podporno konstrukcijo na nestabilni aktivni del in na stabilni pasivni del. Geosintetik ima tu vlogo sidra, saj vpne nestabilni del podporne konstrukcije v stabilni del. Kadar je vrednost reaktivnih sil ΣR_d večja od vrednosti aktivnih sil ΣE_d , je dokaz varnosti pred porušitvijo podporne konstrukcije izpolnjen in je podporna konstrukcija varna. Pogoj pred porušitvijo podporne konstrukcije zapišemo z enačbo:

$$\Sigma E_d \leq \Sigma R_d \quad (202)$$

Linearna porušna drsina čez podporno konstrukcijo je določena s kotom ϑ . Nemško priporočilo EBGEO predvideva, da poteka linearna porušna drsina od levega spodnjega kota podporne konstrukcije proti vrhu ali proti zadnji steni podporne konstrukcije.

Če upoštevamo konstrukcijski pogoj $B = 0,70 * H$, izračunamo diagonalno drsino z enačbo:

$$\tan \vartheta = H / B = H / (0,70 * H) \quad (203)$$

$$\vartheta = \text{atan} (1,00 / 0,70)$$

$$\vartheta = 55^\circ$$

Z B_ϑ označimo širino drsine, s H_ϑ pa višino drsine.

Kadar je kot drsine manjši od 55° (glej sliko 14), poteka linearna drsina proti zadnji steni podporne konstrukcije. V tem primeru izračunamo širino in višino drsine z enačbama:

$$B_\vartheta = B \quad (204)$$

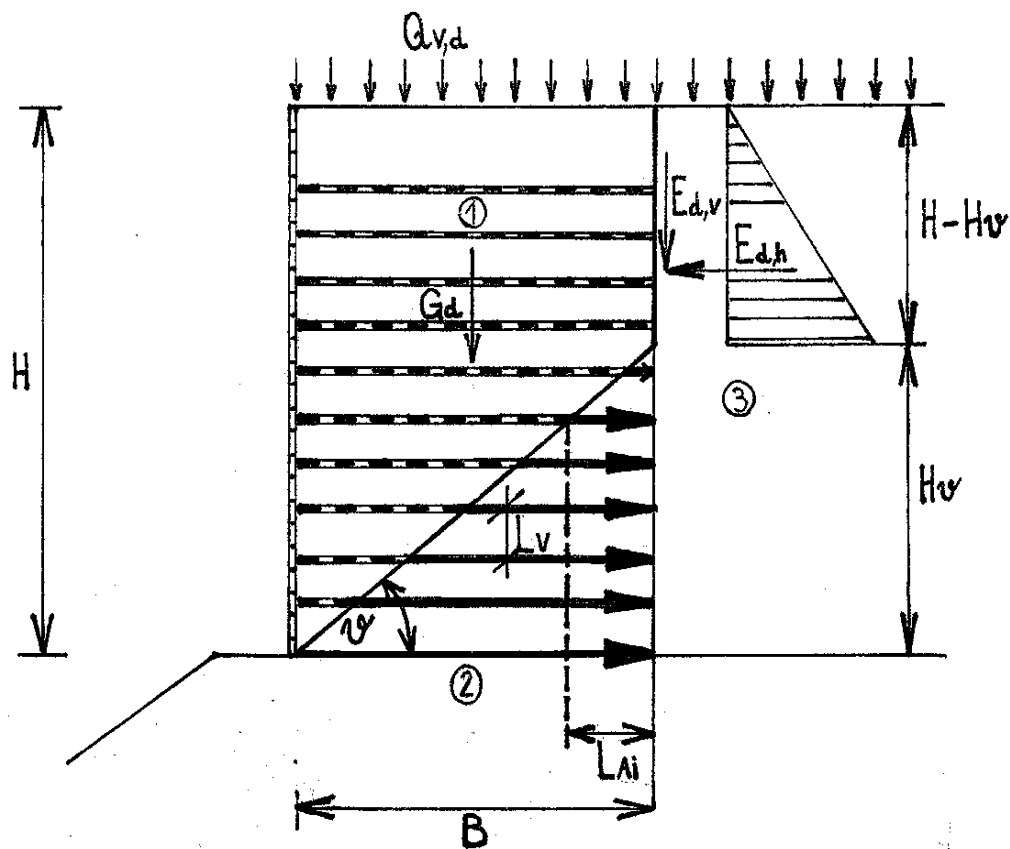
$$H_\vartheta = \tan \vartheta * B \quad (205)$$

Kadar je kot drsine večji od 55° (glej sliko 15), poteka linearna drsina proti vrhu podporne konstrukcije. V tem primeru izračunamo širino in višino drsine z enačbama:

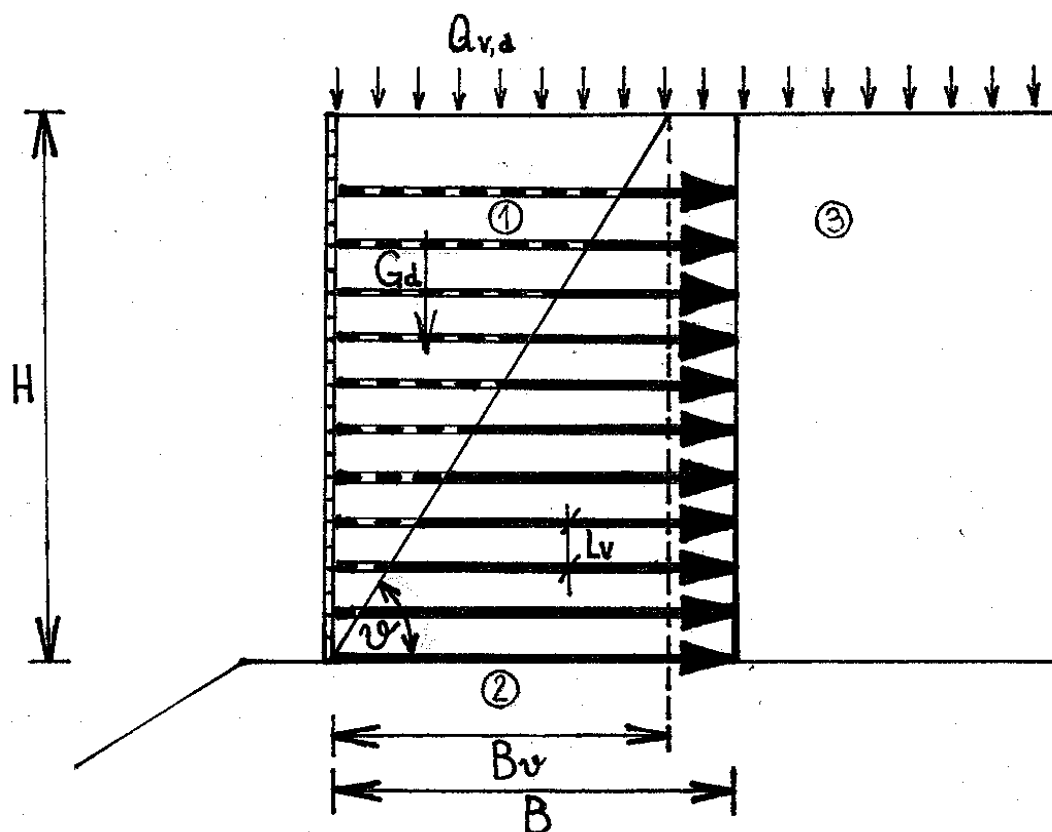
$$B_\vartheta = H / \tan \vartheta \quad (206)$$

$$H_\vartheta = H \quad (207)$$

Kot linearne drsine določa geometrijo drsečega telesa in s tem tudi njegovo težo G , zunanji vpliv Q in vpliv zaledja na aktivni del podporne konstrukcije, E_h in E_v .



Slika 14: Porušitev podporne konstrukcije pod kotom drsine manjšim od 55°



Slika 15: Porušitev podporne konstrukcije pod kotom drsine večjim od 55°

Vplivi

Kot vsoto projektnih vplivov ΣE_d razumemo vse sile, ki delujejo vzporedno z drsino. Vsoto vseh vplivov projeciramo v ravnino vzporedno z geosintetiki. Projekcijo označimo s $\Sigma F_{d(\vartheta)}$ in izračunamo z enačbo:

$$\Sigma F_{d(\vartheta)} = (G_{d(\vartheta)} + Q_{d(\vartheta)} + E_{gvd(\vartheta)} + E_{qvd(\vartheta)}) * \tan(\vartheta - \varphi'_{1,d}) + E_{ghd(\vartheta)} + E_{qhd(\vartheta)} \quad (208)$$

Projektno vrednost lastne teže aktivnega dela konstrukcije označimo z G_d in jo izračunamo z enačbo:

$$G_{d(\vartheta)} = \frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * B_{\vartheta} * H_{\vartheta} + \gamma_{1,d} * B_{\vartheta} * (H - H_{\vartheta}) \quad (209)$$

$$\gamma_{1,d} = \gamma_{1,k} * \gamma_G \quad (210)$$

Projektno zunanjo obtežbo nad aktivnim delom konstrukcije označimo s Q_d in izračunamo z enačbo:

$$Q_{d(\vartheta)} = q_{v,d} * B_{\vartheta} \quad (211)$$

$$q_d = q_{v,k} * \gamma_Q \quad (212)$$

Delna varnostna faktorja γ_G in γ_Q za vplive v mejnem stanju GEO sta podana v preglednici 4.

Vpliv zaledja na podporno konstrukcijo upoštevamo samo takrat, kadar poteka drsina tudi čez zaledje, drugače je vpliv zaledja na podporno konstrukcijo enak nič. Drseče zaledje za podporno konstrukcijo se premika relativno z drsečim delom podporne konstrukcije oziroma je naslonjeno nanj. Vpliv drsečega zaledja na drsečo podporno konstrukcijo imenujemo aktivni pritisk zaledja in ga označimo z E_a . Aktivni pritisk zaledja deluje na podporno konstrukcijo pod kotom δ_3 , ki ga izračunamo z enačbo:

$$\delta_{3,d} = \mu * \varphi'_{3,d} = 2 / 3 * \varphi'_{3,d} \quad (213)$$

$$\varphi'_{3,d} = \arctan (\tan \varphi'_{3,k}) / \gamma_\varphi \quad (214)$$

$$\varphi'_{1,d} = \arctan (\tan \varphi'_{1,k}) / \gamma_\varphi \quad (215)$$

Delni varnostni faktor γ_φ za odpornosti v mejnem stanju GEO je podan v preglednici 5.

Koeficient trenja zaledja ob zadnjo steno podporne konstrukcije je vedno $\mu = 2 / 3$.

Aktivni pritisk zaledja razstavimo na njegovo horizontalno in vertikalno komponento.

Vpliv aktivnega zemeljskega pritiska v horizontalni smeri za stalni in spremenljivi vpliv izračunamo z enačbama:

$$E_{ghd(\vartheta)} = \frac{1}{2} * \gamma_{1,d} * K_{ah,gd} * (H - H_\vartheta)^2 \quad (216)$$

$$E_{qhd(\vartheta)} = K_{ah,qd} * (H - H_\vartheta) * q_{v,d} \quad (217)$$

$$K_{ah,gd} = K_{ah,qd} = \cos^2 \varphi'_{3,d} / (1 + (\sin (\varphi'_{3,d} + \delta_{3,d}) * \sin \varphi'_{3,d} / \cos \delta_{3,d})^{1/2})^2 \quad (218)$$

Vpliv aktivnega zemeljskega pritiska v vertikalni smeri za stalni in spremenljivi vpliv izračunamo z enačbama:

$$E_{gvd(\vartheta)} = E_{ghd(\vartheta)} * \tan (\delta_{3,d} - \alpha) \quad (219)$$

$$E_{qvd(\vartheta)} = E_{qhd(\vartheta)} * \tan (\delta_{3,d} - \alpha) \quad (220)$$

Vsota vplivov, vzporedna z geosintetiki $\Sigma F_{d(\vartheta)}$, je odvisna od strižnega kota zemljine v podporni konstrukciji $\varphi'_{1,k}$, od strižnega kota zaledja $\varphi'_{3,k}$ in od kota porušne drsine ϑ .

Odpornosti:

Vsota odpornosti podporne konstrukcije ΣR_d je vsota odpornosti geosintetikov, ki jih drsina preseka. Armaturni geosintetiki, ki so v celoti nad drsino, nimajo nikakršnega odpornostnega vpliva, saj so v celoti v aktivnem delu konstrukcije. Armaturni geosintetiki, ki so v celoti pod drsino, prav tako ne, saj so v celoti v pasivnem delu konstrukcije.

Odpornost geosintetika je določena z manjšo vrednostjo med njegovo natezno trdnostjo $R_{B,d}$ in odpornostjo pred izvlekom $R_{A,d}$. Odpornost geosintetika zapišemo z enačbo:

$$R_d = \min (R_{B,d}; R_{A,d}) \quad (221)$$

Aktivni del konstrukcije vleče geosintetik ven iz zemljine, drugi del geosintetika, vpet v pasivnem delu konstrukcije, pa se temu upira. Tako dobimo natezno obremenjen geosintetik, ki mora imeti projektno natezno trdnost $R_{B,d}$ in odpornost pred izvlekom $R_{A,d}$ večjo, kot je natezna vrednost vplivov F_d .

Kadar je presežena projektna natezna trdnost geosintetikov $R_{B,d}$, se geosintetik pretrga. Projektno natezno odpornost $R_{B,d}$ za mejno stanje STR izračunamo z enačbama:

$$R_{B,k} = R_{B,k0} / (A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5) \quad (\text{enako kot enačba 10})$$

$$R_{B,d} = R_{B,k} / \gamma_M \quad (\text{enako kot enačba 11})$$

Kadar je presežena projektna odpornost geosintetika pred izvlekom $R_{A,d}$, lahko aktivni del konstrukcije izvleče geosintetik iz zemljine v pasivnem delu konstrukcije ali pa se poruši samo zemljina v aktivnem delu konstrukcije, medtem ko ostane geosintetik vpet v pasiven del konstrukcije. Porušitev zemljine v aktivnem delu podporne konstrukcije preprečimo s priključitvijo prednjih elementov na geosintetike ali pa geosintetik ovijemo okrog sloja zemljine v podporni konstrukciji.

Projektno odpornost pred izvlekom $R_{A,i,d}$ izračunamo za mejno stanje GEO z enačbo:

$$R_{A,i,d} = 2 * \sigma_{1,di} * L_i * (f_{sg,k} / \gamma_B) \quad (222)$$

Delni varnostni faktor γ_B v mejnem stanju GEO je podan v preglednici 5.

Na odpornost pred izvlekom deluje le del geosintetika, ki je zasidran v pasivnem območju geosintetika, ki ga označimo z $L_{A,i}$. Odpornost iz pasivnega dela se preko geosintetika prenese na aktivni del konstrukcije in se pokaže kot trenje v kontaktni ravnini med geosintetikom in zemljino in tako zadržuje aktivni del konstrukcije pred poružitvijo. Na aktivni del podporne konstrukcije vpliva le del geosintetika v aktivnem delu podporne konstrukcije. Večja kot je dolžina, večja je odpornost.

Dolžina sidranja geosintetika v pasivnem delu podporne konstrukcije $L_{A,i}$ je odvisna od kota porušne linearne drsine ϑ in se za vsako ravnino konstantno spreminja.

Za pasivni del podporne konstrukcije jo izračunamo z enačbo: $L_{A,i,P} = B - B_{\vartheta i} \quad (223)$

Za aktivni del podporne konstrukcije jo izračunamo z enačbo: $L_{A,i,A} = B_{\vartheta i} \quad (224)$

Širino drsine v i -ti ravnini $B_{\vartheta i}$ izračunamo z enačbo:

$$B_{\vartheta i} = (l_v * (i - 1)) / \tan \vartheta \quad (i = 1, \dots, n) \quad (225)$$

V primeru, da bi upoštevali možnost poružitve zemljine v aktivnem delu konstrukcije, med dolžinama sidranja upoštevamo manjšo vrednost med aktivnim in pasivnim delom. Nemško priporočilo za načrtovanje armiranih zemljin z geosintetiki (EBGEO) tega ne upošteva, ker zahteva priključitev prednjih elementov na podporno konstrukcijo:

$$L_{Ai} = \min (L_{Ai,P} ; L_{Ai,A}) \quad (226)$$

V svoji diplomski nalogi sem sledil smernici EBGEO in sem upošteval samo dolžino sidranja v pasivnem delu podporne konstrukcije $L_{Ai} = L_{Ai,P}$.

Normalna napetost nad geosintetikom $\sigma_{1,di}$ se konstantno povečuje z višino h_i , ki je razdalja med vrhom podporne konstrukcije in armirano ravnino i . Normalno napetost izračunamo z enačbo:

$$\sigma_{1,di} = \gamma_d * h_i \quad (i = 1, \dots, n) \quad (\text{enako kot enačba 13})$$

$$h_i = H - l_v * (i - 1) \quad (227)$$

Koeficient trenja zemljine ob geosintetik označimo s $f_{sg,k}$ in ga izračunamo z enačbo:

$$f_{sg,k} = \lambda * \tan \varphi'_{1,k} \quad (\text{enako kot enačba 14})$$

Nad najvišjim geosintetikom moramo zagotoviti dovolj velik sloj zemljine l_{vn} , da odpornost pred izvlekom ni premajhna. Vertikalna razdalja je lahko večja od 0,60 m ($l_{vn} \geq 0,60$ m).

$$l_{vn} = H - (n - 1) * l_v \quad (228)$$

Odpornost pred izvlekom lahko zvišamo tudi z vgraditvijo geosintetikov, ki zagotovijo večji kompozitni koeficient λ .

Pri izbiri geosintetikov je potrebno paziti, da je natezna odpornost geosintetika $R_{B,d}$ manjša ali enaka največji odpornosti geosintetika pred izvlekom $\max R_{A1,d}$ ($R_{B,d} \leq \max R_{A1,d}$), saj se tako izognemo predimenzioniranju geosintetikov in lahko rečemo, da je izkoriščenost geosintetikov dobra. V primeru, da bi bila odpornost pred izvlekom manjša kot natezna odpornost ($R_{A,d} < R_{B,d}$), bi se geosintetik vedno prej iztrgal iz tal in razlike med natezno odpornostjo in odpornostjo pred izvlekom ne bi mogli izkoristiti, nosilnost celotne podporne konstrukcije pa ne bi bila nič večja.

Pogoj za globalno varnost

Pogoj za globalno varnost podporne konstrukcije je izpolnjen, ko je vsota vplivov na podporno konstrukcijo manjša ali enaka vsoti odpornosti vseh prerezanih geosintetikov v podporni konstrukciji za vse kote linearne porušne drsine ϑ . Pogoj za globalno varnost zapišemo z enačbo:

$$\sum F_{d(\vartheta)} \leq \sum R_{d(\vartheta)} \quad (229)$$

Pri preiskavi porušitve podporne konstrukcije sem variiral kote linearne drsine ϑ na 1° in za vse kote linearne drsine ϑ sem izračunal vrednosti vplivov $\sum F_{d(\vartheta)}$. Iz pogoja za globalno varnost sem za vse kote linearne drsine izračunal minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov $R_{B,k0}$, ki preprečijo porušitev podporne konstrukcije pod tem kotom linearne drsine. Kot linearne drsine ϑ , pod katerim je zahtevana vrednost $R_{B,k0}$ največja, je najbolj

neugodna kombinacija med vplivi in odpornostmi. Kriterij najbolj neugodne kombinacije med vplivi in odpornostmi je boljši kot kriterij največjih vplivov $\max \Sigma F_d$, ker zahteva vgraditev geosintetikov z večjo nosilnostjo, zaradi česar je podporna konstrukcija bolj varna.

5.3.5 Dokaz o priključitvi obložnih plošč na geosintetike

Obložne plošče preprečujejo porušitev zemljine znotraj podporne konstrukcije in izboljšajo njen izgled.

Obložne plošče trenutno delimo glede na standard DIN EN 14475, dodatek C, med nedeformabilne (plošče s polno višino, plošče z delno višino in prednji elementi iz predpripravljenih betonskih blokov ali kot zbit naravni kamen), pogojno deformabilne (gabioni, varjene jeklene žice, prednji elementi iz predpripravljenih betonskih blokov ali kot zbit naravni kamen) in deformabilne (ovoj geosintetika okrog sloja podporne konstrukcije).

Obložne plošče priključimo na geosintetične ojačitve, pri čemer moramo preveriti, ali spoj med geosintetikom in obložno ploščo prenese horizontalni pritisk na obložno ploščo.

Horizontalnega pritiska na obložno ploščo ni mogoče natančno določiti, zato se za referenčno vrednost uporabi horizontalni pritisk podporne konstrukcije $E_{\text{obložne plošče}}$, ki ga izračunamo v skladu s standardom DIN 4085. Dokaz preverimo za mejno stanje STR, kar v nemških standardih ustreza 1B.

Dokaz o priključitvi obložnih plošč mora biti izpolnjen za vsak geosintetik posebej. Tu preverjamo vse geosintetike v podporni konstrukciji, in ne samo tistih, ki jih drsina prereže. Pri vgraditvi obložnih plošč je pomembno, da je projektna natezna trdnost geosintetika $R_{B,d}$ večja kot horizontalni pritisk podporne konstrukcije na obložno ploščo E . Odpornost pred izvlekom $R_{A,d}$ tu nima odločilne vloge, saj je njena velikost odvisna od dolžine sidranja L_i , ki pa je lahko pod določenimi koti porušne ravne drsine ϑ izredno majhna in je zato tudi odpornost pred izvlekom manjša od horizontalnega pritiska podporne konstrukcije na obložne plošče $E_{\text{obložne plošče}}$. Pogoj o priključitvi obložnih plošč kjub temu lahko zapišemo:

$$\min (R_{A_i,d} ; R_{B_i,d}) \geq E_{\text{obložne plošče},i} \quad (230)$$

Ko je izpolnjen pogoj za vsako armirno ravnino, so izbrani geosintetiki ustrezni. Če pogoj ni izpolnjen, vgradimo geosintetike z večjo kratkotrajno natezno trdnostjo $R_{B,k0}$.

Linijski horizontalni pritisk na obložno ploščo $e_{\text{obložne plošče}}$ določimo kot horizontalni pritisk zemljine med dvema slojema geosintetikov. To je linijska obtežba, ki narašča z višino H in jo izračunamo z enačbo:

$$e_{\text{obložne plošče},i} = \eta_g * K_{agh,k} * \gamma_k * H_i * \gamma_G + \eta_q * K_{aqh,k} * q * \gamma_Q \quad (231)$$

Horizontalni pritisk zemljine enega sloja $e_{\text{obložne plošče},i}$ pretvorimo v točkovno obtežbo, ki jo označimo z $E_{\text{obložne plošče},i}$ in izračunamo z enačbo:

$$E_{\text{obložne plošče},i} = e_{\text{obložne plošče},i} \cdot l_v \quad (232)$$

Kot trenja zemljine ob prednjo steno podporne konstrukcije $\delta_{1,k}$ potrebujemo za izračun koeficienta aktivnega zemeljskega pritiska v podporni konstrukciji $K_{\text{agh},k}$. Koeficient $K_{\text{agh},k}$ je določen za mejno stanje STR. Izračunamo ga z enačbo:

$$K_{\text{agh},k} = K_{\text{aqh},k} = \cos^2 \varphi'_{1,k} / (1 + (\sin(\varphi'_{1,k} + \delta_{1,k}) \cdot \sin \varphi'_{1,k} / \cos \delta_{1,k})^{1/2})^2 \quad (233)$$

$$\delta_{1,k} = \mu \cdot \varphi'_{1,k} = 2/3 \cdot \varphi'_{1,k} \quad (234)$$

H_i je razdalja med vrhom podporne konstrukcije in sredino posameznega sloja, kjer deluje točkovna obtežba aktivnega horizontalnega zemeljskega pritiska $E_{\text{obložne plošče}}$.

Z γ_G in γ_Q sta označena varnostna faktorja za mejno stanje STR. Vrednosti varnostnih faktorjev so podane v preglednici 2.

Horizontalni pritisk podporne konstrukcije je največji v najnižjem geosintetiku in se z višino podporne konstrukcije zmanjšuje. Ker pa se vrednosti prilagoditvenih faktorjev η_g in η_q z višino konstrukcije H spreminjata, imajo lahko višje ležeči geosintetiki večji pritisk na obložne plošče od nižje ležečega.

Preglednica 11: Prilagoditveni faktorji η in kot trenja δ glede na vrsto obložnih plošč

| Obložne plošče: | Prilagoditveni faktorji | | η_q | Kot trenja ob steni |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------|--|
| | η_g | | | δ |
| | $0,6 \cdot H < h \leq H$ | $0 \leq h \leq 0,6 \cdot H$ | | |
| Nedeformabilne | 1,0 | 1,0 | 1,0 | Analogno z DIN 4085 |
| Pogojno deformabilne | 1,0 | 0,7 | 1,0 | $1/3 \cdot \varphi'$ do $1,0 \cdot \varphi'$ |
| Deformabilne | 1,0 | 0,5 | 1,0 | 0 |

V primeru, da imajo vsi geosintetiki v podporni konstrukciji enako kratkotrajno natezno trdnost $R_{B,k0}$, je dokaz o priključitvi obložnih plošč za vse ojačitvene ravnine izpolnjen, ko je izpolnjen dokaz za najnižji geosintetik: $\min(R_{A1,d}; R_{B1,d}) \geq E_{\text{obložne plošče},1}$

5.4 Izbira geosintetikov

Kratkotrajna natezna trdnost geosintetikov

V konstrukcijo vgradimo geosintetike glede na pogoj globalne stabilnosti podporne konstrukcije in glede na pogoj o priključitvi obložnih plošč. Iz obeh pogojev izračunamo potrebno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov $R_{B,k0}$ in upoštevamo večjo vrednost.

Iz ravnotežnega pogoja za globalno stabilnost podporne konstrukcije ($\sum F_{d(\vartheta)} \leq \sum R_d$) lahko izračunamo minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov $R_{B,k0}$, ki izpolni ravnotežni pogoj za vse kote ravne porušne drsine ϑ . Največja zahtevana vrednost $\min R_{B,k0}$ je merilo za najslabšo kombinacijo med vplivi $\sum F_{d(\vartheta)}$ in odpornostmi $\sum R_d$.

Odpornost podporne konstrukcije je vsota odpornosti geosintetikov, ki jih drsina prereže. Število prerezanih geosintetikov n_p je odvisno od kota porušne drsine ϑ in izbrane vertikalne razdalje med geosintetiki l_v . V primeru, da je kot porušne drsine večji od 55° , so prerezani vsi geosintetiki ($n_p = n$). V primeru, da je kot porušne drsine manjši od 55° , število prerezanih geosintetikov n_p izračunamo z enačbo:

$$\text{Če je: } \tan \vartheta * B > l_v * (i - 1) \text{ (} i = 1 \text{ do } n) \text{ potem je: } n_p = i \quad (235)$$

V najboljšem primeru je zahtevana natezna trdnost geosintetikov manjša kot odpornost pred izvlekom vseh prerezanih geosintetikov ($R_{B,d} < \min R_{Ai,d}$). Takrat izračunamo minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov z enačbo:

$$\min R_{B,k0} = (\sum F_{d(\vartheta)} / n_p) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * \gamma_M \quad (236)$$

V primeru, da je odpornost pred izvlekom $R_{Ai,d}$ prerezanega geosintetika v ravnini i manjša kot izračunana minimalna natezna trdnost geosintetika $\min R_{B,d}$, se skupna odpornost konstrukcije zmanjša za razliko v vrednostih med $\min R_{B,d}$ in $R_{Ai,d}$. To pomeni, da morajo druge prerezane ravnine prevzeti to razliko in moramo vgraditi geosintetik z večjo kratkotrajno natezno trdnostjo.

V primeru, da je odpornost pred izvlekom najvišje ležečega prerezanega geosintetika manjša kot njegova zahtevana natezna trdnost ($R_{Ai,d} < \sum F_{d(\vartheta)} / n_p$), izračunamo zahtevano kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov z enačbo:

$$\min R_{B,k0} = (\sum F_{d(\vartheta)} - R_{Ai,d}) / (n_p - 1) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * \gamma_M \quad (237)$$

V primeru, da imata 2 geosintetika manjšo odpornost pred izvlekom od njune natezne trdnosti ($R_{Ai,d} < \sum F_{d(\vartheta)} / n_p$ in $R_{A(i-1),d} < (\sum F_{d(\vartheta)} - R_{Ai,d}) / (n_p - 1)$), izračunamo $\min R_{B,k0}$ z enačbo:

$$\min R_{B,k0} = (\sum F_{d(\vartheta)} - R_{Ai,d} - R_{A(i-1),d}) / (n_p - 2) * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * \gamma_M \quad (238)$$

Izračun ponovimo za vse prerezane geosintetike.

V primeru, da je tudi odpornost pred izvlekom najnižjega prerezanega geosintetika $R_{A1,d}$ ($R_{A1,d} = \max R_{B,d}$) manjša od izračunane najmanjše natezne odpornosti geosintetikov $\min R_{B,d}$, ($R_{A1,d} < \min R_{B,d}$), moramo izbrati vrsto geosintetika, ki zagotovi dovolj velik kompozitni koeficient λ , ki pa ne more biti večji od 1 ($\lambda \leq 1$). Večji kompozitni koeficient pomeni večjo odpornost pred izvlekom. Odpornost pred izvlekom najnižjega geosintetika je v normalnih razmerah veliko večja od izračunane minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetika, zato geosintetik, izbran po zgoraj opisanem postopku, izpolni dokaz globalne stabilnosti.

Iz pogoja o priključitvi obložnih plošč $\min(R_{A_{i,d}}; R_{B_{i,d}}) \geq E_{\text{obložne plošče},i}$ izračunamo minimalno natezno trdnost geosintetika z enačbo:

$$\min R_{B,k0} = \max E_{\text{obložne plošče},1} * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * \gamma_M \quad (239)$$

Največji horizontalni pritisk na obložne plošče $\max E_{\text{obložne plošče}}$ je vedno na najnižji geosintetik. Označen je z 1.

Med izračunanima vrednostima za minimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov iz dokaza globalne stabilnosti in dokaza o priključitvi obložnih plošč upoštevamo večjo.

Maksimalno kratkotrajno natezno trdnost geosintetikov, ki jih lahko vgradimo v konstrukcijo, izračunamo z enačbo:

$$\max R_{B,k0} = \max R_{A_{1,d}} * A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * \gamma_M \quad (240)$$

Maksimalno odpornost pred izvlekom ima vedno najnižji prerezani geosintetik $R_{A_{1,d}}$, saj je pritisk nanj največji in ima največjo kontaktno površino z zemljino v pasivnem območju L_{A1} .

Kompozitni koeficient:

Kompozitni koeficient λ izračunamo iz pogoja varnosti pred zdrsom podporne konstrukcije in samo izjemoma še iz pogoja globalne varnosti podporne konstrukcije. Iz izračunanih vrednosti upoštevamo večjo, pri čemer vrednost kompozitnega koeficienta ne more biti večja kot 1,0 ($\lambda \leq 1,0$).

Iz ravnotežnega pogoja pred zdrsom podporne konstrukcije izračunamo kompozitni koeficient z enačbo (izpeljava enačbe je prikazana v poglavju 5.3.1):

$$\lambda \geq T_d * \gamma_{GL} / (G_k + E_{agv,k} + E_{aqv,k}) * \tan \varphi'_{\text{ODLOČILEN},k} \quad (\text{enaka kot enačba 187})$$

Iz pogoja globalne stabilnosti podporne konstrukcije izračunamo zahtevani kompozitni koeficient za najnižji prerezani geosintetik z enačbo:

$$\lambda \geq (\max R_{A_{1,d}} * \gamma_B) / (2 * \tan \varphi'_{1,k} * 0,70 * H * H * \gamma_{1,d}) \quad (241)$$

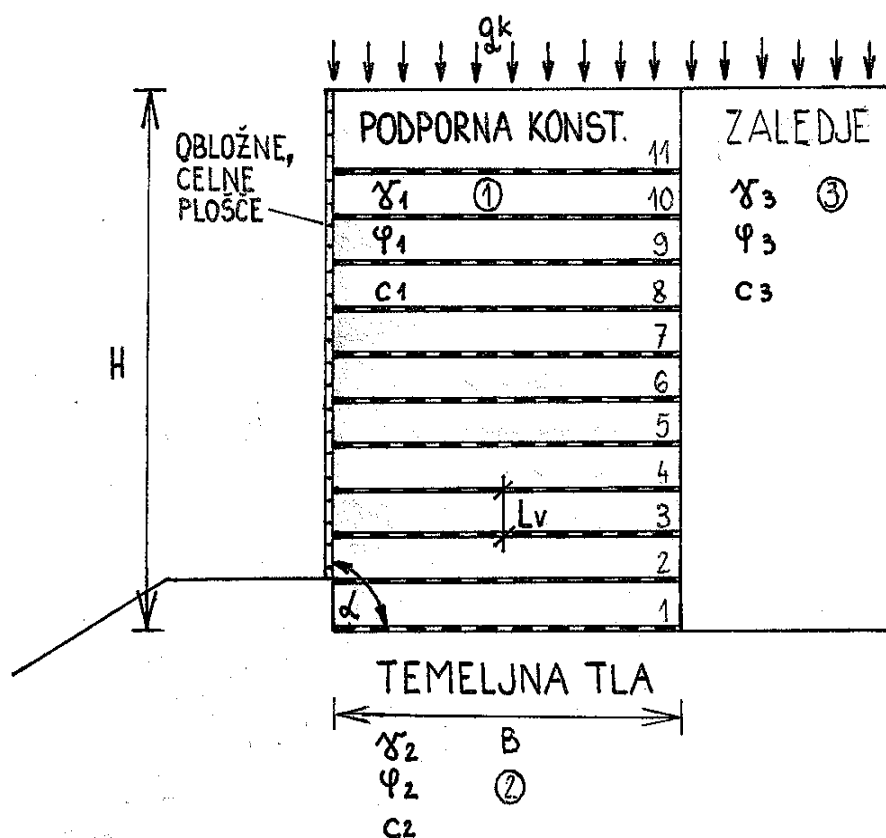
$$L_{A1} = B - B_{\vartheta 1} \quad (\text{enaka kot enačba 223})$$

$$L_{A1} = 0,70 * H - (l_v * (1 - 1)) / \tan \vartheta$$

$$L_{A1} = 0,70 * H - 0$$

$$L_{A1} = 0,70 * H$$

5.5 Primer: Podporna konstrukcija



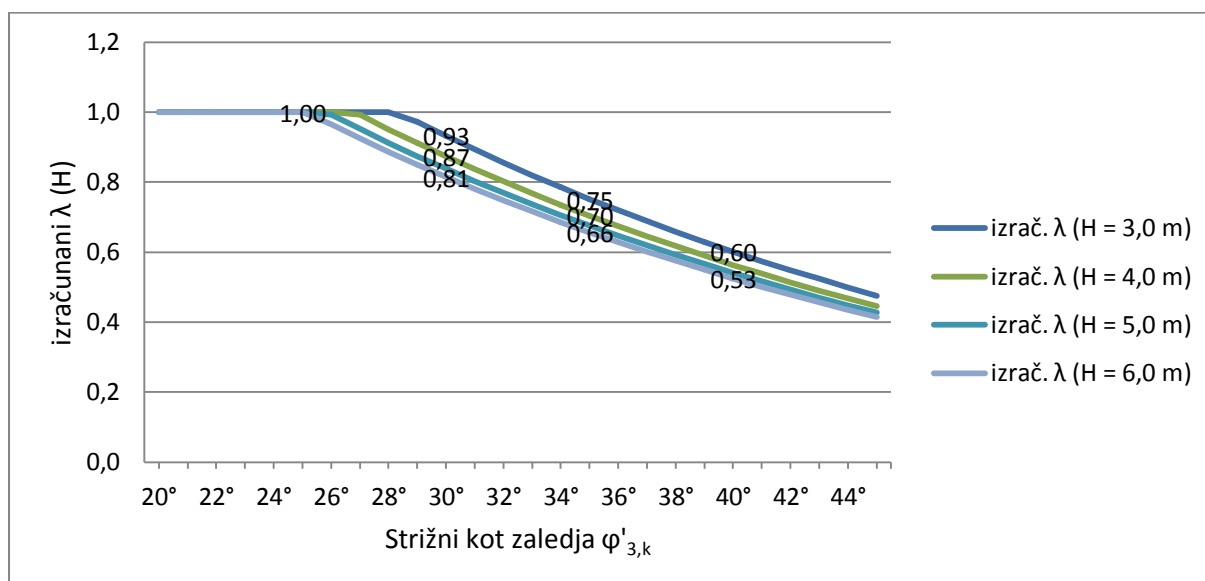
Slika 16: Podporna konstrukcija, primer

Osnovni podatki:

| | |
|--|---|
| Zunanja obtežba: | $q_k = 10,0 \text{ kN/m}^2$ |
| Višina podporne konstrukcije: | $H = 3,0 \text{ m}, 4,0 \text{ m}, 5,0 \text{ m in } 6,0 \text{ m}$ |
| Širina podporne konstrukcije: | $B = 0,70 * H$ |
| Naklon podporne konstrukcije: | $\alpha = 0$ |
| Naklon zaledja: | $\beta = 0$ |
| EkspONENT: | $m = 2 \quad (\omega = 90^\circ)$ |
| Koeficient trenja: | $\mu = 2/3$ |
| Zmanjševalni faktorji: | $A_1 = 2,5; A_2 = 1,2; A_3 = 1,0; A_4 = 1,0; A_5 = 1,0$ |
| Obtežbeni primer 1: | $\gamma_M = 1,4$ |
| Vertikalna razdalja med sloji geosintetikov: | $l_v = 0,60 \text{ m}$ |

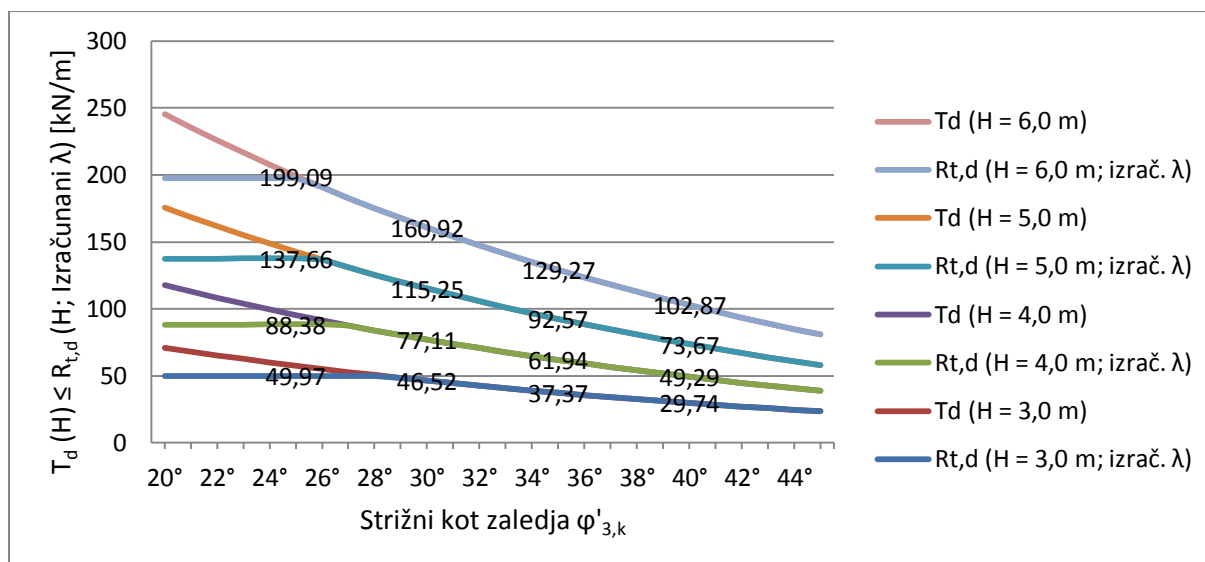
| | Prostorninska teža | Kohezija | Strižni kot |
|-----------------------|------------------------------------|--|---|
| Podporna konstrukcija | $\gamma_{1,k} = 22 \text{ kN/m}^3$ | $c'_{1,k} = 0$ | $\varphi'_{1,k} = 38^\circ$ |
| Temeljna tla | $\gamma_{2,k} = 18 \text{ kN/m}^3$ | $c'_{2,k} = 10, 30, 50 \text{ kN/m}^2$ | $\varphi'_{2,k} = 20^\circ$ |
| Zaledje | $\gamma_{3,k} = 20 \text{ kN/m}^3$ | $c'_{3,k} = 0$ | $\varphi'_{3,k} = \text{od } 20^\circ \text{ do } 45^\circ$ |

Zdrs podporne konstrukcije



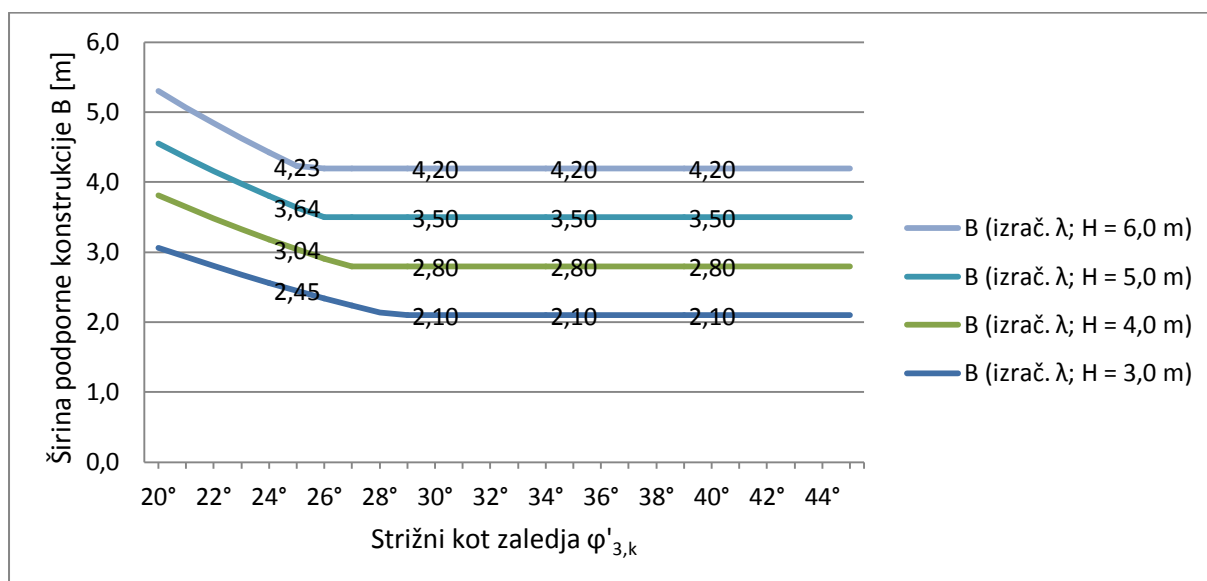
Grafikon 42: Vrednosti kompozitnega koeficienta λ za podporno konstrukcijo

V grafikonu 43 vidimo, da se vrednosti vplivov T_d in odpornosti pred zdrsom $R_{t,d}$ prekrivata, če upoštevamo izračunane vrednosti kompozitnega koeficienta λ . V tem primeru je dokaz pred zdrsom podporne konstrukcije izpolnjen. Rezultati v grafikonih 42,43 in 44 so podane za strižne kote zaledja $\varphi'_{3,k} = 25^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 30^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 35^\circ$ in $\varphi'_{3,k} = 40^\circ$.



Grafikon 43: Dokaz varnosti pred zdrsom podporne konstrukcije

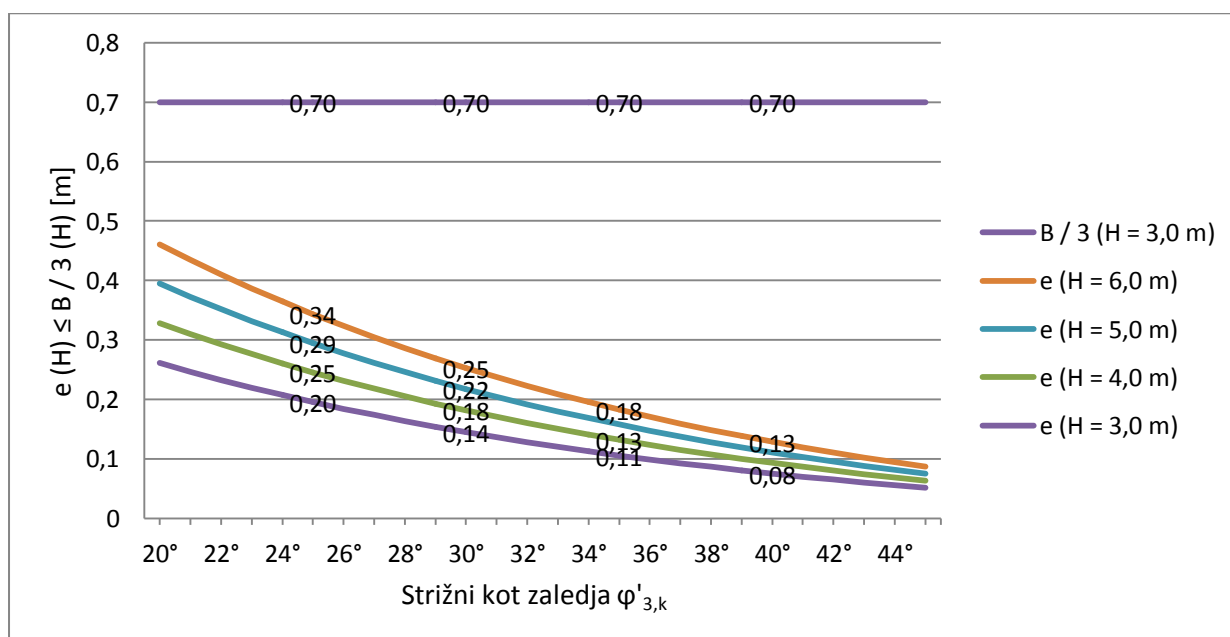
V primeru, da so vrednosti vplivov T_d nad odpornostmi $R_{t,d}$ in da upoštevamo vrednost kompozitnega koeficienta $\lambda = 1,0$, dokaz pred zdrsom ni izpolnjen. Kadar pogoj pred zdrsom ni izpolnjen, moramo zgraditi širšo podporno konstrukcijo, kot to zahteva konstrukcijski pogoj $B = 0,70 \cdot H$. V grafikonu 44 sem prikazal izračunane nove širine podporne konstrukcije, ki preprečijo zdrs.



Grafikon 44: Izračunane širine podporne konstrukcije B, glede na dokaz pred zdrsom

Dokaz ekscentričnosti rezultante vseh delujočih sil na podporno konstrukcijo

Za grafikon 45 velja, da je dokaz ekscentričnosti rezultante izpolnjen za vse višine podporne konstrukcije. Višje podporne konstrukcije imajo širša jedra kot podpora konstrukcija višine $H = 3,0$ m. V grafikonu 45 je dokaz ekscentričnosti za vse obravnavane podporne konstrukcije izpolnjen že za širino jedra $H = 3,0$ m. Rezultati v grafikonu 45 so podani za strižne kote zaledja $\varphi'_{3,k} = 25^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 30^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 35^\circ$ in $\varphi'_{3,k} = 40^\circ$.

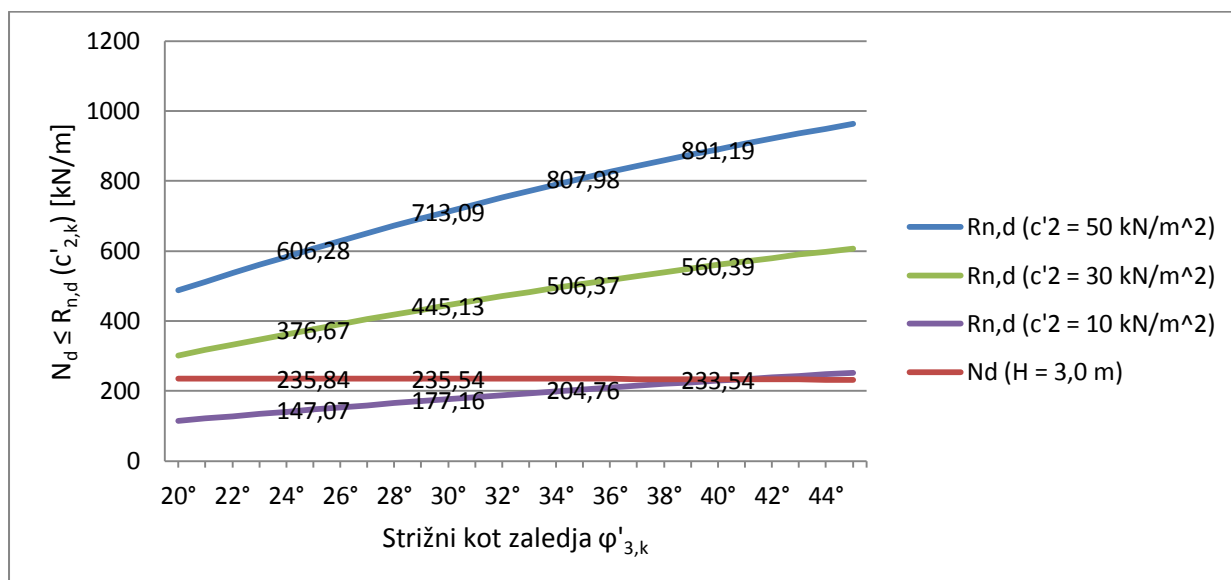


Grafikon 45: Dokaz ekcentričnosti rezultante vseh delujočih sil na podporno konstrukcijo

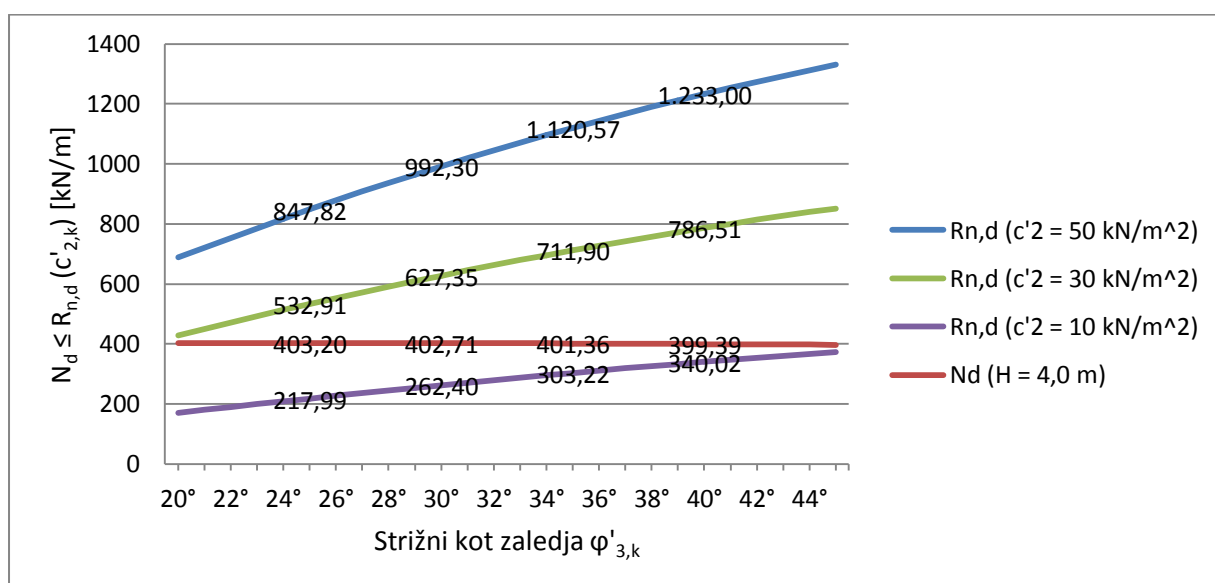
Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo

Garfikoni 46, 47, 48 in 49 kažejo, da je odpornost tal odvisna od kohezije tal $c'_{2,k}$. V primeru, da dokaz nosilnosti tal ni izpolnjen, moramo tla odkopati in narediti armirana nadomestna tla, enako kot v poglavju: Nosilnost tal pod temeljem.

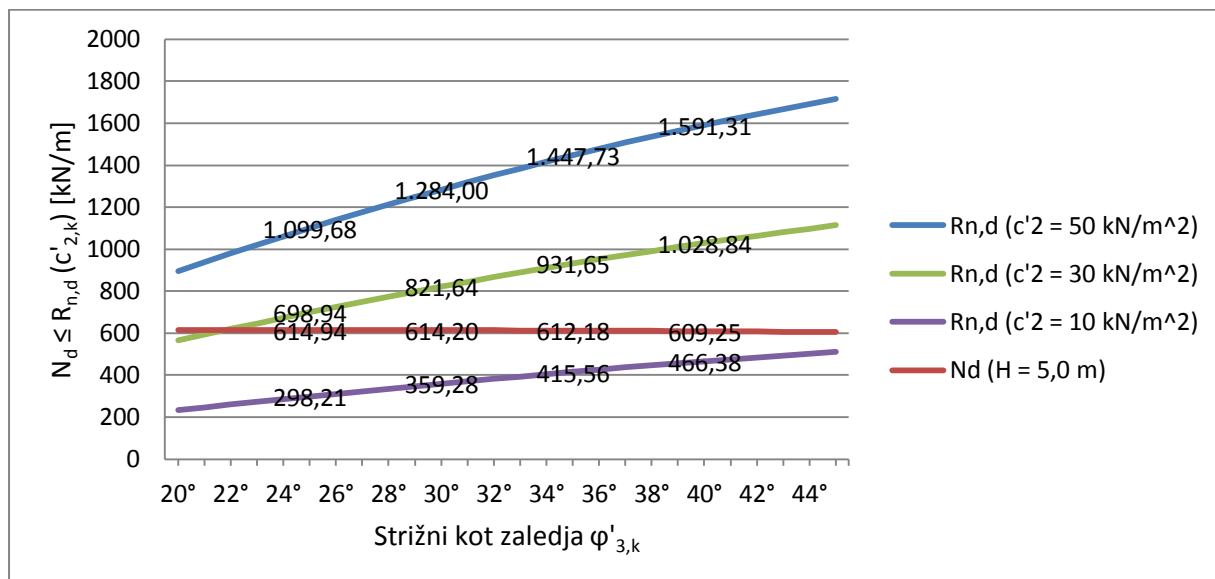
Rezultati v grafikonih 46, 47, 48 in 49 so podani za strižne kote zaledja $\varphi'_{3,k} = 25^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 30^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 35^\circ$ in $\varphi'_{3,k} = 40^\circ$.



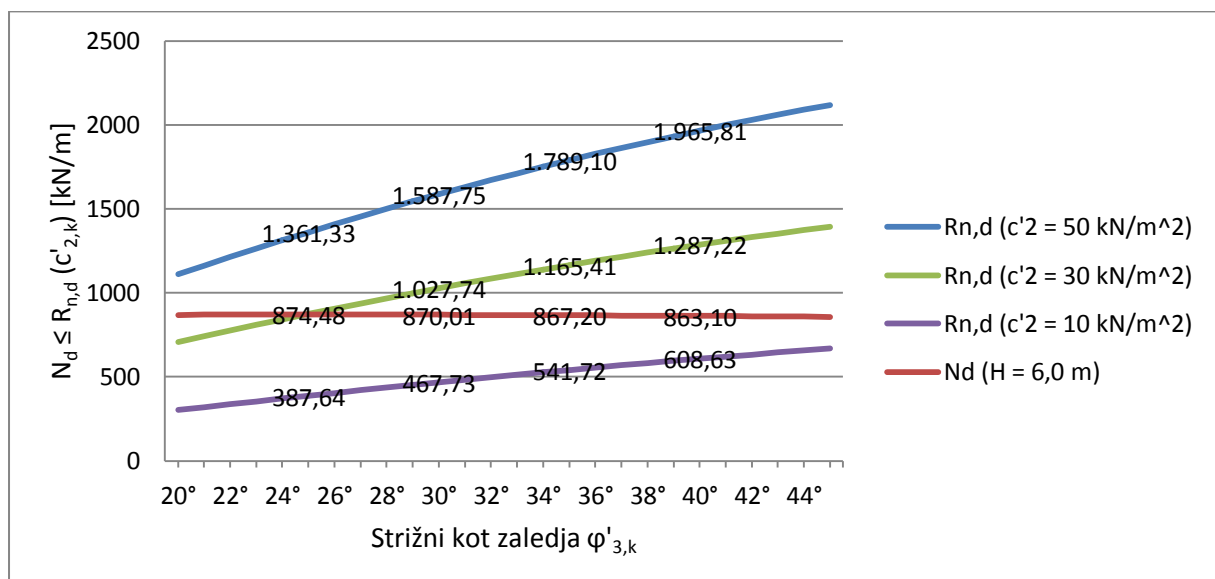
Grafikon 46: Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo – H = 3,0 m



Grafikon 47: Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo – H = 4,0 m



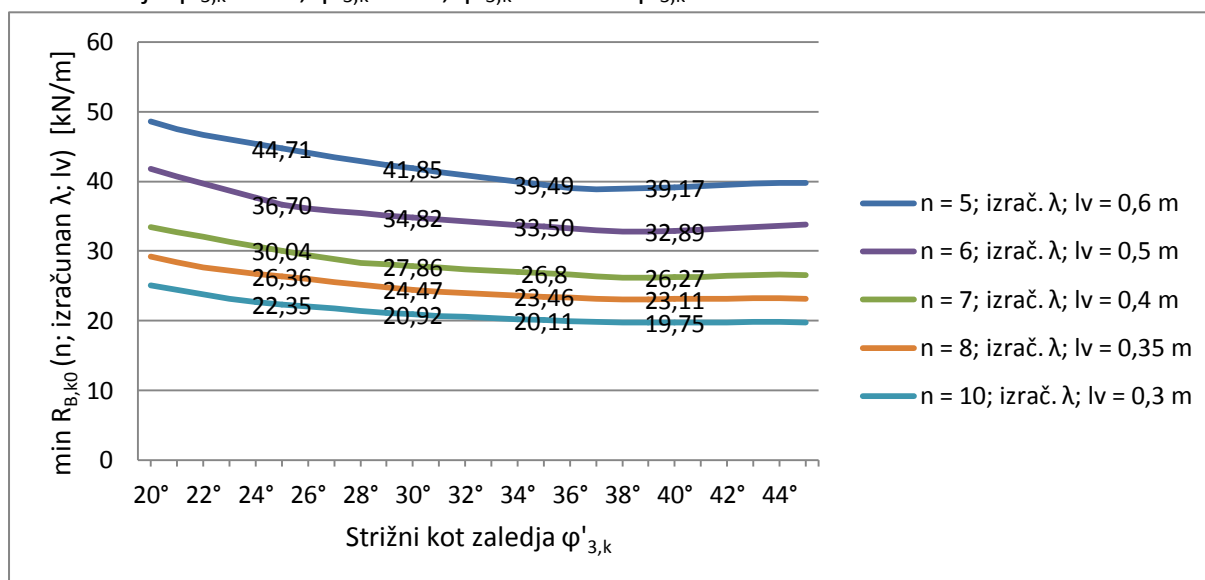
Grafikon 48: Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo – $H = 5,0$ m



Grafikon 49: Dokaz nosilnosti tal pod podporno konstrukcijo – $H = 6,0$ m

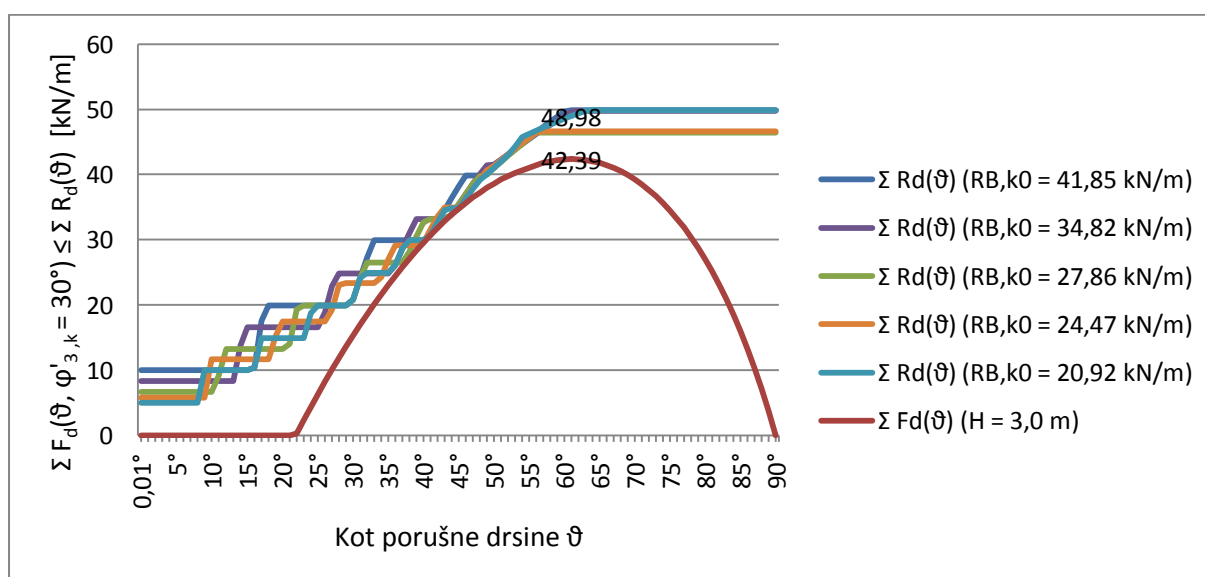
Dokaz globalne stabilnosti

V grafikonu 50 sem podal izračunane minimalne natezne trdnosti geosintetikov za primer $H = 3,0$ m, $\varphi'_{1,k} = 38^\circ$, za različno število ojačitvenih ravnin n in za kote porušne drsine ϑ , ki si sledijo na 1° . Izračunane vrednosti kompozitnih koeficientov (izrač. λ) so podane v grafikonu 42 za višino podporne konstrukcije $H = 3,0$ m. Rezultati v grafikonu 50 so podani za strižne kote zaledja $\varphi'_{3,k} = 25^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 30^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 35^\circ$ in $\varphi'_{3,k} = 40^\circ$.



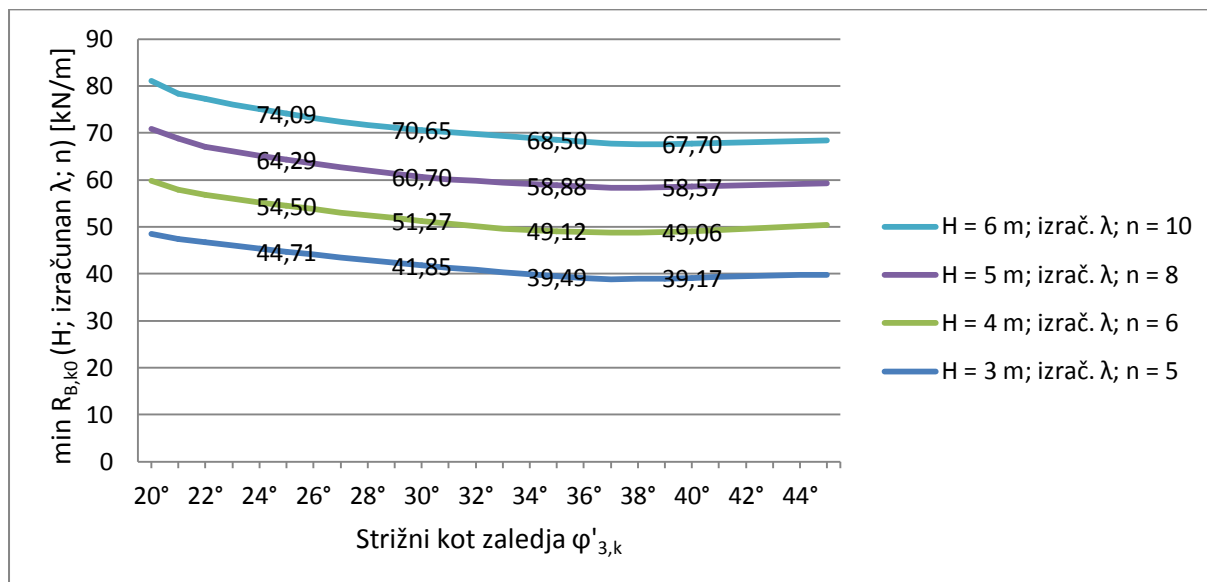
Grafikon 50: Izračunane $\min R_{B,k0}$ za različno število ojačitvenih slojev n

Grafikon 51 prikazuje dokaz globalne stabilnosti z izračunanimi minimalnimi kratkotrajnimi nateznimi trdnostmi geosintetikov iz grafikona 50, za strižni kot zaledja $\varphi'_{3,k} = 30^\circ$. Dokaz globalne stabilnosti je izpolnjen za vse kote linearne porušne drsine ϑ , saj je vsota odpornosti $\sum R_{d(\vartheta)}$ nad vsoto vplivov $\sum F_{d(\vartheta)}$. Rezultata sta podana za kot linearne drsine $\vartheta = 61^\circ$.



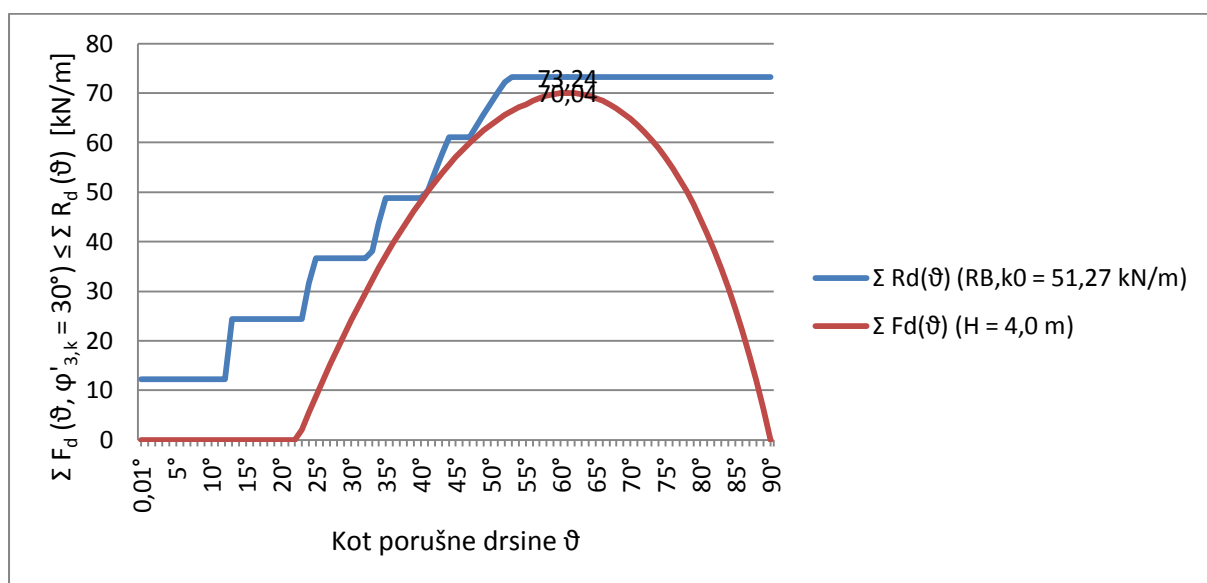
Grafikon 51: Dokaz globalne stabilnosti z izračunanimi $\min R_{B,k0}$ – $H = 3,0$ m

V grafikonu 52 podajam rezultate za minimalno natezno trdnost geosintetikov za različne višine podporne konstrukcije H. Strižni kot podporne konstrukcije je $\varphi'_{1,k} = 38^\circ$. Vertikalna razdalja med geosintetiki je za vse podporne konstrukcije enaka $l_v = 0,60$ m. Izračunane vrednosti kompozitnih koeficientov (izrač. λ) so podane v grafikonu 42. Rezultati v grafikonu 52 so podani za strižne kote zaledja $\varphi'_{3,k} = 25^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 30^\circ$, $\varphi'_{3,k} = 35^\circ$ in $\varphi'_{3,k} = 40^\circ$.



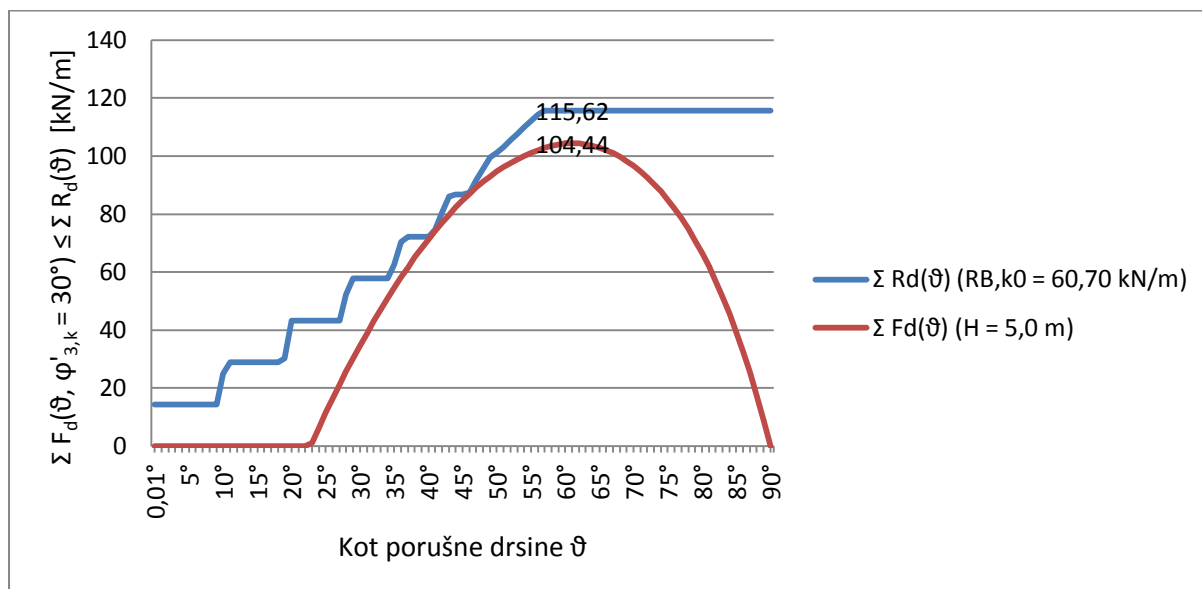
Grafikon 52: Izračunane min $R_{B,k0}$ za različne višine podporne konstrukcije H

Grafikoni 53, 54 in 55 prikazujejo dokaz globalne stabilnosti za različne višine podporne konstrukcije H z vgrajenimi geosintetiki z minimalno kratkotrajno natezno trdnostjo. Natezna trdnost geosintetikov je podana v grafikonu 52 za strižni kot zaledja $\varphi'_3 = 30^\circ$. Grafikoni 53, 54 in 55 pokažejo, da je dokaz globalne stabilnosti v vseh primerih in za vse kote porušne ravne drsine ϑ izpolnjen. Rezultata v grafikonu 53 sta podana za kot linearne drsine $\vartheta = 61^\circ$.



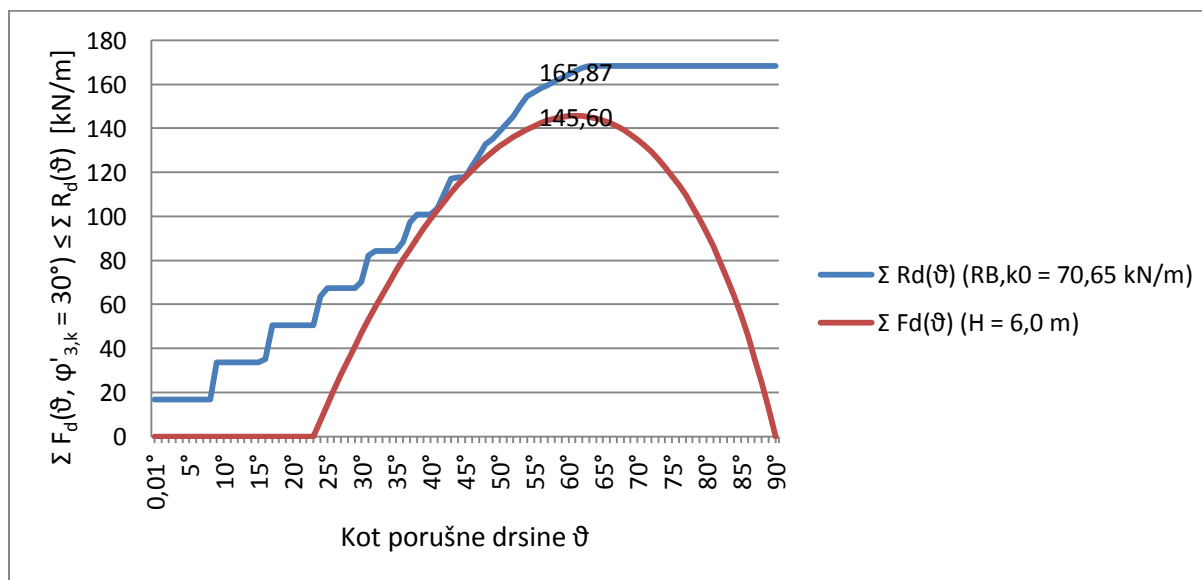
Grafikon 53: Dokaz globalne stabilnosti z izračunanimi min $R_{B,k0}$ – H = 4,0 m

Rezultata v grafikonu 54 sta podana za kot linearne drsine $\vartheta = 61^\circ$.



Grafikon 54: Dokaz globalne stabilnosti z izračunanimi min $R_{B,k0} - H = 5,0$ m

Rezultata v grafikonu 55 sta podana za kot linearne drsine $\vartheta = 61^\circ$.



Grafikon 55: Dokaz globalne stabilnosti z izračunanimi min $R_{B,k0} - H = 6,0$ m

5.6 Zaključek

Podporna konstrukcija je varna, ko so v mejnem stanju nosilnosti izpolnjeni dokaz varnosti pred zdrsom, dokaz varnosti pred porušitvijo podporne konstrukcije, dokaz lege rezultante pritiska na dno podporne konstrukcije, dokaz varnosti pred porušitvijo tal pod podporno konstrukcijo in dokaz o priključitvi obložnih plošč.

Geosintetike izberemo glede na dokaz varnosti pred zdrsom, glede na dokaz globalne stabilnosti in glede na dokaz o priključitvi obložnih plošč na podporno konstrukcije.

Nosilnost podporne konstrukcije je določena s kombinacijo vrednosti strižnega kota zemljine v podporni konstrukciji $\varphi'_{1,k}$ in kratkotrajno natezno trdnostjo geosintetikov $R_{B,k0}$. Nosilnost celotne podporne konstrukcije se s povečevanjem strižnega kota zemljine v podporni konstrukciji povečuje, ker se s tem povečuje odpornost pred izvlekom $R_{A,d}$.

Najmanjšo natezno trdnost geosintetikov $\min R_{B,d}$, ki jih lahko vgradimo v podporno konstrukcijo, izračunamo iz dokaza globalne stabilnosti in iz dokaza o priključitvi obložnih plošč. V konstrukcijo vgradimo geosintetike z večjo izračunano vrednostjo $\min R_{B,d}$.

Pri dokazu za globalno stabilnost podporne konstrukcije moramo preveriti čim več mogočih porušitev in tista, ki zahteva geosintetik z največjo kratkotrajno natezno trdnostjo $R_{B,k0}$, je najbolj neugodna. Kriterij največjega vpliva $\max \Sigma F_d$ je slab kriterij za vgraditev geosintetikov, še zlasti če iščemo najmanjšo natezno trdnost geosintetikov, ki jih lahko vgradimo v konstrukcijo.

Pri preiskavi globalne stabilnosti podporne konstrukcije upoštevamo samo odpornost prerezanih geosintetikov, zato je ugodno, da v konstrukcijo vgradimo geosintetike čim bolj na gosto. Kadar je vertikalna razdalja med geosintetiki najmanjša ($l_v = 0,3$ m), lahko vgradimo največje število geosintetikov in tako zmanjšamo zahtevano natezno nosilnost geosintetikov ali pa povečamo nosilnost celotne podporne konstrukcije.

Kompozitni koeficient λ določimo glede na dokaz varnosti pred zdrsom konstrukcije. Preiskave so pokazale, da je doprinos kompozitnega koeficienta λ h globalni stabilnosti (GEO) podporne konstrukcije zanemarljiv.

Pri izbiri geosintetikov je potrebno paziti še na izkoriščenost geosintetikov. Kadar je natezna trdnost večja kot največja odpornost pred izvlekom, je izkoriščenost slaba. Kadar pa je natezna trdnost manjša kot največja odpornost pred izvlekom, to ima vedno najnižji geosintetik, je izkoriščenost dobra. Upoštevamo pogoj: $\max R_{B,d} \leq \max R_{A1,d}$.

V primeru, da je zahtevana minimalna natezna trdnost geosintetikov večja od največje odpornosti pred izvlekom ($\min R_{B,d} > \max R_{A1,d}$), je potrebno narediti konstrukcijo širšo, kot to zahteva konstrukcijski pogoj $B > 0,7 * H$.

6 ZAKLJUČEK

V svoji diplomski nalogi sem napravil parametrično analizo za nasip, za temelj na malonosilnih tleh in za podporno konstrukcijo iz armirane zemljine. Za vse tri primere sem v programu Excel napisal kodo, ki analizira vplive in odpornosti konstrukcije. Rezultat analize je izračunana minimalna in maksimalna kratkotrajna natezna trdnost geosintetikov in izračunani kompozitni koeficient med geosintetiki in tlemi. Rezultate analize in preiskav sem za izbrane konkretne primere podal v grafih in tabelah.

Odpornost geosintetika je določena z natezno trdnostjo geosintetika in odpornostjo pred izvlekom. Pri izbiri geosintetikov moramo paziti, da imajo dovolj veliko natezno trdnost $R_{B,k0}$ in da izbrani geosintetik v korelaciji s strižnim kotom zemljine ustvari dovolj velik kompozitni koeficient λ . V primeru, da je natezna trdnost geosintetika premajhna, bo geosintetik pretrgalo. V primeru, da geosintetik v korelaciji s strižnim kotom zemljine ne zagotovi dovolj velikega kompozitnega koeficienta, bo geosintetik izvleklo iz zemljine.

Dejanska natezna trdnost geosintetikov je odvisna predvsem od različnih vplivov, ki so zajeti v delnih faktorjih. Delne faktorje je potrebno določiti s preizkusi na gradbišču samem ali pa jih predpiše proizvajalec geosintetikov. Ker vrednosti delnih faktorjev zelo variirajo, je težko napovedati, kakšen razpon v dimenzijah lahko dosežemo z armiranimi konstrukcijami.

Kljub temu lahko zaključim, da je nosilnost armiranih konstrukcij odvisna predvsem od nosilnosti geosintetikov, zato bodo z razvojem še močnejših geosintetikov možni še večji razponi geotehničnih konstrukcij.

VIRI

Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. 2009. Einleitung und Anwendungsgrundlagen der Empfehlungen. V: Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO): ch. 1 p. 3–6, ch. 2 p. 3–24, ch. 3 p. 3–6, ch. 4 p. 1–26, ch 5 p. 1–18, ch. 7 p. 1–35.

Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. 2009. Anforderungen an die Baustoff. V: Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinforcements – EBGEO: p. 75–76.

DIN 1054:2005–01. Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau.

DIN 4017:2006–03. Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flachgründungen.

Petkovšek, A. 2004., Geosintetiki – ali jih znamo pravilno uporabljati 1. del. Modro: Revija za modro uporabo materialov v gradbeništvu 4, 5: 17–19.

Petkovšek, A. 2005., Geosintetiki – naučimo se jih bolje uporabljati 2. del. Modro. Revija za modro uporabo materialov v gradbeništvu 5, 6: 14–19.

SEZNAM PRILOG:

PRILOGA A: GLOBALNA STABILNOST NASIPA - DRŠINA KROŽNE OBLIKE

PRILOGA B: REZULTATI ZA GRAFIKONE

Priloga B

Rezultati za grafikone

Primer 1: Nasip na malonosilnih tleh

Rezultati analize: $h_1 =$ od 3,0 m do 15,0 m in $\varphi'_{1,k} = 27^\circ$

Preglednica: Rezultati analize za nasip na malonosilnih tleh. Prikaz ravnotežnih pogojev za različno višino nasipa h_1

| h_1 [m] | Vnaprej predvidena drsina [kN/m] | Zdrs v začetnem stanju: | | | | | Zdrs v končnem stanju: $R_{U,d}$ [kN/m] | Iztisk zemljine: | |
|--------------|---|-------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---|-----------------------|---|
| | | $E_{ah3,d}$ [kN/m] | $R_{3,d}$ [kN/m] | $E_{ah,d}$ [kN/m] | $R_{O,d}$ [kN/m] | $R_{U,d}$ [kN/m] | | $E_{ah4,d}$ [kN/m] | $R_{Ep4,d} + R_{U,d} + R_{4,d}$ [kN/m] |
| 3 | 93,74 | | | 70,41 | 70,41 | 96,00 | 50,30 | 135,00 | 238,00 |
| 4 | 164,06 | | | 108,90 | 108,90 | 128,00 | 77,79 | 175,00 | 286,00 |
| 5 | 243,43 | | | 154,90 | 154,90 | 160,00 | 110,65 | 215,00 | 334,00 |
| 6 | 331,83 | | | 208,42 | 208,42 | 192,00 | 148,88 | 255,00 | 382,00 |
| 7 | 429,27 | | | 269,44 | 269,44 | 224,00 | 192,47 | 295,00 | 430,00 |
| 8 | 535,75 | | | 337,97 | 337,97 | 256,00 | 241,42 | 335,00 | 478,00 |
| 9 | 651,27 | | | 414,02 | 420,48 | 288,00 | 300,36 | 375,00 | 526,00 |
| 10 | 775,82 | | | 497,57 | 503,99 | 320,00 | 360,02 | 415,00 | 574,00 |
| 11 | 909,42 | | | 588,64 | 595,03 | 352,00 | 425,05 | 455,00 | 622,00 |
| 12 | 1052,05 | | | 687,21 | 693,58 | 384,00 | 495,44 | 495,00 | 670,00 |
| 13 | 1203,73 | | | 793,30 | 799,64 | 416,00 | 571,21 | 535,00 | 718,00 |
| 14 | 1364,44 | 849,16 | 849,16 | 906,89 | 913,22 | 448,00 | 652,34 | 575,00 | 766,00 |
| 15 | 1534,19 | 966,51 | 966,51 | 1028,00 | 1034,31 | 480,00 | 738,84 | 615,00 | 814,00 |

Preglednica: Rezultati analize za nasip na malonosilnih tleh. Izračun minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov $R_{B,k0}$ za različno višino nasipa h_1

| h_1 [m] | Vnaprej predvidena drsina [kN/m] | Zdrs nad geosintetikom v začetnem st. [kN/m] | Zdrs pod geosintetikom v začetnem st. [kN/m] | Zdrs pod geosintetikom v končnem st. [kN/m] | Iztisk zemljine [kN/m] | Vgradimo: | | |
|--------------|---|---|---|--|------------------------------|----------------------------|-----------|-------|
| | | | | | | $\min(R_{B,k0})$ [kN/m] | λ | L [m] |
| 3 | 93,74 | - | 0,00 | 20,11 | 96,00 | 209,66 | 0,96 | 24,00 |
| 4 | 164,06 | - | 0,00 | 31,11 | 128,00 | 358,31 | 0,83 | 28,00 |
| 5 | 243,43 | - | 0,00 | 44,25 | 160,00 | 531,64 | 0,76 | 32,00 |
| 6 | 331,83 | - | 16,42 | 59,54 | 192,00 | 724,71 | 0,71 | 36,00 |
| 7 | 429,27 | - | 45,44 | 76,97 | 224,00 | 937,52 | 0,67 | 40,00 |

| | | | | | | | | |
|----|---------|------|--------|--------|--------|---------|------|--------|
| 8 | 535,75 | - | 81,97 | 96,55 | 256,00 | 1170,07 | 0,65 | 44,00 |
| 9 | 651,27 | - | 126,02 | 113,66 | 288,00 | 1422,36 | 0,64 | 48,00 |
| 10 | 775,82 | - | 177,57 | 137,55 | 320,00 | 1694,40 | 0,62 | 52,00 |
| 11 | 909,42 | - | 236,64 | 163,59 | 352,00 | 1986,17 | 0,60 | 56,00 |
| 12 | 1052,05 | - | 303,21 | 191,77 | 384,00 | 2297,68 | 0,59 | 60,00 |
| 13 | 1203,73 | - | 377,30 | 222,09 | 416,00 | 2628,94 | 0,58 | 64,00 |
| 14 | 1364,44 | 0,00 | 458,89 | 254,55 | 448,00 | 2979,93 | 0,57 | 124,24 |
| 15 | 1534,19 | 0,00 | 548,00 | 289,16 | 480,00 | 3350,67 | 0,56 | 132,24 |

Preglednica: Rezultati analize za nasip na malonosilnih tleh. Dokaz odpornosti geosintetika pred izvlekom, za različno višino nasipa h_1

| $R_{A,1g,d}(\lambda) + R_{A,2g,d}(\lambda) \leq \text{Erf } R_{A,d}$ ali $R_{A,1g,d}(\lambda) + R_{A,2g,d}(\lambda) + R_{A,Um,d}(\lambda) \leq \text{Erf } R_{A,d}$; λ je izračunan, vrednosti v zgornji preglednici | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|
| Predvidena porušitev | | | | Zdrs nasipa v začetnem st. | | | Zdrs nasipa za končno st. | | | Iztisnenje zemljine v začetnem st. | | |
| h_1 [m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,Um,d}$ [kN/m] | Erf $R_{A,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,Um,d}$ [kN/m] | Erf $R_{A,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,Um,d}$ [kN/m] | Erf $R_{A,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,Um,d}$ [kN/m] | Erf $R_{A,d}$ [kN/m] |
| 3 | 219,1 | 306,4 | 93,7 | 148,6 | 235,9 | 0,0 | 107,8 | 195,1 | 20,1 | 148,6 | 235,9 | 96,0 |
| 4 | 288,7 | 437,6 | 164,1 | 211,5 | 360,4 | 0,0 | 166,7 | 315,6 | 31,1 | 211,5 | 360,4 | 128,0 |
| 5 | 365,1 | 589,1 | 243,4 | 281,2 | 505,2 | 0,0 | 237,1 | 461,2 | 44,3 | 281,2 | 505,2 | 160,0 |
| 6 | 448,1 | 760,8 | 331,8 | 357,5 | 670,2 | 16,4 | 319,0 | 631,7 | 59,5 | 357,5 | 670,2 | 192,0 |
| 7 | 537,9 | 952,7 | 429,3 | 440,6 | 855,4 | 45,4 | 412,4 | 827,3 | 77,0 | 440,6 | 855,4 | 224,0 |
| 8 | 634,3 | 1164,8 | 535,7 | 530,3 | 1060,8 | 82,0 | 517,3 | 1047,8 | 96,5 | 530,3 | 1060,8 | 256,0 |
| 9 | 737,5 | 1397,0 | 651,3 | 626,8 | 1286,3 | 126,0 | 633,7 | 1293,2 | 118,3 | 626,8 | 1286,3 | 288,0 |
| 10 | 847,4 | 1649,3 | 775,8 | 730,0 | 1531,9 | 177,6 | 761,6 | 1563,5 | 142,1 | 730,0 | 1531,9 | 320,0 |
| 11 | 964,0 | 1921,7 | 909,4 | 839,9 | 1797,6 | 236,6 | 901,0 | 1858,7 | 168,2 | 839,9 | 1797,6 | 352,0 |
| 12 | 1087,3 | 2214,3 | 1052,1 | 956,4 | 2083,5 | 303,2 | 1051,9 | 2178,9 | 196,3 | 956,4 | 2083,5 | 384,0 |
| 13 | 1217,3 | 2527,0 | 1203,7 | 1079,7 | 2389,5 | 377,3 | 1214,3 | 2524,0 | 226,6 | 1079,7 | 2389,5 | 416,0 |
| 14 | 1360,4 | 2876,8 | 1364,4 | 1215,4 | 2731,7 | 458,9 | 1397,8 | 2914,2 | 254,5 | 1215,4 | 2731,7 | 448,0 |
| 15 | 1503,8 | 3229,7 | 1534,2 | 1352,1 | 3078,0 | 548,0 | 1583,2 | 3309,1 | 289,2 | 1352,1 | 3078,0 | 480,0 |

Preglednica: Rezultati analize za grafikon 11: Nasip na malonosilnih tleh. Izračunane minimalne vrednosti geosintetika, ki ga vgradimo pod nasip za različno višino nasipa h_1 in strižne kote nasipa $\varphi'_{1,k}$

| h_1 [m] | $\varphi'_{1,k} = 30^\circ$ | | | $\varphi'_{1,k} = 35^\circ$ | | | $\varphi'_{1,k} = 40^\circ$ | | | $\varphi'_{1,k} = 45^\circ$ | | |
|--------------|-----------------------------|-----------|-------|-----------------------------|-----------|-------|-----------------------------|-----------|-------|-----------------------------|-----------|-------|
| | min $R_{B,k0}$ [kN/m] | λ | L [m] | min $R_{B,k0}$ [kN/m] | λ | L [m] | min $R_{B,k0}$ [kN/m] | λ | L [m] | min $R_{B,k0}$ [kN/m] | λ | L [m] |
| 3 | 209,66 | 0,75 | 24,00 | 209,66 | 0,50 | 24,00 | 209,66 | 0,34 | 24,00 | 209,66 | 0,22 | 24,00 |
| 4 | 331,20 | 0,65 | 28,00 | 289,59 | 0,44 | 28,00 | 279,55 | 0,29 | 28,00 | 279,55 | 0,19 | 28,00 |
| 5 | 493,07 | 0,60 | 32,00 | 433,89 | 0,40 | 32,00 | 380,55 | 0,27 | 32,00 | 349,44 | 0,18 | 32,00 |
| 6 | 672,82 | 0,56 | 36,00 | 593,20 | 0,37 | 36,00 | 521,43 | 0,25 | 36,00 | 456,90 | 0,17 | 36,00 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|---------|------|--------|---------|------|--------|---------|------|--------|---------|------|-------|
| 7 | 870,44 | 0,53 | 40,00 | 767,50 | 0,35 | 40,00 | 674,72 | 0,24 | 40,00 | 591,30 | 0,16 | 40,00 |
| 8 | 1085,92 | 0,51 | 44,00 | 956,81 | 0,34 | 44,00 | 840,43 | 0,23 | 44,00 | 735,79 | 0,15 | 44,00 |
| 9 | 1319,28 | 0,49 | 48,00 | 1161,11 | 0,33 | 48,00 | 1018,55 | 0,22 | 48,00 | 890,37 | 0,15 | 48,00 |
| 10 | 1570,51 | 0,48 | 52,00 | 1380,42 | 0,32 | 52,00 | 1209,08 | 0,21 | 52,00 | 1055,04 | 0,14 | 52,00 |
| 11 | 1839,61 | 0,47 | 56,00 | 1614,73 | 0,31 | 56,00 | 1412,04 | 0,21 | 56,00 | 1229,79 | 0,14 | 56,00 |
| 12 | 2126,58 | 0,46 | 60,00 | 1864,04 | 0,31 | 60,00 | 1627,40 | 0,21 | 60,00 | 1414,64 | 0,14 | 60,00 |
| 13 | 2431,43 | 0,45 | 64,00 | 2128,35 | 0,30 | 64,00 | 1855,18 | 0,20 | 64,00 | 1609,58 | 0,13 | 64,00 |
| 14 | 2754,14 | 0,45 | 124,24 | 2407,67 | 0,30 | 124,24 | 2095,38 | 0,20 | 68,00 | 1814,61 | 0,13 | 68,00 |
| 15 | 3094,72 | 0,44 | 132,24 | 2701,98 | 0,30 | 132,24 | 2348,00 | 0,20 | 132,24 | 2029,73 | 0,13 | 72,00 |

Rezultati analize: $h_1 = 3,0 \text{ m}$ in $\varphi'_{1,k} = \text{od } 20^\circ \text{ do } 45^\circ$

Preglednica: Rezultati analize za nasip na malonosilnih tleh. Prikaz ravnotežnih pogojev za različni strižni kot nasipa $\varphi'_{1,k}$

| $\varphi'_{1,k}$ | Vnaprej predvidena drsina | Zdrs v začetnem stanju: $E_{ah,d} \leq R_{O,d}$ $E_{ah,d} \leq R_{U,d}$ | | | | Zdrs v končnem stanju: $E_{ah,d} \leq R_{U,d}$ | Iztisk zemljine: $E_{ah4,d} \leq R_{Ep4,d} + R_{U,d} + R_{4,d}$ | |
|------------------|------------------------------------|---|---------------------|------------------------|-------------------------------|---|--|-------|
| | $\min(R_{A,d}; R_{B,d})$ [kN/m] | $E_{ah,d}$ [kN/m] | $R_{O,d}$ [kN/m] | $R_{U,d}$ [kN/m] | $R_{U,d} (\lambda)$ [kN/m] | $E_{ah4,d}$ [kN/m] | $R_{Ep4,d} + R_{U,d} + R_{4,d}$ [kN/m] | |
| 20° | 114,57 | 91,93 | 52,41 | Zdrs nad geosintetikom | 96,00 | 52,41 | 135,0 | 238,0 |
| 21° | 111,40 | 88,57 | 55,28 | Zdrs nad geosintetikom | 96,00 | 52,41 | 135,0 | 238,0 |
| 22° | 108,29 | 85,31 | 58,18 | Zdrs nad geosintetikom | 96,00 | 52,41 | 135,0 | 238,0 |
| 23° | 105,26 | 82,14 | 61,12 | Zdrs nad geosintetikom | 96,00 | 52,41 | 135,0 | 238,0 |
| 24° | 102,29 | 79,07 | 64,11 | Zdrs nad geosintetikom | 96,00 | 52,41 | 135,0 | 238,0 |
| 25° | 99,38 | 76,10 | 67,15 | Zdrs nad geosintetikom | 96,00 | 52,41 | 135,0 | 238,0 |
| 26° | 96,53 | 73,21 | 70,23 | Zdrs nad geosintetikom | 96,00 | 52,41 | 135,0 | 238,0 |
| 27° | 93,74 | 70,41 | 70,41 | | 96,00 | 50,30 | 135,0 | 238,0 |
| 28° | 91,01 | 67,69 | 67,69 | | 96,00 | 46,34 | 135,0 | 238,0 |
| 29° | 88,33 | 65,06 | 65,06 | | 96,00 | 42,72 | 135,0 | 238,0 |
| 30° | 85,71 | 62,50 | 62,50 | | 96,00 | 39,40 | 135,0 | 238,0 |
| 31° | 83,15 | 60,02 | 60,02 | | 96,00 | 36,36 | 135,0 | 238,0 |
| 32° | 80,63 | 57,61 | 57,61 | | 96,00 | 33,56 | 135,0 | 238,0 |
| 33° | 78,17 | 55,28 | 55,28 | | 96,00 | 30,98 | 135,0 | 238,0 |
| 34° | 75,76 | 53,01 | 53,01 | | 96,00 | 28,60 | 135,0 | 238,0 |
| 35° | 73,40 | 50,81 | 50,81 | | 96,00 | 26,41 | 135,0 | 238,0 |
| 36° | 71,08 | 48,68 | 48,68 | | 96,00 | 24,39 | 135,0 | 238,0 |
| 37° | 68,81 | 46,61 | 46,61 | | 96,00 | 22,51 | 135,0 | 238,0 |
| 38° | 66,60 | 44,60 | 44,60 | | 96,00 | 20,78 | 135,0 | 238,0 |

| | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|-------|
| 39° | 64,42 | 42,66 | 42,66 | | 96,00 | 19,17 | 135,0 | 238,0 |
| 40° | 62,29 | 40,77 | 40,77 | | 96,00 | 17,68 | 135,0 | 238,0 |
| 41° | 60,21 | 38,94 | 38,94 | | 96,00 | 16,30 | 135,0 | 238,0 |
| 42° | 58,17 | 37,17 | 37,17 | | 96,00 | 15,02 | 135,0 | 238,0 |
| 43° | 56,18 | 35,45 | 35,45 | | 96,00 | 13,84 | 135,0 | 238,0 |
| 44° | 54,22 | 33,78 | 33,78 | | 96,00 | 12,73 | 135,0 | 238,0 |
| 45° | 52,31 | 32,17 | 32,17 | | 96,00 | 11,71 | 135,0 | 238,0 |

Preglednica: Rezultati analize za nasip na malonosilnih tleh. Izračun minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosinteitkov $R_{B,k0}$ za različni strižni kot nasipa $\varphi_{1,k}$

| $\varphi'_{1,k}$ | Vnaprej predvidena drsina | Zdrs nad geosintetikom v začetnem st. | Zdrs pod geosintetikom v začetnem st. | Zdrs pod geosintetikom v končnem st. | Iztisk zemljine | Vgradimo: | | |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------|-------|
| | min ($R_{A,d}; R_{B,d}$) [kN/m] | min ($R_{3,d}; R_{B,d}$) [kN/m] | min ($R_{A,d}; R_{B,d}$) [kN/m] | min ($R_{A,d}; R_{B,d}$) [kN/m] | min ($R_{A,d}; R_{B,d}$) [kN/m] | min $R_{B,k0}$ [kN/m] | λ | L [m] |
| 20° | 114,57 | - | 0,00 | 39,52 | 96,00 | 250,22 | 1,00 | 24 |
| 21° | 111,40 | - | 0,00 | 36,15 | 96,00 | 243,29 | 1,00 | 24 |
| 22° | 108,29 | - | 0,00 | 32,89 | 96,00 | 236,52 | 1,00 | 24 |
| 23° | 105,26 | - | 0,00 | 29,73 | 96,00 | 229,88 | 1,00 | 24 |
| 24° | 102,29 | - | 0,00 | 26,66 | 96,00 | 223,39 | 1,00 | 24 |
| 25° | 99,38 | - | 0,00 | 23,69 | 96,00 | 217,04 | 1,00 | 24 |
| 26° | 96,53 | - | 0,00 | 20,80 | 96,00 | 210,82 | 1,00 | 24 |
| 27° | 93,74 | - | 0,00 | 20,11 | 96,00 | 209,66 | 0,96 | 24 |
| 28° | 91,01 | - | 0,00 | 21,36 | 96,00 | 209,66 | 0,88 | 24 |
| 29° | 88,33 | - | 0,00 | 22,34 | 96,00 | 209,66 | 0,82 | 24 |
| 30° | 85,71 | - | 0,00 | 23,10 | 96,00 | 209,66 | 0,75 | 24 |
| 31° | 83,15 | - | 0,00 | 23,66 | 96,00 | 209,66 | 0,69 | 24 |
| 32° | 80,63 | - | 0,00 | 24,05 | 96,00 | 209,66 | 0,64 | 24 |
| 33° | 78,17 | - | 0,00 | 24,30 | 96,00 | 209,66 | 0,59 | 24 |
| 34° | 75,76 | - | 0,00 | 24,40 | 96,00 | 209,66 | 0,55 | 24 |
| 35° | 73,40 | - | 0,00 | 24,40 | 96,00 | 209,66 | 0,50 | 24 |
| 36° | 71,08 | - | 0,00 | 24,29 | 96,00 | 209,66 | 0,47 | 24 |
| 37° | 68,81 | - | 0,00 | 24,10 | 96,00 | 209,66 | 0,43 | 24 |
| 38° | 66,60 | - | 0,00 | 23,82 | 96,00 | 209,66 | 0,40 | 24 |
| 39° | 64,42 | - | 0,00 | 23,48 | 96,00 | 209,66 | 0,37 | 24 |
| 40° | 62,29 | - | 0,00 | 23,09 | 96,00 | 209,66 | 0,34 | 24 |
| 41° | 60,21 | - | 0,00 | 22,64 | 96,00 | 209,66 | 0,31 | 24 |
| 42° | 58,17 | - | 0,00 | 22,14 | 96,00 | 209,66 | 0,29 | 24 |
| 43° | 56,18 | - | 0,00 | 21,61 | 96,00 | 209,66 | 0,26 | 24 |
| 44° | 54,22 | - | 0,00 | 21,05 | 96,00 | 209,66 | 0,24 | 24 |
| 45° | 52,31 | - | 0,00 | 20,46 | 96,00 | 209,66 | 0,22 | 24 |

Preglednica: Rezultati analize za nasip na malonosilnih tleh. Dokaz odpornosti geosintetika pred izvlekom za različni strižni kot nasipa $\varphi_{1,k}$

| Erf $R_{A,d} \leq R_{A,1g,d}(\lambda) + R_{A,2g,d}(\lambda)$ ali Erf $R_{A,d} \leq R_{A,1g,d}(\lambda) + R_{A,2g,d}(\lambda) + R_{A,Um,d}(\lambda)$; λ je izračunan, vrednosti v zgornji preglednici | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------|
| Predvidena porušitev | | | | Zdrs nasipa v začetnem st. | | | Zdrs nasipa za končno st. | | | Iztisnenje zemljine v začetnem st. | | |
| $\varphi'_{1,k}$ | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,Um,d}$ [kN/m] | Erf $R_{A,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,Um,d}$ [kN/m] | Erf $R_{A,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,Um,d}$ [kN/m] | Erf $R_{A,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d}$ [kN/m] | $R_{A,1g,d} + R_{A,2g,d} + R_{A,Um,d}$ [kN/m] | Erf $R_{A,d}$ [kN/m] |
| 20° | 192,28 | 257,27 | 114,57 | 132,51 | 197,51 | 39,52 | 93,59 | 158,59 | 39,52 | 132,51 | 197,51 | 96,00 |
| 21° | 196,54 | 265,09 | 111,40 | 135,07 | 203,62 | 33,29 | 96,15 | 164,70 | 36,15 | 135,07 | 203,62 | 96,00 |
| 22° | 200,86 | 273,01 | 108,29 | 137,66 | 209,81 | 27,13 | 98,74 | 170,89 | 32,89 | 137,66 | 209,81 | 96,00 |
| 23° | 205,24 | 281,04 | 105,26 | 140,29 | 216,09 | 21,02 | 101,37 | 177,17 | 29,73 | 140,29 | 216,09 | 96,00 |
| 24° | 209,69 | 289,20 | 102,29 | 142,96 | 222,46 | 14,96 | 104,04 | 183,54 | 26,66 | 142,96 | 222,46 | 96,00 |
| 25° | 214,21 | 297,48 | 99,38 | 145,67 | 228,94 | 8,95 | 106,75 | 190,02 | 23,69 | 145,67 | 228,94 | 96,00 |
| 26° | 218,80 | 305,89 | 96,53 | 148,42 | 235,52 | 2,98 | 109,50 | 196,60 | 20,80 | 148,42 | 235,52 | 96,00 |
| 27° | 219,06 | 306,38 | 93,74 | 148,58 | 235,90 | 0,00 | 107,77 | 195,09 | 20,11 | 148,58 | 235,90 | 96,00 |
| 28° | 215,02 | 298,97 | 91,01 | 146,16 | 230,10 | 0,00 | 101,81 | 185,76 | 21,36 | 146,16 | 230,10 | 96,00 |
| 29° | 211,10 | 291,77 | 88,33 | 143,80 | 224,48 | 0,00 | 96,23 | 176,90 | 22,34 | 143,80 | 224,48 | 96,00 |
| 30° | 207,29 | 284,80 | 85,71 | 141,52 | 219,02 | 0,00 | 90,98 | 168,49 | 23,10 | 141,52 | 219,02 | 96,00 |
| 31° | 203,60 | 278,03 | 83,15 | 139,30 | 213,73 | 0,00 | 86,05 | 160,48 | 23,66 | 139,30 | 213,73 | 96,00 |
| 32° | 200,02 | 271,46 | 80,63 | 137,15 | 208,59 | 0,00 | 81,40 | 152,84 | 24,05 | 137,15 | 208,59 | 96,00 |
| 33° | 196,54 | 265,09 | 78,17 | 135,07 | 203,61 | 0,00 | 77,01 | 145,56 | 24,30 | 135,07 | 203,61 | 96,00 |
| 34° | 193,17 | 258,90 | 75,76 | 133,04 | 198,78 | 0,00 | 72,87 | 138,60 | 24,40 | 133,04 | 198,78 | 96,00 |
| 35° | 189,90 | 252,91 | 73,40 | 131,08 | 194,09 | 0,00 | 68,95 | 131,96 | 24,40 | 131,08 | 194,09 | 96,00 |
| 36° | 186,72 | 247,09 | 71,08 | 129,18 | 189,54 | 0,00 | 65,24 | 125,60 | 24,29 | 129,18 | 189,54 | 96,00 |
| 37° | 183,64 | 241,44 | 68,81 | 127,33 | 185,13 | 0,00 | 61,72 | 119,52 | 24,10 | 127,33 | 185,13 | 96,00 |
| 38° | 180,66 | 235,97 | 66,60 | 125,54 | 180,85 | 0,00 | 58,38 | 113,69 | 23,82 | 125,54 | 180,85 | 96,00 |
| 39° | 177,76 | 230,66 | 64,42 | 123,80 | 176,70 | 0,00 | 55,21 | 108,10 | 23,48 | 123,80 | 176,70 | 96,00 |
| 40° | 174,96 | 225,51 | 62,29 | 122,12 | 172,68 | 0,00 | 52,19 | 102,75 | 23,09 | 122,12 | 172,68 | 96,00 |
| 41° | 172,23 | 220,52 | 60,21 | 120,48 | 168,77 | 0,00 | 49,33 | 97,62 | 22,64 | 120,48 | 168,77 | 96,00 |
| 42° | 169,60 | 215,69 | 58,17 | 118,90 | 164,99 | 0,00 | 46,60 | 92,69 | 22,14 | 118,90 | 164,99 | 96,00 |
| 43° | 167,04 | 211,00 | 56,18 | 117,37 | 161,32 | 0,00 | 44,00 | 87,96 | 21,61 | 117,37 | 161,32 | 96,00 |
| 44° | 164,56 | 206,45 | 54,22 | 115,88 | 157,77 | 0,00 | 41,53 | 83,43 | 21,05 | 115,88 | 157,77 | 96,00 |
| 45° | 162,16 | 202,05 | 52,31 | 114,44 | 154,33 | 0,00 | 39,18 | 79,07 | 20,46 | 114,44 | 154,33 | 96,00 |

Preglednica: Rezultati analize za grafikon 1 za vnaprej predvideno drsino:

| $\varphi'_{1,k}$ | $h_1 = 3,0 \text{ m}$ | $h_1 = 4,0 \text{ m}$ | $h_1 = 5,0 \text{ m}$ | $h_1 = 6,0 \text{ m}$ | $h_1 = 7,0 \text{ m}$ |
|------------------|---|---|---|---|---|
| | min ($R_{A,d}$; $R_{B,d}$) [kN/m] | min ($R_{A,d}$; $R_{B,d}$) [kN/m] | min ($R_{A,d}$; $R_{B,d}$) [kN/m] | min ($R_{A,d}$; $R_{B,d}$) [kN/m] | min ($R_{A,d}$; $R_{B,d}$) [kN/m] |
| 20° | 114,57 | 196,28 | 289,25 | 393,48 | 508,97 |
| 21° | 111,40 | 191,37 | 282,27 | 384,10 | 496,84 |
| 22° | 108,29 | 186,58 | 275,45 | 374,91 | 484,97 |
| 23° | 105,26 | 181,88 | 268,77 | 365,93 | 473,35 |
| 24° | 102,29 | 177,28 | 262,23 | 357,13 | 461,98 |

| | | | | | |
|-----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 25° | 99,38 | 172,78 | 255,83 | 348,52 | 450,84 |
| 26° | 96,53 | 168,38 | 249,56 | 340,08 | 439,94 |
| 27° | 93,74 | 164,06 | 243,43 | 331,83 | 429,27 |
| 28° | 91,01 | 159,84 | 237,42 | 323,74 | 418,82 |
| 29° | 88,33 | 155,70 | 231,53 | 315,82 | 408,58 |
| 30° | 85,71 | 151,65 | 225,77 | 308,07 | 398,55 |
| 31° | 83,15 | 147,68 | 220,12 | 300,47 | 388,73 |
| 32° | 80,63 | 143,79 | 214,59 | 293,03 | 379,11 |
| 33° | 78,17 | 139,98 | 209,17 | 285,74 | 369,69 |
| 34° | 75,76 | 136,25 | 203,87 | 278,60 | 360,46 |
| 35° | 73,40 | 132,60 | 198,67 | 271,61 | 351,42 |
| 36° | 71,08 | 129,02 | 193,58 | 264,76 | 342,56 |
| 37° | 68,81 | 125,51 | 188,59 | 258,05 | 333,89 |
| 38° | 66,60 | 122,08 | 183,71 | 251,48 | 325,40 |
| 39° | 64,42 | 118,72 | 178,93 | 245,05 | 317,08 |
| 40° | 62,29 | 115,43 | 174,25 | 238,75 | 308,94 |
| 41° | 60,21 | 112,21 | 169,66 | 232,58 | 300,97 |
| 42° | 58,17 | 109,05 | 165,18 | 226,55 | 293,16 |
| 43° | 56,18 | 105,96 | 160,79 | 220,64 | 285,52 |
| 44° | 54,22 | 102,94 | 156,49 | 214,86 | 278,05 |
| 45° | 52,31 | 99,99 | 152,29 | 209,21 | 270,74 |

Preglednica: Rezultati analize za grafikon 3: Dokaz pred zdrsom nasipa nad geosintetikom

| $\varphi'_{1,k}$ | $h_1 = 3,0 \text{ m}$ | | | $h_1 = 5,0 \text{ m}$ | | | $h_1 = 7,0 \text{ m}$ | | |
|------------------|---|--|------------------|---|--|------------------|---|--|------------------|
| | $E_{ah,d} \leq R_{O,d}$ (izrač. λ) | | | $E_{ah,d} \leq R_{O,d}$ (izrač. λ) | | | $E_{ah,d} \leq R_{O,d}$ (izrač. λ) | | |
| | $E_{ah,d}$ [kN/m] | $R_{O,d}$ (izrač. λ) [kN/m] | izrač. λ | $E_{ah,d}$ [kN/m] | $R_{O,d}$ (izrač. λ) [kN/m] | izrač. λ | $E_{ah,d}$ [kN/m] | $R_{O,d}$ (izrač. λ) [kN/m] | izrač. λ |
| 20° | 91,93 | 52,41 | 1,00 | 202,24 | 145,59 | 1,00 | 351,78 | 285,35 | 1,00 |
| 21° | 88,57 | 55,28 | 1,00 | 194,85 | 153,55 | 1,00 | 338,91 | 300,95 | 1,00 |
| 22° | 85,31 | 58,18 | 1,00 | 187,67 | 161,61 | 1,00 | 326,44 | 316,76 | 1,00 |
| 23° | 82,14 | 61,12 | 1,00 | 180,71 | 169,79 | 1,00 | 314,33 | 314,33 | 0,94 |
| 24° | 79,07 | 64,11 | 1,00 | 173,96 | 173,96 | 0,98 | 302,59 | 302,59 | 0,87 |
| 25° | 76,10 | 67,15 | 1,00 | 167,42 | 167,42 | 0,90 | 291,20 | 291,20 | 0,80 |
| 26° | 73,21 | 70,23 | 1,00 | 161,07 | 161,07 | 0,83 | 280,16 | 280,16 | 0,73 |
| 27° | 70,41 | 70,41 | 0,96 | 154,90 | 154,90 | 0,76 | 269,44 | 269,44 | 0,67 |
| 28° | 67,69 | 67,69 | 0,88 | 148,93 | 148,93 | 0,70 | 259,04 | 259,04 | 0,62 |
| 29° | 65,06 | 65,06 | 0,82 | 143,13 | 143,13 | 0,65 | 248,95 | 248,95 | 0,57 |
| 30° | 62,50 | 62,50 | 0,75 | 137,50 | 137,50 | 0,60 | 239,17 | 239,17 | 0,53 |
| 31° | 60,02 | 60,02 | 0,69 | 132,04 | 132,04 | 0,55 | 229,67 | 229,67 | 0,49 |
| 32° | 57,61 | 57,61 | 0,64 | 126,74 | 126,74 | 0,51 | 220,46 | 220,46 | 0,45 |
| 33° | 55,28 | 55,28 | 0,59 | 121,61 | 121,61 | 0,47 | 211,52 | 211,52 | 0,42 |
| 34° | 53,01 | 53,01 | 0,55 | 116,62 | 116,62 | 0,43 | 202,85 | 202,85 | 0,38 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|------|--------|--------|------|--------|--------|------|
| 35° | 50,81 | 50,81 | 0,50 | 111,78 | 111,78 | 0,40 | 194,44 | 194,44 | 0,35 |
| 36° | 48,68 | 48,68 | 0,47 | 107,09 | 107,09 | 0,37 | 186,27 | 186,27 | 0,33 |
| 37° | 46,61 | 46,61 | 0,43 | 102,54 | 102,54 | 0,34 | 178,36 | 178,36 | 0,30 |
| 38° | 44,60 | 44,60 | 0,40 | 98,13 | 98,13 | 0,31 | 170,68 | 170,68 | 0,28 |
| 39° | 42,66 | 42,66 | 0,37 | 93,85 | 93,85 | 0,29 | 163,24 | 163,24 | 0,26 |
| 40° | 40,77 | 40,77 | 0,34 | 89,70 | 89,70 | 0,27 | 156,02 | 156,02 | 0,24 |
| 41° | 38,94 | 38,94 | 0,31 | 85,67 | 85,67 | 0,25 | 149,02 | 149,02 | 0,22 |
| 42° | 37,17 | 37,17 | 0,29 | 81,77 | 81,77 | 0,23 | 142,23 | 142,23 | 0,20 |
| 43° | 35,45 | 35,45 | 0,26 | 77,99 | 77,99 | 0,21 | 135,65 | 135,65 | 0,19 |
| 44° | 33,78 | 33,78 | 0,24 | 74,32 | 74,32 | 0,19 | 129,28 | 129,28 | 0,17 |
| 45° | 32,17 | 32,17 | 0,22 | 70,77 | 70,77 | 0,18 | 123,10 | 123,10 | 0,16 |

Preglednica: Rezultati analize za grafikon 8: Minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov $R_{B,ko}$

| $\varphi'_{1,k}$ | $h_1 = 3 \text{ m}$ | | | | |
|------------------|---|--|--|---------------------------------|-------------------------------|
| | $R_{B,ko}$ [kN/m] Predvidena porušitev | $R_{B,ko}$ [kN/m] Zdrs zač. stanje. | $R_{B,ko}$ [kN/m] Zdrs konč. stanje (λ) | $R_{B,ko}$ [kN/m] Iztisk tal | $R_{B,ko}$ [kN/m] Vgradimo |
| 20° | 250,22 | 0,00 | 232,38 | 209,66 | 250,22 |
| 21° | 243,30 | 0,00 | 212,56 | 209,66 | 243,29 |
| 22° | 236,51 | 0,00 | 193,39 | 209,66 | 236,52 |
| 23° | 229,89 | 0,00 | 174,81 | 209,66 | 229,88 |
| 24° | 223,40 | 0,00 | 156,76 | 209,66 | 223,39 |
| 25° | 217,05 | 0,00 | 139,30 | 209,66 | 217,04 |
| 26° | 210,82 | 0,00 | 122,30 | 209,66 | 210,82 |
| 27° | 204,73 | 0,00 | 118,25 | 209,66 | 209,66 |
| 28° | 198,77 | 0,00 | 125,60 | 209,66 | 209,66 |
| 29° | 192,91 | 0,00 | 131,36 | 209,66 | 209,66 |
| 30° | 187,19 | 0,00 | 135,83 | 209,66 | 209,66 |
| 31° | 181,60 | 0,00 | 139,12 | 209,66 | 209,66 |
| 32° | 176,10 | 0,00 | 141,41 | 209,66 | 209,66 |
| 33° | 170,72 | 0,00 | 142,88 | 209,66 | 209,66 |
| 34° | 165,46 | 0,00 | 143,47 | 209,66 | 209,66 |
| 35° | 160,31 | 0,00 | 143,47 | 209,66 | 209,66 |
| 36° | 155,24 | 0,00 | 142,83 | 209,66 | 209,66 |
| 37° | 150,28 | 0,00 | 141,71 | 209,66 | 209,66 |
| 38° | 145,45 | 0,00 | 140,06 | 209,66 | 209,66 |
| 39° | 140,69 | 0,00 | 138,06 | 209,66 | 209,66 |
| 40° | 136,04 | 0,00 | 135,77 | 209,66 | 209,66 |
| 41° | 131,50 | 0,00 | 133,12 | 209,66 | 209,66 |
| 42° | 127,04 | 0,00 | 130,18 | 209,66 | 209,66 |
| 43° | 122,70 | 0,00 | 127,07 | 209,66 | 209,66 |
| 44° | 118,42 | 0,00 | 123,77 | 209,66 | 209,66 |
| 45° | 114,25 | 0,00 | 120,30 | 209,66 | 209,66 |

Preglednica: Rezultati analize za grafikona 9 in 10: Minimalne kratkotrajne natezne trdnosti geosintetikov $R_{B,ko}$

| $\varphi'_{1,k}$ | $h_1 = 5,0 \text{ m}$ | | | | | $h_1 = 7,0 \text{ m}$ | | | | |
|------------------|---|---|--|---------------------------------------|----------------------------------|---|---|--|---------------------------------------|----------------------------------|
| | $R_{B,ko}$ Predvidena porušitev [kN/m] | $R_{B,ko}$ Zdrs zač. stanje. [kN/m] | $R_{B,ko}$ Zdrs konč. stanje (λ) [kN/m] | $R_{B,ko}$ Iztisk tal [kN/m] | $R_{B,ko}$ Vgradimo [kN/m] | $R_{B,ko}$ Predvidena porušitev [kN/m] | $R_{B,ko}$ Zdrs zač. stanje. [kN/m] | $R_{B,ko}$ Zdrs konč. stanje (λ) [kN/m] | $R_{B,ko}$ Iztisk tal [kN/m] | $R_{B,ko}$ Vgradimo [kN/m] |
| 20° | 631,72 | 92,26 | 333,14 | 349,44 | 631,72 | 1111,60 | 279,08 | 390,61 | 489,22 | 1111,60 |
| 21° | 616,49 | 76,10 | 289,64 | 349,44 | 616,49 | 1085,10 | 250,97 | 314,95 | 489,22 | 1085,10 |
| 22° | 601,58 | 60,44 | 247,45 | 349,44 | 601,58 | 1059,17 | 223,72 | 241,56 | 489,22 | 1059,17 |
| 23° | 586,99 | 45,24 | 206,54 | 349,44 | 586,99 | 1033,80 | 197,28 | 263,45 | 489,22 | 1033,80 |
| 24° | 572,71 | 30,50 | 186,69 | 349,44 | 572,71 | 1008,96 | 171,64 | 324,73 | 489,22 | 1008,96 |
| 25° | 558,73 | 16,20 | 216,04 | 349,44 | 558,73 | 984,64 | 146,77 | 375,78 | 489,22 | 984,64 |
| 26° | 545,04 | 2,33 | 240,32 | 349,44 | 545,04 | 960,83 | 122,65 | 418,01 | 489,22 | 960,83 |
| 27° | 531,64 | 0,00 | 260,20 | 349,44 | 531,64 | 937,52 | 99,24 | 452,58 | 489,22 | 937,52 |
| 28° | 518,52 | 0,00 | 276,25 | 349,44 | 518,52 | 914,69 | 76,53 | 480,51 | 489,22 | 914,69 |
| 29° | 505,66 | 0,00 | 288,98 | 349,44 | 505,66 | 892,33 | 54,50 | 502,66 | 489,22 | 892,33 |
| 30° | 493,07 | 0,00 | 298,81 | 349,44 | 493,07 | 870,44 | 33,12 | 519,75 | 489,22 | 870,44 |
| 31° | 480,74 | 0,00 | 306,10 | 349,44 | 480,74 | 848,99 | 12,39 | 532,42 | 489,22 | 848,99 |
| 32° | 468,67 | 0,00 | 311,16 | 349,44 | 468,67 | 827,98 | 0,00 | 541,24 | 489,22 | 827,98 |
| 33° | 456,83 | 0,00 | 314,28 | 349,44 | 456,83 | 807,40 | 0,00 | 546,67 | 489,22 | 807,40 |
| 34° | 445,25 | 0,00 | 315,70 | 349,44 | 445,25 | 787,24 | 0,00 | 549,13 | 489,22 | 787,24 |
| 35° | 433,89 | 0,00 | 315,63 | 349,44 | 433,89 | 767,50 | 0,00 | 549,00 | 489,22 | 767,50 |
| 36° | 422,78 | 0,00 | 314,24 | 349,44 | 422,78 | 748,16 | 0,00 | 546,59 | 489,22 | 748,16 |
| 37° | 411,89 | 0,00 | 311,72 | 349,44 | 411,89 | 729,22 | 0,00 | 542,20 | 489,22 | 729,22 |
| 38° | 401,22 | 0,00 | 308,19 | 349,44 | 401,22 | 710,67 | 0,00 | 536,06 | 489,22 | 710,67 |
| 39° | 390,78 | 0,00 | 303,79 | 349,44 | 390,78 | 692,51 | 0,00 | 528,42 | 489,22 | 692,51 |
| 40° | 380,55 | 0,00 | 298,64 | 349,44 | 380,55 | 674,72 | 0,00 | 519,45 | 489,22 | 674,72 |
| 41° | 370,54 | 0,00 | 292,83 | 349,44 | 370,54 | 657,31 | 0,00 | 509,34 | 489,22 | 657,31 |
| 42° | 360,75 | 0,00 | 286,45 | 349,44 | 360,75 | 640,26 | 0,00 | 498,25 | 489,22 | 640,26 |
| 43° | 351,16 | 0,00 | 279,59 | 349,44 | 351,16 | 623,59 | 0,00 | 486,31 | 489,22 | 623,59 |
| 44° | 341,77 | 0,00 | 272,31 | 349,44 | 349,44 | 607,27 | 0,00 | 473,65 | 489,22 | 607,27 |
| 45° | 332,60 | 0,00 | 264,68 | 349,44 | 349,44 | 591,30 | 0,00 | 460,39 | 489,22 | 591,30 |

Primer 2: Temelj na armiranih nadomestnih tleh

A primer: Rezultati analize: N_G = od 200 do 1000 kN/m, $\varphi'_F = 30^\circ$

Preglednica: Rezultati analize za grafikona 22 in 23: Dokaz nosilnosti prvotnih in nadomestnih tal za različno obtežbo N_G in širino temelja b

| $N_{G,k}$ [kN/m] | $N_d = E_d$ [kN/m] | $N_d \leq R_{n,d} (b)$ | | | | $N_d \leq R'_{n,d} (b = 2,0 \text{ m}; n)$ | | | | |
|---------------------|-----------------------|--|--|--|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | | $R_{n,d}$ ($b = 0,5 \text{ m}$) [kN/m] | $R_{n,d}$ ($b = 1,0 \text{ m}$) [kN/m] | $R_{n,d}$ ($b = 1,5 \text{ m}$) [kN/m] | $R_{n,d}$ ($b = 2,0 \text{ m}$) [kN/m] | $R'_{n,d}$ ($n = 2$) [kN/m] | $R'_{n,d}$ ($n = 6$) [kN/m] | $R'_{n,d}$ ($n = 7$) [kN/m] | $R'_{n,d}$ ($n = 8$) [kN/m] | $R'_{n,d}$ ($n = 9$) [kN/m] |
| 200 | 382,5 | 45,4 | 118,0 | 200,7 | 293,5 | 317,76 | 356,62 | 366,34 | 376,05 | 385,77 |
| 250 | 450,0 | 43,9 | 115,8 | 197,6 | 289,4 | 313,06 | 350,91 | 360,37 | 369,83 | 379,29 |
| 300 | 517,5 | 42,9 | 114,2 | 195,4 | 286,5 | 309,66 | 346,76 | 356,04 | 365,32 | 374,59 |
| 350 | 585,0 | 42,1 | 113,0 | 193,8 | 284,2 | 307,07 | 343,62 | 352,76 | 361,90 | 371,04 |
| 400 | 652,5 | 41,5 | 112,1 | 192,4 | 282,5 | 305,05 | 341,16 | 350,19 | 359,22 | 368,25 |
| 450 | 720,0 | 41,0 | 111,3 | 191,4 | 281,1 | 303,41 | 339,18 | 348,12 | 357,06 | 366,01 |
| 500 | 787,5 | 40,6 | 110,7 | 190,5 | 279,9 | 302,07 | 337,55 | 346,42 | 355,29 | 364,16 |
| 550 | 855,0 | 40,2 | 110,2 | 189,8 | 278,9 | 300,96 | 336,22 | 345,03 | 353,84 | 362,66 |
| 600 | 922,5 | 39,9 | 109,8 | 189,1 | 278,1 | 300,02 | 335,11 | 343,88 | 352,65 | 361,42 |
| 650 | 990,0 | 39,7 | 109,4 | 188,6 | 277,4 | 299,22 | 334,16 | 342,89 | 351,63 | 360,36 |
| 700 | 1057,5 | 39,5 | 109,0 | 188,1 | 276,8 | 298,52 | 333,33 | 342,03 | 350,74 | 359,44 |
| 750 | 1125,0 | 39,3 | 108,8 | 187,7 | 276,2 | 297,90 | 332,60 | 341,28 | 349,95 | 358,63 |
| 800 | 1192,5 | 39,1 | 108,5 | 187,4 | 275,7 | 297,36 | 331,96 | 340,61 | 349,26 | 357,91 |
| 850 | 1260,0 | 39,0 | 108,3 | 187,1 | 275,3 | 296,88 | 331,39 | 340,02 | 348,65 | 357,28 |
| 900 | 1327,5 | 38,8 | 108,1 | 186,8 | 274,9 | 296,45 | 330,88 | 339,49 | 348,10 | 356,71 |
| 950 | 1395,0 | 38,7 | 107,9 | 186,5 | 274,6 | 296,06 | 330,42 | 339,01 | 347,60 | 356,19 |
| 1000 | 1462,5 | 38,6 | 107,7 | 186,3 | 274,3 | 295,70 | 330,00 | 338,58 | 347,15 | 355,72 |

Preglednica: Nosilnost nadomestnih tal za različno obtežbo temelja N_G za $b = 2,0 \text{ m}$

| $N_{G,k}$ [kN/m] | δ_E | $\vartheta_{a,\delta}$ | $k_{d,\delta} =$ $k_{c,\delta}$ | $k_{b,\delta}$ | $t_{p,\delta}$ [m] | $n = 2$ | | | $R'_{n,d}$ [kN/m] | $n = 6$ | | | |
|---------------------|------------|------------------------|------------------------------------|----------------|-----------------------|-----------|---------------|--------|----------------------|-----------|---------------|--------|----------------------|
| | | | | | | t_p [m] | $k'_c = k'_d$ | k'_b | | t_p [m] | $k'_c = k'_d$ | k'_b | $R'_{n,d}$ [kN/m] |
| 200 | 4,16 | 66,25 | 0,45 | 0,59 | 1,70 | 0,375 | 1,08 | 1,10 | 317,76 | 0,975 | 1,20 | 1,26 | 356,62 |
| 250 | 4,40 | 66,61 | 0,44 | 0,59 | 1,70 | 0,375 | 1,08 | 1,10 | 313,06 | 0,975 | 1,20 | 1,26 | 350,91 |
| 300 | 4,57 | 66,88 | 0,43 | 0,59 | 1,70 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 309,66 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 346,76 |
| 350 | 4,71 | 67,08 | 0,43 | 0,59 | 1,70 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 307,07 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 343,62 |
| 400 | 4,81 | 67,24 | 0,43 | 0,59 | 1,70 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 305,05 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 341,16 |
| 450 | 4,90 | 67,37 | 0,42 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 303,41 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 339,18 |
| 500 | 4,97 | 67,47 | 0,42 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 302,07 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 337,55 |
| 550 | 5,03 | 67,56 | 0,42 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 300,96 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 336,22 |
| 600 | 5,08 | 67,64 | 0,42 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 300,02 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 335,11 |
| 650 | 5,12 | 67,71 | 0,42 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 299,22 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 334,16 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|--------|-------|------|------|--------|
| 700 | 5,16 | 67,76 | 0,41 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 298,52 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 333,33 |
| 750 | 5,19 | 67,81 | 0,41 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 297,90 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 332,60 |
| 800 | 5,22 | 67,86 | 0,41 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 297,36 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 331,96 |
| 850 | 5,25 | 67,90 | 0,41 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 296,88 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 331,39 |
| 900 | 5,27 | 67,93 | 0,41 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 296,45 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 330,88 |
| 950 | 5,30 | 67,97 | 0,41 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 296,06 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 330,42 |
| 1000 | 5,31 | 68,00 | 0,41 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 295,70 | 0,975 | 1,19 | 1,26 | 330,00 |

Preglednica: Nosilnost nadomestnih tal za različno obtežbo N_G za $b = 2,0$ m

| $N_{G,k}$ [kN/m] | n = 7 | | | | n = 8 | | | | n = 9 | | | |
|---------------------|-----------|---------------|--------|----------------------|-----------|---------------|--------|----------------------|-----------|---------------|--------|----------------------|
| | t_p [m] | $k'_c = k'_d$ | k'_b | $R'_{n,d}$ [kN/m] | t_p [m] | $k'_c = k'_d$ | k'_b | $R'_{n,d}$ [kN/m] | t_p [m] | $k'_c = k'_d$ | k'_b | $R'_{n,d}$ [kN/m] |
| 200 | 1,13 | 1,23 | 1,30 | 366,34 | 1,275 | 1,26 | 1,34 | 376,05 | 1,43 | 1,29 | 1,38 | 385,77 |
| 250 | 1,13 | 1,23 | 1,30 | 360,37 | 1,275 | 1,26 | 1,34 | 369,83 | 1,43 | 1,29 | 1,38 | 379,29 |
| 300 | 1,13 | 1,22 | 1,30 | 356,04 | 1,275 | 1,25 | 1,34 | 365,32 | 1,43 | 1,28 | 1,38 | 374,59 |
| 350 | 1,13 | 1,22 | 1,30 | 352,76 | 1,275 | 1,25 | 1,34 | 361,90 | 1,43 | 1,28 | 1,38 | 371,04 |
| 400 | 1,13 | 1,22 | 1,30 | 350,19 | 1,275 | 1,25 | 1,34 | 359,22 | 1,43 | 1,28 | 1,39 | 368,25 |
| 450 | 1,13 | 1,22 | 1,30 | 348,12 | 1,275 | 1,25 | 1,34 | 357,06 | 1,43 | 1,28 | 1,39 | 366,01 |
| 500 | 1,13 | 1,22 | 1,30 | 346,42 | 1,275 | 1,25 | 1,35 | 355,29 | 1,43 | 1,28 | 1,39 | 364,16 |
| 550 | 1,13 | 1,22 | 1,30 | 345,03 | 1,275 | 1,25 | 1,35 | 353,84 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 362,66 |
| 600 | 1,13 | 1,22 | 1,30 | 343,88 | 1,275 | 1,25 | 1,35 | 352,65 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 361,42 |
| 650 | 1,13 | 1,22 | 1,31 | 342,89 | 1,275 | 1,24 | 1,35 | 351,63 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 360,36 |
| 700 | 1,13 | 1,22 | 1,31 | 342,03 | 1,275 | 1,24 | 1,35 | 350,74 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 359,44 |
| 750 | 1,13 | 1,22 | 1,31 | 341,28 | 1,275 | 1,24 | 1,35 | 349,95 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 358,63 |
| 800 | 1,13 | 1,21 | 1,31 | 340,61 | 1,275 | 1,24 | 1,35 | 349,26 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 357,91 |
| 850 | 1,13 | 1,21 | 1,31 | 340,02 | 1,275 | 1,24 | 1,35 | 348,65 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 357,28 |
| 900 | 1,13 | 1,21 | 1,31 | 339,49 | 1,275 | 1,24 | 1,35 | 348,10 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 356,71 |
| 950 | 1,13 | 1,21 | 1,31 | 339,01 | 1,275 | 1,24 | 1,35 | 347,60 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 356,19 |
| 1000 | 1,13 | 1,21 | 1,31 | 338,58 | 1,275 | 1,24 | 1,35 | 347,15 | 1,43 | 1,27 | 1,39 | 355,72 |

Preglednica: Dokaz nosilnosti tal in povprečne togosti tal za različno obtežbo tal N_G in za vnaprej izbrane $R_{B,k0}$ za $b = 2,0$ m, $n = 9$ in $\lambda = 0,5$

| b = 2,0 m; n = 9; $\lambda = 0,5$ | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|---------------------------------|---|---|---|--|---|---|---|
| $N_{G,k}$ [kN/m] | $N_d \leq R'_{n,d}$ ali $N_d \leq R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ (b; n; λ ; $R_{B,k0}$) [kN/m] | | | | | $E_{s,k} \leq E'_{s,k}$ (b; n; λ ; $R_{B,k0}$) [kN/m] | | | |
| | $N_d = E_d$ [kN/m] | $R'_{n,d}$ (n = 9) [kN/m] | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ ($R_{B,k0} = 150$) [kN/m] | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ ($R_{B,k0} = 200$) [kN/m] | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ ($R_{B,k0} = 250$) [kN/m] | $E_{s,k}$ [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ ($R_{B,k0} = 150$) [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ ($R_{B,k0} = 200$) [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ ($R_{B,k0} = 250$) [kN/m ²] |
| 200 | 382,5 | 385,8 | 836,5 | 875,2 | 875,2 | 8000 | 13274,2 | 14075,5 | 14075,5 |
| 250 | 450,0 | 379,3 | 856,4 | 920,4 | 934,5 | 8000 | 13167,8 | 14516,3 | 14813,4 |
| 300 | 517,5 | 374,6 | 871,7 | 954,4 | 992,7 | 8000 | 12896,8 | 14661,6 | 15480,3 |
| 350 | 585,0 | 371,0 | 883,4 | 981,8 | 1038,8 | 8000 | 12502,9 | 14624,0 | 15851,9 |

| | | | | | | | | | |
|------|--------|-------|-------|--------|--------|------|---------|---------|---------|
| 400 | 652,5 | 368,2 | 892,8 | 1001,4 | 1076,6 | 8000 | 12024,4 | 14384,1 | 16017,7 |
| 450 | 720,0 | 366,0 | 899,8 | 1019,6 | 1105,2 | 8000 | 11470,5 | 14088,6 | 15960,8 |
| 500 | 787,5 | 364,2 | 907,1 | 1032,7 | 1130,6 | 8000 | 10904,4 | 13663,8 | 15815,1 |
| 550 | 855,0 | 362,7 | 912,8 | 1046,1 | 1151,2 | 8000 | 10287,8 | 13227,7 | 15547,2 |
| 600 | 922,5 | 361,4 | 916,3 | 1056,1 | 1171,1 | 8000 | 9609,5 | 12704,7 | 15249,2 |
| 650 | 990,0 | 360,4 | 919,9 | 1064,1 | 1184,8 | 8000 | 8924,9 | 12126,3 | 14806,9 |
| 700 | 1057,5 | 359,4 | 923,6 | 1072,2 | 1198,7 | 8000 | 8235,1 | 11542,1 | 14358,2 |
| 750 | 1125,0 | 358,6 | 927,3 | 1080,3 | 1212,6 | 8000 | 7541,1 | 10952,9 | 13904,3 |
| 800 | 1192,5 | 357,9 | 931,2 | 1087,5 | 1222,5 | 8000 | 6843,7 | 10338,3 | 13355,0 |
| 850 | 1260,0 | 357,3 | 934,4 | 1091,5 | 1230,8 | 8000 | 6127,8 | 9645,6 | 12764,9 |
| 900 | 1327,5 | 356,7 | 935,5 | 1095,5 | 1239,1 | 8000 | 5360,7 | 8949,5 | 12171,3 |
| 950 | 1395,0 | 356,2 | 936,6 | 1099,5 | 1247,5 | 8000 | 4591,2 | 8250,7 | 11574,5 |
| 1000 | 1462,5 | 355,7 | 937,7 | 1103,5 | 1255,9 | 8000 | 3819,7 | 7549,4 | 10975,1 |

Preglednica: Rezultati analize za $n = 6$ v grafikonih 26, 27, 28, 29, 30 in 31: Izračunane minimalne vrednosti $R_{B,k0}$ in λ za različno obtežbo N_G in za $n = 6$

| $N_{G,k}$ [kN/m] | $R'_{n,d}$ [kN/m] ($n = 6$) | 1 možnost: | | 2 možnost: | | $N_d \leq R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ | | $E_{s,k} \leq E'_{s,k}$ | |
|---------------------|-------------------------------------|--|-----------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | | $\min R_{B,k0}$ [kN/m] ($n = 6$) | λ ($n = 6$) | MIN λ ($n = 6$) | $R_{B,k0}$ [kN/m] ($n = 6$) | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ [kN/m] | N_d [kN/m] | $E_{s,k}$ [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ [kN/m ²] |
| 200 | 356,62 | 74,51 | 0,75 | 0,39 | 110,45 | 553,1 | 382,5 | 8000 | 8000 |
| 250 | 350,91 | 87,73 | 0,83 | 0,41 | 132,19 | 583,0 | 450,0 | 8000 | 8000 |
| 300 | 346,76 | 100,96 | 0,90 | 0,43 | 154,10 | 614,6 | 517,5 | 8000 | 8000 |
| 350 | 343,62 | 114,18 | 0,96 | 0,44 | 176,14 | 647,2 | 585,0 | 8000 | 8000 |
| 400 | 341,16 | 127,86 | 1,00 | 0,45 | 198,28 | 680,4 | 652,5 | 8000 | 8000 |
| 450 | 339,18 | 145,07 | 1,00 | 0,47 | 223,92 | 720,0 | 720,0 | 8000 | 8137,3 |
| 500 | 337,55 | 174,67 | 1,00 | 0,52 | 265,97 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8929,9 |
| 550 | 336,22 | 204,11 | 1,00 | 0,56 | 308,07 | 855,0 | 855,0 | 8000 | 9721,7 |
| 600 | 335,11 | 233,44 | 1,00 | 0,59 | 350,22 | 922,5 | 922,5 | 8000 | 10512,6 |
| 650 | 334,16 | 265,36 | 1,00 | 0,62 | 392,44 | 990,0 | 990,0 | 8000 | 11303,5 |
| 700 | 333,33 | 298,62 | 1,00 | 0,65 | 434,71 | 1057,5 | 1057,5 | 8000 | 12094,4 |
| 750 | 332,60 | 331,81 | 1,00 | 0,67 | 477,03 | 1125,0 | 1125,0 | 8000 | 12885,3 |
| 800 | 331,96 | 364,94 | 1,00 | 0,70 | 519,40 | 1192,5 | 1192,5 | 8000 | 13676,2 |
| 850 | 331,39 | 398,03 | 1,00 | 0,72 | 561,80 | 1260,0 | 1260,0 | 8000 | 14467,1 |
| 900 | 330,88 | 431,07 | 1,00 | 0,73 | 604,23 | 1327,5 | 1327,5 | 8000 | 15258,0 |
| 950 | 330,42 | 464,83 | 1,00 | 0,75 | 646,70 | 1395,0 | 1395,0 | 8000 | 16048,9 |
| 1000 | 330,00 | 502,40 | 1,00 | 0,77 | 689,20 | 1462,5 | 1462,5 | 8000 | 16839,8 |

Preglednica: Rezultati analize za $n = 7$ v grafikonih 26, 27, 28, 29, 30 in 31: Izračunane minimalne vrednosti $R_{B,k0}$ in λ za različno obtežbo N_G in za $n = 7$

| $N_{G,k}$ | $R'_{n,d}$ | 1 možnost: | | 2 možnost: | | $N_d \leq R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ | | $E_{s,k} \leq E'_{s,k}$ | |
|-----------|------------|-----------------|-----------------------|---------------|------------|--------------------------------------|-------|-------------------------|------------|
| | | $\min R_{B,k0}$ | λ ($n = 7$) | MIN λ | $R_{B,k0}$ | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ | N_d | $E_{s,k}$ | $E'_{s,k}$ |

| [kN/m] | [kN/m] (n = 7) | [kN/m] (n = 7) | | (n = 7) | [kN/m] (n = 7) | [kN/m] | [kN/m] | [kN/m ²] | [kN/m ²] |
|--------|-------------------|-------------------|------|---------|-------------------|--------|--------|----------------------|----------------------|
| 200 | 366,34 | 63,87 | 0,64 | 0,30 | 97,58 | 562,8 | 382,5 | 8000 | 8000 |
| 250 | 360,37 | 75,20 | 0,71 | 0,32 | 116,72 | 592,5 | 450,0 | 8000 | 8000 |
| 300 | 356,04 | 86,53 | 0,77 | 0,33 | 135,99 | 623,9 | 517,5 | 8000 | 8000 |
| 350 | 352,76 | 97,87 | 0,82 | 0,34 | 155,36 | 656,3 | 585,0 | 8000 | 8000 |
| 400 | 350,19 | 109,20 | 0,87 | 0,35 | 174,81 | 689,5 | 652,5 | 8000 | 8000 |
| 450 | 348,12 | 120,54 | 0,92 | 0,36 | 194,31 | 723,1 | 720,0 | 8000 | 8000 |
| 500 | 346,42 | 142,24 | 1,00 | 0,39 | 229,67 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8701,2 |
| 550 | 345,03 | 166,80 | 1,00 | 0,42 | 266,67 | 855,0 | 855,0 | 8000 | 9473,3 |
| 600 | 343,88 | 191,25 | 1,00 | 0,45 | 303,70 | 922,5 | 922,5 | 8000 | 10244,4 |
| 650 | 342,89 | 215,63 | 1,00 | 0,47 | 340,77 | 990,0 | 990,0 | 8000 | 11015,6 |
| 700 | 342,03 | 239,95 | 1,00 | 0,49 | 377,87 | 1057,5 | 1057,5 | 8000 | 11786,7 |
| 750 | 341,28 | 264,22 | 1,00 | 0,51 | 415,01 | 1125,0 | 1125,0 | 8000 | 12557,8 |
| 800 | 340,61 | 288,45 | 1,00 | 0,53 | 452,17 | 1192,5 | 1192,5 | 8000 | 13328,9 |
| 850 | 340,02 | 314,56 | 1,00 | 0,54 | 489,36 | 1260,0 | 1260,0 | 8000 | 14100,0 |
| 900 | 339,49 | 341,00 | 1,00 | 0,55 | 526,58 | 1327,5 | 1327,5 | 8000 | 14871,1 |
| 950 | 339,01 | 367,42 | 1,00 | 0,57 | 563,81 | 1395,0 | 1395,0 | 8000 | 15642,2 |
| 1000 | 338,58 | 393,81 | 1,00 | 0,58 | 601,06 | 1462,5 | 1462,5 | 8000 | 16413,3 |

Preglednica: Rezultati analize za $n = 8$ v grafikonih 26, 27, 28, 29, 30 in 31: Izračunane minimalne vrednosti $R_{B,k0}$ in λ za različno obtežbo N_G in $n = 8$

| $N_{G,k}$ [kN/m] | $R'_{n,d}$ [kN/m] (n = 8) | 1 možnost: | | 2 možnost: | | $N_d \leq R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ | | $E_{s,k} \leq E'_{s,k}$ | |
|---------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | | $\min R_{B,k0}$ [kN/m] (n = 8) | λ (n = 8) | MIN λ (n = 8) | $R_{B,k0}$ [kN/m] (n = 8) | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ [kN/m] | N_d [kN/m] | $E_{s,k}$ [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ [kN/m ²] |
| 200 | 376,05 | 55,88 | 0,56 | 0,24 | 87,52 | 572,5 | 382,5 | 8000 | 8000 |
| 250 | 369,83 | 65,80 | 0,62 | 0,26 | 104,61 | 602,0 | 450,0 | 8000 | 8000 |
| 300 | 365,32 | 75,72 | 0,67 | 0,26 | 121,81 | 633,2 | 517,5 | 8000 | 8000 |
| 350 | 361,90 | 85,63 | 0,72 | 0,27 | 139,09 | 665,5 | 585,0 | 8000 | 8000 |
| 400 | 359,22 | 95,55 | 0,76 | 0,28 | 156,43 | 698,5 | 652,5 | 8000 | 8000 |
| 450 | 357,06 | 105,47 | 0,80 | 0,28 | 173,81 | 732,1 | 720,0 | 8000 | 8000 |
| 500 | 355,29 | 121,43 | 0,88 | 0,30 | 201,23 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8484,0 |
| 550 | 353,84 | 140,66 | 0,97 | 0,33 | 234,25 | 855,0 | 855,0 | 8000 | 9237,3 |
| 600 | 352,65 | 161,12 | 1,00 | 0,35 | 267,27 | 922,5 | 922,5 | 8000 | 9989,6 |
| 650 | 351,63 | 182,03 | 1,00 | 0,37 | 300,32 | 990,0 | 990,0 | 8000 | 10741,9 |
| 700 | 350,74 | 202,88 | 1,00 | 0,38 | 333,39 | 1057,5 | 1057,5 | 8000 | 11494,2 |
| 750 | 349,95 | 223,70 | 1,00 | 0,40 | 366,48 | 1125,0 | 1125,0 | 8000 | 12246,5 |
| 800 | 349,26 | 244,48 | 1,00 | 0,41 | 399,59 | 1192,5 | 1192,5 | 8000 | 12998,8 |
| 850 | 348,65 | 265,23 | 1,00 | 0,42 | 432,71 | 1260,0 | 1260,0 | 8000 | 13751,1 |
| 900 | 348,10 | 285,95 | 1,00 | 0,43 | 465,85 | 1327,5 | 1327,5 | 8000 | 14503,4 |
| 950 | 347,60 | 306,65 | 1,00 | 0,44 | 499,00 | 1395,0 | 1395,0 | 8000 | 15255,6 |
| 1000 | 347,15 | 327,34 | 1,00 | 0,45 | 532,16 | 1462,5 | 1462,5 | 8000 | 16007,9 |

Preglednica: Rezultati analize za $n = 9$ v grafikonih 26, 27, 28, 29, 30 in 31: Izračunane minimalne vrednosti $R_{B,k0}$ in λ za različno obtežbo N_G in $n = 9$

| $N_{G,k}$ [kN/m] | $R'_{n,d}$ [kN/m] ($n = 9$) | 1 možnost: | | 2 možnost: | | $N_d \leq R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ | | $E_{s,k} \leq E'_{s,k}$ | |
|---------------------|-------------------------------------|--|-----------------------|------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | | $\min R_{B,k0}$ [kN/m] ($n = 9$) | λ ($n = 9$) | MIN λ ($n = 9$) | $R_{B,k0}$ [kN/m] ($n = 9$) | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ [kN/m] | N_d [kN/m] | $E_{s,k}$ [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ [kN/m ²] |
| 200 | 385,77 | 49,67 | 0,50 | 0,20 | 79,40 | 582,2 | 382,5 | 8000 | 8000 |
| 250 | 379,29 | 58,49 | 0,55 | 0,21 | 94,85 | 611,4 | 450 | 8000 | 8000 |
| 300 | 374,59 | 67,30 | 0,60 | 0,22 | 110,38 | 642,5 | 517,5 | 8000 | 8000 |
| 350 | 371,04 | 76,12 | 0,64 | 0,22 | 125,98 | 674,6 | 585 | 8000 | 8000 |
| 400 | 368,25 | 84,94 | 0,68 | 0,23 | 141,62 | 707,5 | 652,5 | 8000 | 8000 |
| 450 | 366,01 | 93,75 | 0,71 | 0,23 | 157,29 | 741,0 | 720 | 8000 | 8000 |
| 500 | 364,16 | 105,72 | 0,77 | 0,24 | 178,31 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8277,4 |
| 550 | 362,66 | 122,84 | 0,85 | 0,26 | 208,13 | 855,0 | 855 | 8000 | 9012,8 |
| 600 | 361,42 | 139,87 | 0,93 | 0,28 | 237,94 | 922,5 | 922,5 | 8000 | 9747,2 |
| 650 | 360,36 | 156,86 | 1,00 | 0,29 | 267,75 | 990,0 | 990 | 8000 | 10481,5 |
| 700 | 359,44 | 175,09 | 1,00 | 0,31 | 297,59 | 1057,5 | 1057,5 | 8000 | 11215,9 |
| 750 | 358,63 | 193,31 | 1,00 | 0,32 | 327,43 | 1125,0 | 1125 | 8000 | 11950,3 |
| 800 | 357,91 | 211,50 | 1,00 | 0,33 | 357,28 | 1192,5 | 1192,5 | 8000 | 12684,6 |
| 850 | 357,28 | 229,66 | 1,00 | 0,34 | 387,14 | 1260,0 | 1260 | 8000 | 13419,0 |
| 900 | 356,71 | 247,80 | 1,00 | 0,35 | 417,01 | 1327,5 | 1327,5 | 8000 | 14153,3 |
| 950 | 356,19 | 265,92 | 1,00 | 0,35 | 446,89 | 1395,0 | 1395 | 8000 | 14887,7 |
| 1000 | 355,72 | 284,02 | 1,00 | 0,36 | 476,78 | 1462,5 | 1462,5 | 8000 | 15622,1 |

Rezultati analize za primer B: $N_G = 500$ kN/m, $\varphi'_F = 20^\circ$ do 45°

Preglednica: Rezultati analize za grafikona 32, 33: Dokaz nosilnosti prvotnih tal in dokaz nosilnosti nadomestnih tal za različne strižne kote φ'_1 in za φ'_F

| φ'_1 | $N_d \leq R_{n,d} (b)$ [kN/m] | | | | | φ'_1 / φ'_F | $N_d \leq R'_{n,d} (b = 2,0 \text{ m}; n)$ [kN/m] | | | | |
|--------------|-------------------------------|--|--|--|--|---------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | $N_d = E_d$ [kN/m] | $R_{n,d}$ ($b=0,5\text{m}$) [kN/m] | $R_{n,d}$ ($b=1,0\text{m}$) [kN/m] | $R_{n,d}$ ($b=1,5\text{m}$) [kN/m] | $R_{n,d}$ ($b=2,0\text{m}$) [kN/m] | | $R'_{n,d}$ ($n = 2$) [kN/m] | $R'_{n,d}$ ($n = 6$) [kN/m] | $R'_{n,d}$ ($n = 7$) [kN/m] | $R'_{n,d}$ ($n = 8$) [kN/m] | $R'_{n,d}$ ($n = 9$) [kN/m] |
| 20° | 787,50 | 40,57 | 110,72 | 190,50 | 279,90 | 20°/20° | 279,90 | 279,90 | 279,90 | 279,90 | 279,90 |
| 21° | 787,50 | 44,46 | 122,05 | 211,05 | 311,46 | 20°/21° | 284,15 | 290,96 | 292,66 | 294,37 | 295,75 |
| 22° | 787,50 | 48,79 | 134,75 | 234,19 | 347,14 | 20°/22° | 287,02 | 298,41 | 301,26 | 304,10 | 306,95 |
| 23° | 787,50 | 53,63 | 149,00 | 260,30 | 387,52 | 20°/23° | 289,40 | 304,61 | 308,42 | 312,22 | 316,02 |
| 24° | 787,50 | 59,04 | 165,05 | 289,81 | 433,34 | 20°/24° | 291,50 | 310,07 | 314,71 | 319,35 | 323,99 |
| 25° | 787,50 | 65,10 | 183,15 | 323,25 | 485,41 | 20°/25° | 293,42 | 315,06 | 320,47 | 325,88 | 331,29 |
| 26° | 787,50 | 71,92 | 203,60 | 361,20 | 544,73 | 20°/26° | 295,24 | 319,79 | 325,92 | 332,06 | 338,20 |
| 27° | 787,50 | 79,60 | 226,78 | 404,40 | 612,44 | 20°/27° | 296,99 | 324,35 | 331,19 | 338,03 | 344,86 |
| 28° | 787,50 | 88,27 | 253,11 | 453,66 | 689,93 | 20°/28° | 298,71 | 328,81 | 336,33 | 343,86 | 351,38 |
| 29° | 787,50 | 98,08 | 283,08 | 509,99 | 778,81 | 20°/29° | 300,40 | 333,20 | 341,40 | 349,61 | 357,81 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 30° | 787,50 | 109,22 | 317,31 | 574,58 | 881,03 | 20°/30° | 302,07 | 337,55 | 346,42 | 355,29 | 364,16 |
| 31° | 787,50 | 121,89 | 356,49 | 648,82 | 998,90 | 20°/31° | 303,73 | 341,86 | 351,39 | 360,92 | 370,46 |
| 32° | 787,50 | 136,36 | 401,47 | 734,41 | 1135,20 | 20°/32° | 305,38 | 346,15 | 356,34 | 366,53 | 376,72 |
| 33° | 787,50 | 152,91 | 453,27 | 833,39 | 1293,28 | 20°/33° | 307,13 | 350,71 | 361,61 | 372,50 | 383,40 |
| 34° | 787,50 | 171,93 | 513,11 | 948,20 | 1477,20 | 20°/34° | 308,79 | 355,01 | 366,57 | 378,12 | 389,68 |
| 35° | 787,50 | 193,83 | 582,48 | 1081,82 | 1691,87 | 20°/35° | 310,56 | 359,63 | 371,90 | 384,16 | 396,43 |
| 36° | 787,50 | 219,16 | 663,16 | 1237,87 | 1943,30 | 20°/36° | 312,49 | 364,64 | 377,67 | 390,71 | 403,75 |
| 37° | 787,50 | 248,54 | 757,35 | 1420,78 | 2238,86 | 20°/37° | 314,55 | 369,99 | 383,85 | 397,71 | 411,57 |
| 38° | 787,50 | 282,76 | 867,73 | 1636,01 | 2587,63 | 20°/38° | 316,74 | 375,69 | 390,43 | 405,17 | 419,91 |
| 39° | 787,50 | 322,77 | 997,61 | 1890,30 | 3000,85 | 20°/39° | 319,18 | 382,03 | 397,75 | 413,46 | 429,17 |
| 40° | 787,50 | 369,75 | 1151,10 | 2192,01 | 3492,51 | 20°/40° | 323,96 | 394,47 | 412,10 | 429,72 | 447,35 |
| 41° | 787,50 | 425,17 | 1333,31 | 2551,62 | 4080,14 | 20°/41° | 326,08 | 399,96 | 418,44 | 436,91 | 455,38 |
| 42° | 787,50 | 490,85 | 1550,63 | 2982,27 | 4785,82 | 20°/42° | 327,45 | 403,53 | 422,55 | 441,57 | 460,59 |
| 43° | 787,50 | 569,06 | 1811,15 | 3500,61 | 5637,52 | 20°/43° | 328,45 | 406,13 | 425,56 | 444,98 | 464,40 |
| 44° | 787,50 | 662,69 | 2125,11 | 4127,84 | 6670,95 | 20°/44° | 329,33 | 408,42 | 428,19 | 447,97 | 467,74 |
| 45° | 787,50 | 775,42 | 2505,64 | 4891,13 | 7931,99 | 20°/45° | 330,24 | 410,80 | 430,94 | 451,08 | 471,22 |

Preglednica: Nosilnost nadomestnih tal za različne strižne kote nadomestnih tal φ'_F

| φ'/φ'_F | $\vartheta_{a,\delta}$ | $k_{d,\delta} = k_{c,\delta}$ | $k_{b,\delta}$ | $t_{p,\delta}$ [m] | n = 2 | | | | n = 6 | | | |
|-----------------------|------------------------|-------------------------------|----------------|--------------------|-----------|---------------|--------|-------------------|-----------|---------------|--------|-------------------|
| | | | | | t_p [m] | $k'_c = k'_d$ | k'_b | $R'_{n,d}$ [kN/m] | t_p [m] | $k'_c = k'_d$ | k'_b | $R'_{n,d}$ [kN/m] |
| 20°/20° | 64,82 | 0,00 | 0,00 | 1,37 | 0,375 | 1,00 | 1,00 | 279,9 | 0,98 | 1,00 | 1,00 | 279,90 |
| 20°/21° | 64,98 | 0,08 | 0,08 | 1,40 | 0,375 | 1,02 | 1,02 | 284,2 | 0,98 | 1,04 | 1,04 | 290,96 |
| 20°/22° | 65,17 | 0,13 | 0,16 | 1,43 | 0,375 | 1,02 | 1,03 | 287,0 | 0,98 | 1,06 | 1,08 | 298,41 |
| 20°/23° | 65,39 | 0,17 | 0,23 | 1,46 | 0,375 | 1,03 | 1,04 | 289,4 | 0,98 | 1,08 | 1,11 | 304,61 |
| 20°/24° | 65,63 | 0,21 | 0,29 | 1,49 | 0,375 | 1,04 | 1,05 | 291,5 | 0,98 | 1,10 | 1,14 | 310,07 |
| 20°/25° | 65,90 | 0,24 | 0,35 | 1,52 | 0,375 | 1,04 | 1,06 | 293,4 | 0,98 | 1,11 | 1,17 | 315,06 |
| 20°/26° | 66,18 | 0,28 | 0,41 | 1,56 | 0,375 | 1,05 | 1,07 | 295,2 | 0,98 | 1,13 | 1,19 | 319,79 |
| 20°/27° | 66,49 | 0,31 | 0,46 | 1,59 | 0,375 | 1,06 | 1,08 | 297,0 | 0,98 | 1,14 | 1,21 | 324,35 |
| 20°/28° | 66,80 | 0,35 | 0,50 | 1,62 | 0,375 | 1,06 | 1,09 | 298,7 | 0,98 | 1,16 | 1,23 | 328,81 |
| 20°/29° | 67,13 | 0,38 | 0,55 | 1,66 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 300,4 | 0,98 | 1,17 | 1,25 | 333,20 |
| 20°/30° | 67,47 | 0,42 | 0,59 | 1,69 | 0,375 | 1,07 | 1,10 | 302,1 | 0,98 | 1,19 | 1,26 | 337,55 |
| 20°/31° | 67,83 | 0,46 | 0,62 | 1,73 | 0,375 | 1,08 | 1,11 | 303,7 | 0,98 | 1,20 | 1,28 | 341,86 |
| 20°/32° | 68,19 | 0,50 | 0,66 | 1,77 | 0,375 | 1,08 | 1,11 | 305,4 | 0,98 | 1,22 | 1,29 | 346,15 |
| 20°/33° | 68,56 | 0,54 | 0,70 | 1,81 | 0,375 | 1,09 | 1,12 | 307,1 | 0,98 | 1,24 | 1,31 | 350,71 |
| 20°/34° | 68,94 | 0,58 | 0,74 | 1,85 | 0,375 | 1,10 | 1,12 | 308,8 | 0,98 | 1,25 | 1,32 | 355,01 |
| 20°/35° | 69,33 | 0,62 | 0,78 | 1,89 | 0,375 | 1,10 | 1,13 | 310,6 | 0,98 | 1,27 | 1,34 | 359,63 |
| 20°/36° | 69,72 | 0,66 | 0,83 | 1,93 | 0,375 | 1,11 | 1,14 | 312,5 | 0,98 | 1,29 | 1,36 | 364,64 |
| 20°/37° | 70,12 | 0,70 | 0,90 | 1,97 | 0,375 | 1,12 | 1,15 | 314,5 | 0,98 | 1,30 | 1,39 | 369,99 |
| 20°/38° | 70,53 | 0,74 | 0,96 | 2,02 | 0,375 | 1,12 | 1,16 | 316,7 | 0,98 | 1,32 | 1,41 | 375,69 |
| 20°/39° | 70,94 | 0,78 | 1,01 | 2,06 | 0,375 | 1,13 | 1,17 | 319,2 | 0,98 | 1,34 | 1,44 | 382,03 |
| 20°/40° | 71,36 | 0,82 | 1,10 | 2,11 | 0,375 | 1,15 | 1,20 | 324,0 | 0,98 | 1,38 | 1,51 | 394,47 |
| 20°/41° | 71,78 | 0,86 | 1,25 | 2,16 | 0,375 | 1,15 | 1,22 | 326,1 | 0,98 | 1,39 | 1,56 | 399,96 |

| | | [kN/m] | kN/m [kN/m] | kN/m [kN/m] | kN/m [kN/m] | | 100 kN/m [kN/m ²] | 150 kN/m [kN/m ²] | 200 kN/m [kN/m ²] |
|---------|-------|--------|----------------|----------------|----------------|------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 20°/20° | 787,5 | 279,9 | 641,8 | 763,4 | 841,6 | 8000 | 6605,0 | 10080,5 | 12316,3 |
| 20°/21° | 787,5 | 295,7 | 660,6 | 786,0 | 871,3 | 8000 | 6759,4 | 10151,0 | 12457,7 |
| 20°/22° | 787,5 | 307,0 | 674,0 | 804,1 | 896,4 | 8000 | 6862,9 | 10253,5 | 12657,8 |
| 20°/23° | 787,5 | 316,0 | 685,5 | 820,3 | 918,6 | 8000 | 6956,7 | 10369,2 | 12856,7 |
| 20°/24° | 787,5 | 324,0 | 696,1 | 835,6 | 937,0 | 8000 | 7045,8 | 10490,5 | 12994,5 |
| 20°/25° | 787,5 | 331,3 | 706,1 | 848,5 | 954,8 | 8000 | 7131,9 | 10570,6 | 13139,0 |
| 20°/26° | 787,5 | 338,2 | 715,8 | 860,3 | 972,4 | 8000 | 7216,0 | 10635,1 | 13285,7 |
| 20°/27° | 787,5 | 344,9 | 725,3 | 872,0 | 989,7 | 8000 | 7298,4 | 10701,6 | 13431,5 |
| 20°/28° | 787,5 | 351,4 | 734,8 | 883,7 | 1004,0 | 8000 | 7379,4 | 10769,0 | 13508,4 |
| 20°/29° | 787,5 | 357,8 | 742,8 | 895,4 | 1018,4 | 8000 | 7425,5 | 10836,7 | 13586,0 |
| 20°/30° | 787,5 | 364,2 | 750,8 | 907,1 | 1032,7 | 8000 | 7470,9 | 10904,4 | 13663,8 |
| 20°/31° | 787,5 | 370,5 | 758,8 | 918,8 | 1047,0 | 8000 | 7516,0 | 10971,7 | 13741,4 |
| 20°/32° | 787,5 | 376,7 | 766,7 | 929,0 | 1061,4 | 8000 | 7560,6 | 11006,6 | 13818,3 |
| 20°/33° | 787,5 | 383,4 | 775,2 | 939,3 | 1076,3 | 8000 | 7605,1 | 11028,7 | 13887,7 |
| 20°/34° | 787,5 | 389,7 | 783,3 | 949,2 | 1089,0 | 8000 | 7648,5 | 11054,3 | 13925,4 |
| 20°/35° | 787,5 | 396,4 | 791,9 | 959,6 | 1101,7 | 8000 | 7691,7 | 11076,5 | 13943,7 |
| 20°/36° | 787,5 | 403,7 | 801,1 | 970,6 | 1115,0 | 8000 | 7734,4 | 11094,5 | 13954,1 |
| 20°/37° | 787,5 | 411,6 | 810,8 | 982,2 | 1128,8 | 8000 | 7776,4 | 11109,0 | 13958,0 |
| 20°/38° | 787,5 | 419,9 | 821,0 | 994,4 | 1143,2 | 8000 | 7817,6 | 11120,0 | 13955,4 |
| 20°/39° | 787,5 | 429,2 | 832,3 | 1007,5 | 1158,6 | 8000 | 7857,9 | 11124,5 | 13941,1 |
| 20°/40° | 787,5 | 447,4 | 852,4 | 1029,6 | 1183,0 | 8000 | 7899,1 | 11067,3 | 13810,4 |
| 20°/41° | 787,5 | 455,4 | 862,5 | 1041,6 | 1197,3 | 8000 | 7936,0 | 11082,4 | 13817,7 |
| 20°/42° | 787,5 | 460,6 | 869,7 | 1050,7 | 1208,8 | 8000 | 7971,8 | 11116,7 | 13861,4 |
| 20°/43° | 787,5 | 464,4 | 875,2 | 1058,1 | 1218,3 | 8000 | 8001,9 | 11152,6 | 13912,7 |
| 20°/44° | 787,5 | 467,7 | 879,4 | 1063,9 | 1226,1 | 8000 | 8016,2 | 11171,8 | 13945,7 |
| 20°/45° | 787,5 | 471,2 | 883,7 | 1069,8 | 1234,0 | 8000 | 8030,2 | 11190,1 | 13977,2 |

Preglednica: Rezultati analize za $n = 6$ v grafikonih 36, 37, 38, 38, 39 in 40: Izračunane minimalne vrednosti $R_{B,k0}$ in λ za različne strižne kote nadomestnih tal φ'_F in $n = 6$

| φ'/φ'_F | 1 možnost: | | 2 možnost: | | $N_d \leq R_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ | | $E_{s,k} \leq E'_{s,k}$ | |
|-----------------------|--|----------------|---------------|--|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | $\min R_{B,k0}$ (λ ; $n = 6$) [kN/m] | $\lambda \geq$ | MIN λ | $R_{B,k0}$ ($\min \lambda$; $n=6$) [kN/m] | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ [kN/m] | N_d [kN/m] | $E_{s,k}$ [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ [kN/m ²] |
| 20°/20° | 237,61 | 1,00 | 0,86 | 302,67 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 10769,3 |
| 20°/21° | 222,68 | 1,00 | 0,80 | 296,49 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 10359,8 |
| 20°/22° | 211,55 | 1,00 | 0,75 | 292,24 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 10101,2 |
| 20°/23° | 205,24 | 1,00 | 0,71 | 288,54 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 9895,4 |
| 20°/24° | 199,25 | 1,00 | 0,68 | 285,14 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 9721,4 |
| 20°/25° | 193,43 | 1,00 | 0,64 | 281,89 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 9567,3 |
| 20°/26° | 187,70 | 1,00 | 0,61 | 278,70 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 9425,9 |

| | | | | | | | | |
|---------|--------|------|------|--------|--------|-------|------|--------|
| 20°/27° | 184,22 | 1,00 | 0,59 | 275,53 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 9293,4 |
| 20°/28° | 181,04 | 1,00 | 0,56 | 272,35 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 9167,3 |
| 20°/29° | 177,86 | 1,00 | 0,54 | 269,17 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 9046,4 |
| 20°/30° | 174,67 | 1,00 | 0,52 | 265,97 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8929,9 |
| 20°/31° | 171,48 | 1,00 | 0,49 | 262,76 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8817,3 |
| 20°/32° | 168,27 | 1,00 | 0,48 | 259,54 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8708,1 |
| 20°/33° | 164,93 | 1,00 | 0,46 | 256,14 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8594,7 |
| 20°/34° | 161,70 | 1,00 | 0,44 | 252,88 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8490,7 |
| 20°/35° | 158,82 | 0,98 | 0,42 | 249,43 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8381,7 |
| 20°/36° | 156,65 | 0,94 | 0,41 | 245,75 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8266,5 |
| 20°/37° | 154,35 | 0,90 | 0,39 | 241,88 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8147,0 |
| 20°/38° | 151,93 | 0,86 | 0,38 | 237,81 | 787,5 | 787,5 | 8000 | 8023,3 |
| 20°/39° | 151,21 | 0,84 | 0,37 | 236,41 | 792,75 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/40° | 150,89 | 0,81 | 0,36 | 235,63 | 805,18 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/41° | 150,58 | 0,79 | 0,35 | 234,84 | 810,68 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/42° | 150,27 | 0,77 | 0,34 | 234,05 | 814,24 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/43° | 149,96 | 0,74 | 0,33 | 233,26 | 816,85 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/44° | 149,65 | 0,72 | 0,32 | 232,46 | 819,13 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/45° | 149,35 | 0,70 | 0,32 | 231,66 | 821,52 | 787,5 | 8000 | 8000 |

Preglednica: Rezultati analize za $n = 7$ v grafikonih 36, 37, 38, 38, 39 in 40: Izračunane minimalne vrednosti $R_{B,k0}$ in λ za različne strižne kote nadomestnih tal φ'_F in $n = 7$

| φ'/φ'_F | 1 možnost: | | 2 možnost: | | $N_d \leq R_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ | | $E_{s,k} \leq E'_{s,k}$ | |
|-----------------------|---|----------------|---------------|---|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | $\min R_{B,k0}$ ($\lambda; n = 7$) [kN/m] | $\lambda \geq$ | MIN λ | $R_{B,k0}$ ($\min \lambda; n = 7$) [kN/m] | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ [kN/m] | N_d [kN/m] | $E_{s,k}$ [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ [kN/m ²] |
| 20°/20° | 181,73 | 1,00 | 0,66 | 266,52 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 10769,3 |
| 20°/21° | 173,97 | 1,00 | 0,61 | 260,19 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 10299,5 |
| 20°/22° | 167,95 | 1,00 | 0,58 | 255,84 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 10005,7 |
| 20°/23° | 162,93 | 1,00 | 0,54 | 252,09 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 9773,4 |
| 20°/24° | 159,80 | 1,00 | 0,52 | 248,66 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 9578,1 |
| 20°/25° | 156,79 | 1,00 | 0,49 | 245,41 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 9405,7 |
| 20°/26° | 153,85 | 1,00 | 0,47 | 242,24 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 9248,4 |
| 20°/27° | 150,94 | 1,00 | 0,44 | 239,09 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 9101,5 |
| 20°/28° | 148,04 | 1,00 | 0,42 | 235,96 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 8962,2 |
| 20°/29° | 145,14 | 1,00 | 0,41 | 232,82 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 8829,1 |
| 20°/30° | 142,24 | 1,00 | 0,39 | 229,67 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 8701,2 |
| 20°/31° | 139,79 | 0,98 | 0,37 | 226,52 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 8578,1 |
| 20°/32° | 137,97 | 0,94 | 0,36 | 223,37 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 8459,1 |
| 20°/33° | 136,03 | 0,90 | 0,34 | 220,04 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 8335,8 |
| 20°/34° | 134,19 | 0,86 | 0,33 | 216,86 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 8223,0 |
| 20°/35° | 132,23 | 0,82 | 0,32 | 213,49 | 787,50 | 787,5 | 8000 | 8105,2 |
| 20°/36° | 130,41 | 0,78 | 0,30 | 210,34 | 788,39 | 787,5 | 8000 | 8000 |

| | | | | | | | | |
|---------|--------|------|------|--------|--------|-------|------|------|
| 20°/37° | 130,14 | 0,76 | 0,30 | 209,69 | 794,56 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/38° | 129,88 | 0,74 | 0,29 | 209,03 | 801,14 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/39° | 129,61 | 0,72 | 0,28 | 208,37 | 808,46 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/40° | 129,34 | 0,70 | 0,27 | 207,69 | 822,81 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/41° | 129,07 | 0,68 | 0,27 | 207,02 | 829,15 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/42° | 128,80 | 0,66 | 0,26 | 206,33 | 833,27 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/43° | 128,54 | 0,64 | 0,26 | 205,65 | 836,27 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/44° | 128,28 | 0,62 | 0,25 | 204,96 | 838,91 | 787,5 | 8000 | 8000 |
| 20°/45° | 128,02 | 0,60 | 0,24 | 204,27 | 841,66 | 787,5 | 8000 | 8000 |

Preglednica: Rezultati analize za $n = 8$ v grafikonih 36, 37, 38, 38, 39 in 40: Izračunane minimalne vrednosti $R_{B,k0}$ in λ za različne strižne kote nadomestnih tal φ'_F in $n = 8$

| φ'/φ'_F | 1 možnost: | | 2 možnost: | | $N_d \leq R_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ | | $E_{s,k} \leq E'_{s,k}$ | |
|-----------------------|---|-----------|---------------|---|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | $\min R_{B,k0}$ ($\lambda; n = 8$) [kN/m] | λ | MIN λ | $R_{B,k0}$ ($\min \lambda; n = 8$) [kN/m] | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ [kN/m] | N_d [kN/m] | $E_{s,k}$ [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ [kN/m ²] |
| 20°/20° | 151,44 | 1,00 | 0,52 | 238,23 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 10769,3 |
| 20°/21° | 145,28 | 1,00 | 0,48 | 231,77 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 10239,9 |
| 20°/22° | 141,63 | 1,00 | 0,45 | 227,35 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 9912,0 |
| 20°/23° | 138,43 | 1,00 | 0,43 | 223,55 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 9654,4 |
| 20°/24° | 135,47 | 1,00 | 0,40 | 220,11 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 9438,9 |
| 20°/25° | 132,65 | 1,00 | 0,38 | 216,85 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 9249,6 |
| 20°/26° | 129,89 | 1,00 | 0,36 | 213,68 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 9077,5 |
| 20°/27° | 127,17 | 1,00 | 0,35 | 210,55 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8917,3 |
| 20°/28° | 124,99 | 0,97 | 0,33 | 207,44 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8766,1 |
| 20°/29° | 123,21 | 0,92 | 0,32 | 204,34 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8622,0 |
| 20°/30° | 121,43 | 0,88 | 0,30 | 201,23 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8484,0 |
| 20°/31° | 119,65 | 0,84 | 0,29 | 198,13 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8351,6 |
| 20°/32° | 117,87 | 0,80 | 0,28 | 195,03 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8223,8 |
| 20°/33° | 115,98 | 0,76 | 0,26 | 191,75 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8092,0 |
| 20°/34° | 114,56 | 0,73 | 0,25 | 189,24 | 788,84 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/35° | 114,34 | 0,71 | 0,25 | 188,70 | 794,88 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/36° | 114,11 | 0,69 | 0,24 | 188,14 | 801,43 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/37° | 113,88 | 0,67 | 0,23 | 187,57 | 808,42 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/38° | 113,64 | 0,65 | 0,23 | 187,00 | 815,88 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/39° | 113,41 | 0,63 | 0,22 | 186,41 | 824,17 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/40° | 113,17 | 0,61 | 0,22 | 185,82 | 840,44 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/41° | 112,93 | 0,59 | 0,21 | 185,23 | 847,62 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/42° | 112,70 | 0,57 | 0,21 | 184,63 | 852,29 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/43° | 112,47 | 0,56 | 0,20 | 184,03 | 855,69 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/44° | 112,24 | 0,54 | 0,20 | 183,43 | 858,68 | 787,50 | 8000 | 8000 |
| 20°/45° | 112,02 | 0,53 | 0,19 | 182,83 | 861,80 | 787,50 | 8000 | 8000 |

Preglednica: Rezultati analize za $n = 9$ v grafikonih 36, 37, 38, 38, 39 in 40: Izračunane minimalne vrednosti $R_{B,ko}$ in λ za različne strižne kote nadomestnih tal φ'_F in $n = 9$

| φ'/φ'_F | 1 možnost: | | 2 možnost: | | $N_d \leq R_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ | | $E_{s,k} \leq E'_{s,k}$ | |
|-----------------------|---|----------------|---------------|---|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | $\min R_{B,ko}$ ($\lambda; n = 9$) [kN/m] | $\lambda \geq$ | MIN λ | $R_{B,ko}$ ($\min \lambda; n = 9$) [kN/m] | N_d [kN/m] | $R'_{n,d} + \Delta R_{n,d}$ [kN/m] | $E_{s,k}$ [kN/m ²] | $E'_{s,k}$ [kN/m ²] |
| 20°/20° | 131,54 | 1,00 | 0,42 | 215,44 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 10769,3 |
| 20°/21° | 126,73 | 1,00 | 0,39 | 209,02 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 10192,0 |
| 20°/22° | 123,13 | 1,00 | 0,37 | 204,41 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 9820,0 |
| 20°/23° | 120,05 | 1,00 | 0,34 | 200,57 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 9538,2 |
| 20°/24° | 117,22 | 1,00 | 0,32 | 197,10 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 9303,6 |
| 20°/25° | 114,57 | 1,00 | 0,31 | 193,84 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 9098,5 |
| 20°/26° | 112,76 | 0,94 | 0,29 | 190,67 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8912,8 |
| 20°/27° | 110,98 | 0,89 | 0,28 | 187,56 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8740,5 |
| 20°/28° | 109,22 | 0,85 | 0,26 | 184,47 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8578,3 |
| 20°/29° | 107,47 | 0,81 | 0,25 | 181,39 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8424,3 |
| 20°/30° | 105,72 | 0,77 | 0,24 | 178,31 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8277,4 |
| 20°/31° | 103,97 | 0,73 | 0,23 | 175,25 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8136,7 |
| 20°/32° | 102,23 | 0,69 | 0,22 | 172,18 | 787,50 | 787,50 | 8000 | 8001,3 |
| 20°/33° | 102,03 | 0,67 | 0,21 | 171,70 | 787,50 | 794,11 | 8000 | 8000 |
| 20°/34° | 101,84 | 0,65 | 0,21 | 171,23 | 787,50 | 800,40 | 8000 | 8000 |
| 20°/35° | 101,63 | 0,63 | 0,20 | 170,75 | 787,50 | 807,14 | 8000 | 8000 |
| 20°/36° | 101,43 | 0,61 | 0,20 | 170,26 | 787,50 | 814,46 | 8000 | 8000 |
| 20°/37° | 101,22 | 0,59 | 0,19 | 169,75 | 787,50 | 822,28 | 8000 | 8000 |
| 20°/38° | 101,01 | 0,57 | 0,19 | 169,24 | 787,50 | 830,62 | 8000 | 8000 |
| 20°/39° | 100,81 | 0,56 | 0,18 | 168,72 | 787,50 | 839,89 | 8000 | 8000 |
| 20°/40° | 100,60 | 0,54 | 0,18 | 168,20 | 787,50 | 858,07 | 8000 | 8000 |
| 20°/41° | 100,39 | 0,53 | 0,17 | 167,68 | 787,50 | 866,09 | 8000 | 8000 |
| 20°/42° | 100,18 | 0,51 | 0,17 | 167,15 | 787,50 | 871,31 | 8000 | 8000 |
| 20°/43° | 99,97 | 0,50 | 0,17 | 166,61 | 787,50 | 875,11 | 8000 | 8000 |
| 20°/44° | 99,77 | 0,50 | 0,16 | 166,08 | 787,50 | 878,45 | 8000 | 8000 |
| 20°/45° | 99,57 | 0,50 | 0,16 | 165,55 | 787,50 | 881,94 | 8000 | 8000 |

Primer 3: Podporna konstrukcija

Rezultati analize: $H = 3,0 \text{ m}$ in $\varphi'_{3,k} = \text{od } 20^\circ \text{ do } 45^\circ$.

Rezultati analize pokažejo, da ravnotežni pogoj varnosti pred zdrsom, za strižni kot zaledja $\varphi'_{3,k}$ med 20° in 43° , ni izpolnjen. Zdrs konstrukcije lahko preprečimo tako, da izračunamo potrebno vrednost kompozitnega koeficienta λ in vgradimo geosintetike, ki zagotovijo izračunano vrednost λ ali pa izračunamo potrebno širino podporne konstrukcije B . Konstrukcija ni izpostavljena prevrnitvi, niti ni izpostavljena nevarnosti porušitve tal pod konstrukcijo. Pogoj za globalno stabilnost in pogoj za priključitev obložnih plošč sta izpolnjena, če v konstrukcijo vgradimo geosintetike z izračunano minimalno kratkotrajno natezno trdnostjo $\min R_{B,k0}$.

V preglednici sem podal izračunane potrebne vrednosti kompozitnega koeficienta λ in izračunane potrebne širine podporne konstrukcije B , ki sem jih izračunal iz ravnotežnega pogoja $R_{t,d} = T_d$. V primeru strižnega kota zaledja $\varphi'_{3,k}$ od 20° do 28° , je izračunani potrebni kompozitni koeficient večji od 1, kar v realnosti ni možno, zato je potrebno narediti konstrukcijo širšo kot to zahteva konstrukcijski pogoj, $B > 0,7 * H$. V tem primeru, bi bilo potrebno napraviti vse nadaljne analize z novo širino konstrukcije B , s čemer pa se jaz nisem ukvarjal. V primerih strižnega kota od 29° do 44° pa lahko zdrs preprečimo z vgraditvijo geosintetikov, ki zagotovijo izračunani potrebni kompozitni koeficient λ pri širini $B = 0,7 * H = 2,1 \text{ m}$. V preglednici podajam tudi nove minimalne natezne trdnosti geosintetikov, ki sem jih izračunal glede na izračunani kompozitni koeficient λ iz ravnotežnega pogoja za zdrs.

Preglednica: Rezultati analize za podporno konstrukcijo. Prikaz ravnotežnih pogojev za različne strižne kote zaledja φ'_3

| $\varphi'_{3,k}$ | Zdrs pod. konst.: $R_{t,d} \geq T_d$ | | Nagib pod. konst.: $B / 3 \geq e$ | | Nosilnost tal: $R_{n,d} \geq N_d$ | | Globalna stabilnost: $\Sigma R_{d(\vartheta)} \geq \Sigma F_{d(\vartheta)}$ | | | Priključitev obložnih plošč: $R_{B,d} \geq \max E$ | |
|------------------|--|-----------------|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|-----------------|--|------------------------|---|---|--------------------|
| | $R_{t,d}$ ($\lambda = 0,5$) [kN/m] | T_d [kN/m] | $B / 3$ [m] | e [m] | $R_{n,d}$ [kN/m] | N_d [kN/m] | $\min R_{B,k0}$ ($\lambda = 0,5$) [kN/m] | $\vartheta_{a,\delta}$ | $\Sigma R_{d(\vartheta)} = \Sigma F_{d(\vartheta)}$ [kN/m] | $R_{B,d}$ [kN/m] | $\max E$ [kN/m] |
| 20° | 24,94 | 70,95 | 0,70 | 0,26 | 488,07 | 235,43 | 49,57 | 30° | 24,08 | 11,60 | 8,36 |
| 21° | 24,95 | 68,05 | 0,70 | 0,25 | 512,55 | 235,58 | 47,98 | 41° | 34,71 | 11,42 | 8,36 |
| 22° | 24,97 | 65,27 | 0,70 | 0,23 | 536,63 | 235,69 | 47,29 | 41° | 34,21 | 11,26 | 8,36 |
| 23° | 24,98 | 62,59 | 0,70 | 0,22 | 560,29 | 235,77 | 46,61 | 41° | 33,72 | 11,10 | 8,36 |
| 24° | 24,98 | 60,02 | 0,70 | 0,21 | 583,51 | 235,82 | 45,95 | 41° | 33,26 | 10,94 | 8,36 |
| 25° | 24,98 | 57,55 | 0,70 | 0,20 | 606,28 | 235,84 | 45,31 | 41° | 32,80 | 10,79 | 8,36 |
| 26° | 24,98 | 55,17 | 0,70 | 0,18 | 628,58 | 235,83 | 44,69 | 41° | 32,35 | 10,64 | 8,36 |
| 27° | 24,98 | 52,88 | 0,70 | 0,17 | 650,42 | 235,79 | 44,09 | 41° | 31,92 | 10,50 | 8,36 |
| 28° | 24,97 | 50,68 | 0,70 | 0,16 | 671,79 | 235,73 | 43,50 | 41° | 31,50 | 10,36 | 8,36 |
| 29° | 24,96 | 48,56 | 0,70 | 0,15 | 692,68 | 235,65 | 42,94 | 42° | 32,16 | 10,22 | 8,36 |
| 30° | 24,95 | 46,52 | 0,70 | 0,14 | 713,09 | 235,54 | 42,49 | 44° | 33,83 | 10,12 | 8,36 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|------|------|--------|--------|-------|-----|-------|-------|------|
| 31° | 24,93 | 44,55 | 0,70 | 0,14 | 733,02 | 235,41 | 42,12 | 46° | 35,42 | 10,03 | 8,36 |
| 32° | 24,92 | 42,65 | 0,70 | 0,13 | 752,48 | 235,27 | 41,82 | 47° | 36,08 | 9,96 | 8,36 |
| 33° | 24,90 | 40,83 | 0,70 | 0,12 | 771,45 | 235,10 | 41,55 | 48° | 36,74 | 9,89 | 8,36 |
| 34° | 24,88 | 39,06 | 0,70 | 0,11 | 789,95 | 234,92 | 41,33 | 48° | 36,58 | 9,84 | 8,36 |
| 35° | 24,85 | 37,37 | 0,70 | 0,11 | 807,98 | 234,73 | 41,11 | 48° | 36,43 | 9,79 | 8,36 |
| 36° | 24,83 | 35,73 | 0,70 | 0,10 | 825,54 | 234,52 | 40,90 | 48° | 36,27 | 9,74 | 8,36 |
| 37° | 24,80 | 34,15 | 0,70 | 0,09 | 842,64 | 234,29 | 40,69 | 48° | 36,12 | 9,69 | 8,36 |
| 38° | 24,77 | 32,62 | 0,70 | 0,09 | 859,28 | 234,05 | 40,48 | 48° | 35,98 | 9,64 | 8,36 |
| 39° | 24,74 | 31,15 | 0,70 | 0,08 | 875,46 | 233,80 | 40,31 | 49° | 36,78 | 9,60 | 8,36 |
| 40° | 24,71 | 29,74 | 0,70 | 0,08 | 891,19 | 233,54 | 40,15 | 49° | 36,66 | 9,56 | 8,36 |
| 41° | 24,68 | 28,37 | 0,70 | 0,07 | 906,47 | 233,27 | 39,99 | 49° | 36,55 | 9,52 | 8,36 |
| 42° | 24,64 | 27,05 | 0,70 | 0,06 | 921,32 | 232,99 | 39,83 | 49° | 36,44 | 9,48 | 8,36 |
| 43° | 24,61 | 25,77 | 0,70 | 0,06 | 935,74 | 232,70 | 39,81 | 55° | 41,00 | 9,48 | 8,36 |
| 44° | 24,57 | 24,54 | 0,70 | 0,06 | 949,73 | 232,40 | 39,81 | 55° | 41,00 | 9,48 | 8,36 |
| 45° | 24,54 | 23,35 | 0,70 | 0,05 | 963,29 | 232,09 | 39,81 | 55° | 41,00 | 9,48 | 8,36 |

Preglednica: Rezultati analize za podporno konstrukcijo. Izračunane nove minimalne $R_{B,k0}$ za različne strižne kote zaledja φ'_3

| $\varphi'_{3,k}$ | Zdrs pod. konst.: $R_{t,d} \geq T_d$ | | | | Globalna stabilnost: $\sum R_{d(\theta)} \geq \sum F_{d(\theta)}$ | | | Priključitev obložnih plošč: $R_{B,d} \geq \max E$ | |
|------------------|---|-------------------------------|----------------------|--|--|------------------------|---|---|--------------------|
| | izrač. λ | $R_{t,d} (\lambda)$ [kN/m] | $B (\lambda)$ [m] | $R_{t,d} (\lambda, B) = T_d$ [kN/m] | $\min R_{B,k0} (\lambda)$ [kN/m] | $\vartheta_{a,\delta}$ | $\sum R_{d(\theta)} = \sum F_{d(\theta)}$ [kN/m] | $R_{B,d} (\lambda)$ [kN/m] | $\max E$ [kN/m] |
| 20° | 1,00 | 49,87 | 3,07 | 70,95 | 48,57 | 30° | 24,08 | 11,56 | 8,36 |
| 21° | 1,00 | 49,91 | 2,93 | 68,05 | 47,45 | 40° | 33,89 | 11,30 | 8,36 |
| 22° | 1,00 | 49,93 | 2,80 | 65,27 | 46,69 | 40° | 33,35 | 11,12 | 8,36 |
| 23° | 1,00 | 49,95 | 2,68 | 62,59 | 46,00 | 41° | 33,72 | 10,95 | 8,36 |
| 24° | 1,00 | 49,96 | 2,56 | 60,02 | 45,35 | 41° | 33,26 | 10,80 | 8,36 |
| 25° | 1,00 | 49,97 | 2,45 | 57,55 | 44,71 | 41° | 32,80 | 10,64 | 8,36 |
| 26° | 1,00 | 49,97 | 2,34 | 55,17 | 44,09 | 41° | 32,35 | 10,50 | 8,36 |
| 27° | 1,00 | 49,96 | 2,23 | 52,88 | 43,48 | 41° | 31,92 | 10,35 | 8,36 |
| 28° | 1,00 | 49,94 | 2,13 | 50,68 | 42,89 | 41° | 31,50 | 10,21 | 8,36 |
| 29° | 0,97 | 48,56 | 2,10 | 48,56 | 42,35 | 41° | 31,09 | 10,08 | 8,36 |
| 30° | 0,93 | 46,52 | 2,10 | 46,52 | 41,85 | 41° | 30,70 | 9,96 | 8,36 |
| 31° | 0,89 | 44,55 | 2,10 | 44,55 | 41,35 | 41° | 30,31 | 9,85 | 8,36 |
| 32° | 0,86 | 42,65 | 2,10 | 42,65 | 40,87 | 41° | 29,93 | 9,73 | 8,36 |
| 33° | 0,82 | 40,83 | 2,10 | 40,83 | 40,40 | 41° | 29,56 | 9,62 | 8,36 |
| 34° | 0,79 | 39,06 | 2,10 | 39,06 | 39,94 | 41° | 29,21 | 9,51 | 8,36 |
| 35° | 0,75 | 37,37 | 2,10 | 37,37 | 39,49 | 41° | 28,86 | 9,40 | 8,36 |
| 36° | 0,72 | 35,73 | 2,10 | 35,73 | 39,05 | 41° | 28,52 | 9,30 | 8,36 |
| 37° | 0,69 | 34,15 | 2,10 | 34,15 | 38,90 | 52° | 39,33 | 9,26 | 8,36 |
| 38° | 0,66 | 32,62 | 2,10 | 32,62 | 38,95 | 53° | 39,92 | 9,27 | 8,36 |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|-------|------|-------|-------|-----|-------|------|------|
| 39° | 0,63 | 31,15 | 2,10 | 31,15 | 39,04 | 53° | 39,89 | 9,30 | 8,36 |
| 40° | 0,60 | 29,74 | 2,10 | 29,74 | 39,17 | 54° | 40,47 | 9,33 | 8,36 |
| 41° | 0,57 | 28,37 | 2,10 | 28,37 | 39,32 | 55° | 41,00 | 9,36 | 8,36 |
| 42° | 0,55 | 27,05 | 2,10 | 27,05 | 39,49 | 55° | 41,00 | 9,40 | 8,36 |
| 43° | 0,52 | 25,77 | 2,10 | 25,77 | 39,66 | 55° | 41,00 | 9,44 | 8,36 |
| 44° | 0,50 | 24,54 | 2,10 | 24,54 | 39,81 | 55° | 41,00 | 9,48 | 8,36 |
| 45° | 0,50 | 23,35 | 2,10 | 23,35 | 39,81 | 55° | 41,00 | 9,48 | 8,36 |

Rezultati analize: H = 4,0 m, H = 5,0 m in H = 6,0 m

Preglednica: Rezultati analize za grafikone 42, 43 in 44 za ravnotežni pogoj pred zdrsom podporne konstrukcije

| $\varphi'_{3,k}$ | H = 4,0 m | | | | H = 5,0 m | | | | H = 6,0 m | | | |
|------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| | izrač. λ | $R_{t,d}$ (izrač. λ) [kN/m] | B (izrač. λ) [m] | $R_{t,d} (\lambda; B) = T_d$ [kN/m] | izrač. λ | $R_{t,d}$ (izrač. λ) [kN/m] | B (izrač. λ) [m] | $R_{t,d} (\lambda; B) = T_d$ [kN/m] | izrač. λ | $R_{t,d}$ (izrač. λ) [kN/m] | B (izrač. λ) [m] | $R_{t,d} (\lambda; B) = T_d$ [kN/m] |
| 20° | 1,00 | 88,21 | 3,81 | 117,62 | 1,00 | 137,42 | 4,55 | 175,78 | 1,00 | 197,48 | 5,30 | 245,46 |
| 21° | 1,00 | 88,27 | 3,64 | 112,81 | 1,00 | 137,51 | 4,35 | 168,60 | 1,00 | 197,60 | 5,07 | 235,43 |
| 22° | 1,00 | 88,32 | 3,48 | 108,20 | 1,00 | 137,57 | 4,16 | 161,70 | 1,00 | 197,70 | 4,84 | 225,80 |
| 23° | 1,00 | 88,35 | 3,33 | 103,76 | 1,00 | 137,62 | 3,98 | 155,08 | 1,00 | 197,77 | 4,63 | 216,54 |
| 24° | 1,00 | 88,37 | 3,18 | 99,50 | 1,00 | 137,65 | 3,80 | 148,71 | 1,00 | 197,81 | 4,43 | 207,65 |
| 25° | 1,00 | 88,38 | 3,04 | 95,40 | 1,00 | 137,66 | 3,64 | 142,58 | 1,00 | 197,82 | 4,23 | 199,09 |
| 26° | 1,00 | 88,37 | 2,91 | 91,46 | 0,99 | 136,69 | 3,50 | 136,69 | 0,96 | 190,87 | 4,20 | 190,87 |
| 27° | 0,99 | 87,66 | 2,80 | 87,66 | 0,95 | 131,02 | 3,50 | 131,02 | 0,92 | 182,95 | 4,20 | 182,95 |
| 28° | 0,95 | 84,01 | 2,80 | 84,01 | 0,91 | 125,56 | 3,50 | 125,56 | 0,89 | 175,33 | 4,20 | 175,33 |
| 29° | 0,91 | 80,50 | 2,80 | 80,50 | 0,87 | 120,31 | 3,50 | 120,31 | 0,85 | 167,99 | 4,20 | 167,99 |
| 30° | 0,87 | 77,11 | 2,80 | 77,11 | 0,84 | 115,25 | 3,50 | 115,25 | 0,81 | 160,92 | 4,20 | 160,92 |
| 31° | 0,84 | 73,85 | 2,80 | 73,85 | 0,80 | 110,37 | 3,50 | 110,37 | 0,78 | 154,12 | 4,20 | 154,12 |
| 32° | 0,80 | 70,71 | 2,80 | 70,71 | 0,77 | 105,67 | 3,50 | 105,67 | 0,75 | 147,56 | 4,20 | 147,56 |
| 33° | 0,77 | 67,68 | 2,80 | 67,68 | 0,74 | 101,15 | 3,50 | 101,15 | 0,72 | 141,24 | 4,20 | 141,24 |
| 34° | 0,74 | 64,76 | 2,80 | 64,76 | 0,71 | 96,78 | 3,50 | 96,78 | 0,69 | 135,14 | 4,20 | 135,14 |
| 35° | 0,70 | 61,94 | 2,80 | 61,94 | 0,68 | 92,57 | 3,50 | 92,57 | 0,66 | 129,27 | 4,20 | 129,27 |
| 36° | 0,67 | 59,22 | 2,80 | 59,22 | 0,65 | 88,52 | 3,50 | 88,52 | 0,63 | 123,60 | 4,20 | 123,60 |
| 37° | 0,64 | 56,61 | 2,80 | 56,61 | 0,62 | 84,60 | 3,50 | 84,60 | 0,60 | 118,13 | 4,20 | 118,13 |
| 38° | 0,62 | 54,08 | 2,80 | 54,08 | 0,59 | 80,83 | 3,50 | 80,83 | 0,57 | 112,86 | 4,20 | 112,86 |
| 39° | 0,59 | 51,64 | 2,80 | 51,64 | 0,57 | 77,18 | 3,50 | 77,18 | 0,55 | 107,78 | 4,20 | 107,78 |
| 40° | 0,56 | 49,29 | 2,80 | 49,29 | 0,54 | 73,67 | 3,50 | 73,67 | 0,53 | 102,87 | 4,20 | 102,87 |
| 41° | 0,54 | 47,02 | 2,80 | 47,02 | 0,52 | 70,28 | 3,50 | 70,28 | 0,50 | 98,13 | 4,20 | 98,13 |
| 42° | 0,51 | 44,83 | 2,80 | 44,83 | 0,49 | 67,00 | 3,50 | 67,00 | 0,48 | 93,56 | 4,20 | 93,56 |
| 43° | 0,49 | 42,72 | 2,80 | 42,72 | 0,47 | 63,85 | 3,50 | 63,85 | 0,46 | 89,15 | 4,20 | 89,15 |
| 44° | 0,47 | 40,68 | 2,80 | 40,68 | 0,45 | 60,80 | 3,50 | 60,80 | 0,44 | 84,90 | 4,20 | 84,90 |
| 45° | 0,45 | 38,71 | 2,80 | 38,71 | 0,43 | 57,86 | 3,50 | 57,86 | 0,41 | 80,79 | 4,20 | 80,79 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|
| 20° | 1,00 | 25,09 | 35° | 29,24 | 34° | 33,44 | 37° | 41,82 | 35° | 48,57 | 30° | 649,72 |
| 21° | 1,00 | 24,44 | 35° | 28,38 | 34° | 32,72 | 37° | 40,73 | 35° | 47,45 | 40° | 649,72 |
| 22° | 1,00 | 23,81 | 35° | 27,64 | 40° | 32,02 | 37° | 39,68 | 35° | 46,69 | 40° | 649,72 |
| 23° | 1,00 | 23,19 | 35° | 27,20 | 40° | 31,34 | 37° | 38,66 | 35° | 46,00 | 41° | 649,72 |
| 24° | 1,00 | 22,67 | 41° | 26,78 | 40° | 30,68 | 37° | 37,66 | 35° | 45,35 | 41° | 649,72 |
| 25° | 1,00 | 22,35 | 41° | 26,36 | 40° | 30,04 | 37° | 36,70 | 35° | 44,71 | 41° | 649,72 |
| 26° | 1,00 | 22,04 | 41° | 25,96 | 40° | 29,41 | 37° | 36,09 | 44° | 44,09 | 41° | 649,72 |
| 27° | 1,00 | 21,74 | 41° | 25,56 | 40° | 28,81 | 37° | 35,75 | 44° | 43,48 | 41° | 649,72 |
| 28° | 1,00 | 21,45 | 41° | 25,18 | 40° | 28,33 | 44° | 35,41 | 44° | 42,89 | 41° | 649,72 |
| 29° | 0,97 | 21,18 | 41° | 24,82 | 40° | 28,09 | 44° | 35,11 | 44° | 42,35 | 41° | 631,98 |
| 30° | 0,93 | 20,92 | 41° | 24,47 | 40° | 27,86 | 44° | 34,82 | 44° | 41,85 | 41° | 605,70 |
| 31° | 0,89 | 20,70 | 45° | 24,15 | 45° | 27,64 | 44° | 34,55 | 44° | 41,35 | 41° | 580,43 |
| 32° | 0,86 | 20,55 | 45° | 23,97 | 45° | 27,42 | 44° | 34,27 | 44° | 40,87 | 41° | 556,11 |
| 33° | 0,82 | 20,40 | 45° | 23,80 | 45° | 27,21 | 44° | 34,01 | 44° | 40,40 | 41° | 532,71 |
| 34° | 0,79 | 20,25 | 45° | 23,63 | 45° | 27,00 | 44° | 33,75 | 44° | 39,94 | 41° | 510,16 |
| 35° | 0,75 | 20,11 | 45° | 23,46 | 45° | 26,80 | 44° | 33,50 | 44° | 39,49 | 41° | 488,44 |
| 36° | 0,72 | 19,97 | 45° | 23,30 | 45° | 26,60 | 44° | 33,25 | 44° | 39,05 | 41° | 467,50 |
| 37° | 0,69 | 19,84 | 45° | 23,14 | 45° | 26,41 | 44° | 33,01 | 44° | 38,90 | 52° | 447,31 |
| 38° | 0,66 | 19,76 | 48° | 23,05 | 48° | 26,23 | 45° | 32,79 | 45° | 38,95 | 53° | 427,84 |
| 39° | 0,63 | 19,75 | 48° | 23,07 | 49° | 26,22 | 48° | 32,77 | 48° | 39,04 | 53° | 409,05 |
| 40° | 0,60 | 19,75 | 48° | 23,11 | 49° | 26,27 | 48° | 32,89 | 49° | 39,17 | 54° | 390,91 |
| 41° | 0,57 | 19,77 | 49° | 23,14 | 49° | 26,32 | 48° | 33,08 | 50° | 39,32 | 55° | 373,41 |
| 42° | 0,55 | 19,80 | 49° | 23,18 | 49° | 26,43 | 49° | 33,27 | 50° | 39,49 | 55° | 356,50 |
| 43° | 0,52 | 19,83 | 49° | 23,21 | 49° | 26,53 | 49° | 33,45 | 50° | 39,66 | 55° | 340,18 |
| 44° | 0,50 | 19,85 | 49° | 23,23 | 49° | 26,62 | 49° | 33,63 | 50° | 39,81 | 55° | 324,41 |
| 45° | 0,48 | 19,79 | 49° | 23,17 | 50° | 26,53 | 49° | 33,79 | 50° | 39,81 | 55° | 309,18 |

Preglednica: Izračunane min $R_{B,k0}$ in max $R_{B,k0}$ za različno višino podporne konstrukcije H in konstantno razdaljo med geosintetiki l_v

| $\varphi'_{3,k}$ | H = 4,0 m; $l_v = 0,60$ m; n = 6; izrač. λ | | | H = 5,0 m; $l_v = 0,60$ m; n = 8; izrač. λ | | | H = 6,0 m; $l_v = 0,60$ m; n = 10; izrač. λ | | |
|------------------|---|------------------------|--------------------------|---|------------------------|--------------------------|--|------------------------|--------------------------|
| | min $R_{B,k0}$ (H; λ) [kN/m] | $\vartheta_{a,\delta}$ | max $R_{B,k0}$ [kN/m] | min $R_{B,k0}$ (H; λ) [kN/m] | $\vartheta_{a,\delta}$ | max $R_{B,k0}$ [kN/m] | min $R_{B,k0}$ (H; λ) [kN/m] | $\vartheta_{a,\delta}$ | max $R_{B,k0}$ [kN/m] |
| 20° | 59,89 | 33° | 1155,05 | 70,87 | 34° | 1804,77 | 81,14 | 35° | 2598,87 |
| 21° | 57,97 | 33° | 1155,05 | 68,88 | 34° | 1804,77 | 78,38 | 40° | 2598,87 |
| 22° | 56,87 | 40° | 1155,05 | 67,05 | 40° | 1804,77 | 77,24 | 40° | 2598,87 |
| 23° | 56,02 | 40° | 1155,05 | 66,07 | 40° | 1804,77 | 76,13 | 40° | 2598,87 |
| 24° | 55,25 | 41° | 1155,05 | 65,15 | 41° | 1804,77 | 75,05 | 40° | 2598,87 |
| 25° | 54,50 | 41° | 1155,05 | 64,29 | 41° | 1804,77 | 74,09 | 41° | 2598,87 |
| 26° | 53,78 | 41° | 1155,05 | 63,48 | 41° | 1792,09 | 73,24 | 41° | 2507,60 |
| 27° | 53,08 | 41° | 1145,96 | 62,76 | 41° | 1718,02 | 72,43 | 41° | 2403,95 |
| 28° | 52,46 | 41° | 1098,53 | 62,05 | 41° | 1646,90 | 71,64 | 41° | 2304,41 |
| 29° | 51,86 | 41° | 1052,96 | 61,37 | 41° | 1578,55 | 71,11 | 45° | 2208,77 |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|-----|---------|-------|-----|---------|-------|-----|---------|
| 30° | 51,27 | 41° | 1009,15 | 60,70 | 41° | 1512,85 | 70,65 | 45° | 2116,81 |
| 31° | 50,70 | 41° | 967,01 | 60,10 | 46° | 1449,65 | 70,20 | 45° | 2028,35 |
| 32° | 50,14 | 41° | 926,46 | 59,78 | 46° | 1388,83 | 69,76 | 45° | 1943,22 |
| 33° | 49,59 | 41° | 887,43 | 59,48 | 46° | 1330,28 | 69,33 | 45° | 1861,25 |
| 34° | 49,35 | 47° | 849,83 | 59,17 | 46° | 1273,87 | 68,91 | 45° | 1782,30 |
| 35° | 49,12 | 47° | 813,60 | 58,88 | 46° | 1219,53 | 68,50 | 45° | 1706,23 |
| 36° | 48,90 | 47° | 778,67 | 58,59 | 46° | 1167,14 | 68,11 | 45° | 1632,89 |
| 37° | 48,77 | 49° | 745,00 | 58,34 | 47° | 1116,62 | 67,72 | 46° | 1562,18 |
| 38° | 48,78 | 50° | 712,52 | 58,29 | 49° | 1067,90 | 67,61 | 48° | 1493,97 |
| 39° | 48,88 | 51° | 681,18 | 58,41 | 50° | 1020,88 | 67,66 | 48° | 1428,16 |
| 40° | 49,06 | 52° | 650,93 | 58,57 | 50° | 975,51 | 67,70 | 48° | 1364,64 |
| 41° | 49,29 | 53° | 621,74 | 58,72 | 50° | 931,71 | 67,83 | 49° | 1303,33 |
| 42° | 49,56 | 54° | 593,54 | 58,86 | 50° | 889,42 | 68,00 | 49° | 1244,13 |
| 43° | 49,84 | 54° | 566,32 | 59,00 | 50° | 848,58 | 68,16 | 49° | 1186,96 |
| 44° | 50,16 | 55° | 540,02 | 59,13 | 50° | 809,13 | 68,31 | 49° | 1131,75 |
| 45° | 50,48 | 55° | 514,61 | 59,26 | 50° | 771,03 | 68,45 | 49° | 1078,41 |

Preglednica: Dokaz globalne stabilnosti $\Sigma F_{d(\vartheta)} \leq \Sigma R_{d(\vartheta)}$ z izračunanimi minimalnimi $R_{B,k0}$ za strižni kot zaledja $\varphi'_3 = 30^\circ$ in za različne višine podporne konstrukcije

| | $\Sigma F_{d(\vartheta)} \leq \Sigma R_{d(\vartheta)}$ H = 3,0 m; izrač. λ | | | | | $\Sigma F_{d(\vartheta)} \leq \Sigma R_{d(\vartheta)}$ | | $\Sigma F_{d(\vartheta)} \leq \Sigma R_{d(\vartheta)}$ | | $\Sigma F_{d(\vartheta)} \leq \Sigma R_{d(\vartheta)}$ | | |
|------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | n = 10; $l_v = 0,30$ m | n = 8; $l_v = 0,35$ m | n = 7; $l_v = 0,40$ m | n = 6; $l_v = 0,5$ m | n = 5; $l_v = 0,6$ m | H = 4,0 m; n = 6; $l_v = 0,60$ m | H = 5,0 m; n = 8; $l_v = 0,60$ m | H = 6,0 m; n = 10; $l_v = 0,60$ m | | | |
| $\vartheta_{a,\delta}$ | $\Sigma F_{d(\vartheta)}$ ($\varphi'_3 = 30^\circ$) | $\Sigma R_{d(\vartheta)}$ ($R_{B,k0} = 20,92$ kN/m) | $\Sigma R_{d(\vartheta)}$ ($R_{B,k0} = 24,47$ kN/m) | $\Sigma R_{d(\vartheta)}$ ($R_{B,k0} = 27,86$ kN/m) | $\Sigma R_{d(\vartheta)}$ ($R_{B,k0} = 34,82$ kN/m) | $\Sigma R_{d(\vartheta)}$ ($R_{B,k0} = 41,85$ kN/m) | $\Sigma F_{d(\vartheta)}$ ($\varphi'_3 = 30^\circ$) | $\Sigma R_{d(\vartheta)}$ ($R_{B,k0} = 51,27$ kN/m) | $\Sigma F_{d(\vartheta)}$ ($\varphi'_3 = 30^\circ$) | $\Sigma R_{d(\vartheta)}$ ($R_{B,k0} = 60,70$ kN/m) | $\Sigma F_{d(\vartheta)}$ ($\varphi'_3 = 30^\circ$) | $\Sigma R_{d(\vartheta)}$ ($R_{B,k0} = 70,65$ kN/m) |
| 0,01° | 0,00 | 4,98 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 16,82 |
| 1° | 0,00 | 4,98 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 16,82 |
| 2° | 0,00 | 4,98 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 16,82 |
| 3° | 0,00 | 4,98 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 16,82 |
| 4° | 0,00 | 4,98 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 16,82 |
| 5° | 0,00 | 4,98 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 16,82 |
| 6° | 0,00 | 4,98 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 16,82 |
| 7° | 0,00 | 4,98 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 16,82 |
| 8° | 0,00 | 4,98 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 16,82 |
| 9° | 0,00 | 9,96 | 5,83 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 14,45 | 0,00 | 33,64 |
| 10° | 0,00 | 9,96 | 11,65 | 6,63 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 24,96 | 0,00 | 33,64 |
| 11° | 0,00 | 9,96 | 11,65 | 9,14 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 28,90 | 0,00 | 33,64 |
| 12° | 0,00 | 9,96 | 11,65 | 13,27 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 12,21 | 0,00 | 28,90 | 0,00 | 33,64 |
| 13° | 0,00 | 9,96 | 11,65 | 13,27 | 8,29 | 9,96 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 28,90 | 0,00 | 33,64 |
| 14° | 0,00 | 9,96 | 11,65 | 13,27 | 13,71 | 9,96 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 28,90 | 0,00 | 33,64 |
| 15° | 0,00 | 9,96 | 11,65 | 13,27 | 16,58 | 9,96 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 28,90 | 0,00 | 33,64 |
| 16° | 0,00 | 10,38 | 11,65 | 13,27 | 16,58 | 10,38 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 28,90 | 0,00 | 35,09 |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 17° | 0,00 | 14,95 | 11,65 | 13,27 | 16,58 | 17,52 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 28,90 | 0,00 | 50,46 |
| 18° | 0,00 | 14,95 | 11,65 | 13,27 | 16,58 | 19,93 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 28,90 | 0,00 | 50,46 |
| 19° | 0,00 | 14,95 | 15,18 | 13,27 | 16,58 | 19,93 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 30,30 | 0,00 | 50,46 |
| 20° | 0,00 | 14,95 | 17,48 | 13,27 | 16,58 | 19,93 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 43,36 | 0,00 | 50,46 |
| 21° | 0,00 | 14,95 | 17,48 | 14,07 | 16,58 | 19,93 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 43,36 | 0,00 | 50,46 |
| 22° | 0,25 | 14,95 | 17,48 | 19,31 | 16,58 | 19,93 | 0,00 | 24,41 | 0,00 | 43,36 | 0,00 | 50,46 |
| 23° | 2,33 | 14,95 | 17,48 | 19,90 | 16,58 | 19,93 | 2,02 | 24,41 | 1,16 | 43,36 | 0,00 | 50,46 |
| 24° | 4,35 | 18,72 | 17,48 | 19,90 | 16,58 | 19,93 | 5,45 | 31,62 | 6,37 | 43,36 | 7,13 | 63,66 |
| 25° | 6,31 | 19,93 | 17,48 | 19,90 | 16,58 | 19,93 | 8,78 | 36,62 | 11,45 | 43,36 | 14,29 | 67,28 |
| 26° | 8,22 | 19,93 | 17,48 | 19,90 | 18,86 | 19,93 | 12,03 | 36,62 | 16,37 | 43,36 | 21,26 | 67,28 |
| 27° | 10,07 | 19,93 | 19,23 | 19,90 | 22,87 | 19,93 | 15,18 | 36,62 | 21,16 | 43,36 | 28,02 | 67,28 |
| 28° | 11,87 | 19,93 | 23,07 | 19,90 | 24,87 | 19,93 | 18,24 | 36,62 | 25,81 | 52,37 | 34,59 | 67,28 |
| 29° | 13,62 | 19,93 | 23,31 | 19,90 | 24,87 | 19,93 | 21,21 | 36,62 | 30,32 | 57,81 | 40,96 | 67,28 |
| 30° | 15,32 | 20,81 | 23,31 | 20,79 | 24,87 | 20,82 | 24,09 | 36,62 | 34,70 | 57,81 | 47,14 | 70,39 |
| 31° | 16,96 | 24,17 | 23,31 | 24,14 | 24,87 | 24,17 | 26,89 | 36,62 | 38,95 | 57,81 | 53,14 | 82,10 |
| 32° | 18,56 | 24,91 | 23,31 | 26,53 | 24,87 | 27,33 | 29,60 | 36,62 | 43,06 | 57,81 | 58,95 | 84,11 |
| 33° | 20,11 | 24,91 | 23,31 | 26,53 | 24,87 | 29,89 | 32,22 | 38,15 | 47,05 | 57,81 | 64,58 | 84,11 |
| 34° | 21,61 | 24,91 | 24,20 | 26,53 | 24,87 | 29,89 | 34,76 | 43,72 | 50,90 | 57,81 | 70,02 | 84,11 |
| 35° | 23,05 | 24,91 | 26,99 | 26,53 | 24,87 | 29,89 | 37,22 | 48,83 | 54,63 | 62,43 | 75,28 | 84,11 |
| 36° | 24,45 | 26,13 | 29,14 | 26,53 | 26,09 | 29,89 | 39,59 | 48,83 | 58,23 | 70,37 | 80,35 | 88,36 |
| 37° | 25,80 | 28,67 | 29,14 | 26,53 | 28,63 | 29,89 | 41,88 | 48,83 | 61,69 | 72,26 | 85,25 | 97,24 |
| 38° | 27,10 | 29,89 | 29,14 | 28,20 | 31,06 | 29,89 | 44,08 | 48,83 | 65,03 | 72,26 | 89,96 | 100,93 |
| 39° | 28,35 | 29,89 | 29,14 | 30,51 | 33,17 | 29,89 | 46,20 | 48,83 | 68,24 | 72,26 | 94,49 | 100,93 |
| 40° | 29,55 | 29,89 | 29,55 | 32,72 | 33,17 | 29,89 | 48,23 | 48,83 | 71,32 | 72,26 | 98,84 | 100,93 |
| 41° | 30,70 | 30,70 | 31,62 | 33,17 | 33,17 | 30,70 | 50,17 | 50,37 | 74,27 | 74,66 | 103,00 | 103,74 |
| 42° | 31,79 | 32,66 | 33,61 | 33,17 | 33,17 | 32,66 | 52,03 | 54,11 | 77,09 | 80,52 | 106,97 | 110,61 |
| 43° | 32,84 | 34,55 | 34,96 | 33,17 | 33,17 | 34,56 | 53,80 | 57,72 | 79,77 | 86,15 | 110,75 | 117,22 |
| 44° | 33,83 | 34,87 | 34,96 | 33,83 | 33,83 | 36,38 | 55,48 | 61,04 | 82,32 | 86,71 | 114,35 | 117,75 |
| 45° | 34,77 | 34,87 | 34,96 | 35,46 | 35,46 | 38,13 | 57,07 | 61,04 | 84,73 | 86,71 | 117,75 | 117,75 |
| 46° | 35,65 | 36,36 | 36,45 | 37,03 | 37,03 | 39,83 | 58,57 | 61,04 | 87,00 | 87,52 | 120,95 | 122,94 |
| 47° | 36,48 | 37,79 | 37,88 | 38,55 | 38,54 | 39,86 | 59,97 | 61,10 | 89,13 | 91,63 | 123,96 | 127,95 |
| 48° | 37,25 | 39,18 | 39,27 | 39,80 | 40,01 | 39,86 | 61,28 | 63,46 | 91,12 | 95,60 | 126,78 | 132,81 |
| 49° | 37,96 | 40,04 | 40,62 | 39,99 | 41,44 | 40,05 | 62,50 | 65,75 | 92,97 | 99,45 | 129,39 | 135,23 |
| 50° | 38,62 | 41,04 | 41,35 | 40,98 | 41,48 | 41,04 | 63,61 | 67,98 | 94,67 | 101,17 | 131,80 | 138,70 |
| 51° | 39,21 | 42,00 | 42,25 | 41,95 | 42,32 | 42,01 | 64,64 | 70,14 | 96,23 | 103,11 | 134,00 | 142,08 |
| 52° | 39,75 | 42,94 | 43,13 | 42,89 | 43,14 | 42,95 | 65,56 | 72,24 | 97,64 | 105,46 | 136,01 | 145,37 |
| 53° | 40,23 | 44,31 | 43,99 | 43,80 | 43,93 | 43,86 | 66,38 | 73,24 | 98,91 | 107,75 | 137,81 | 150,13 |
| 54° | 40,65 | 45,70 | 44,82 | 44,69 | 44,70 | 44,75 | 67,11 | 73,24 | 100,04 | 109,98 | 139,42 | 154,71 |
| 55° | 41,00 | 46,27 | 45,63 | 45,56 | 45,46 | 45,62 | 67,75 | 73,24 | 101,02 | 112,15 | 140,84 | 156,42 |
| 56° | 41,43 | 46,75 | 46,42 | 46,41 | 46,19 | 46,47 | 68,45 | 73,24 | 102,07 | 114,27 | 142,30 | 158,08 |
| 57° | 41,78 | 47,22 | 46,62 | 46,43 | 46,91 | 47,29 | 69,02 | 73,24 | 102,93 | 115,62 | 143,50 | 159,71 |
| 58° | 42,05 | 47,67 | 46,62 | 46,43 | 47,61 | 48,10 | 69,47 | 73,24 | 103,59 | 115,62 | 144,42 | 161,30 |
| 59° | 42,24 | 48,12 | 46,62 | 46,43 | 48,30 | 48,89 | 69,78 | 73,24 | 104,06 | 115,62 | 145,08 | 162,85 |
| 60° | 42,35 | 48,55 | 46,62 | 46,43 | 48,97 | 49,67 | 69,97 | 73,24 | 104,35 | 115,62 | 145,47 | 164,38 |
| 61° | 42,39 | 48,98 | 46,62 | 46,43 | 49,63 | 49,82 | 70,04 | 73,24 | 104,44 | 115,62 | 145,60 | 165,87 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 62° | 42,35 | 49,40 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 69,97 | 73,24 | 104,35 | 115,62 | 145,47 | 167,34 |
| 63° | 42,24 | 49,81 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 69,78 | 73,24 | 104,07 | 115,62 | 145,08 | 168,21 |
| 64° | 42,05 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 69,47 | 73,24 | 103,60 | 115,62 | 144,42 | 168,21 |
| 65° | 41,78 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 69,03 | 73,24 | 102,93 | 115,62 | 143,50 | 168,21 |
| 66° | 41,43 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 68,45 | 73,24 | 102,08 | 115,62 | 142,31 | 168,21 |
| 67° | 41,01 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 67,75 | 73,24 | 101,03 | 115,62 | 140,85 | 168,21 |
| 68° | 40,50 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 66,91 | 73,24 | 99,78 | 115,62 | 139,11 | 168,21 |
| 69° | 39,91 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 65,94 | 73,24 | 98,33 | 115,62 | 137,08 | 168,21 |
| 70° | 39,23 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 64,82 | 73,24 | 96,66 | 115,62 | 134,76 | 168,21 |
| 71° | 38,47 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 63,56 | 73,24 | 94,78 | 115,62 | 132,13 | 168,21 |
| 72° | 37,62 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 62,15 | 73,24 | 92,68 | 115,62 | 129,20 | 168,21 |
| 73° | 36,67 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 60,58 | 73,24 | 90,34 | 115,62 | 125,94 | 168,21 |
| 74° | 35,62 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 58,85 | 73,24 | 87,76 | 115,62 | 122,35 | 168,21 |
| 75° | 34,47 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 56,96 | 73,24 | 84,94 | 115,62 | 118,41 | 168,21 |
| 76° | 33,22 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 54,88 | 73,24 | 81,84 | 115,62 | 114,10 | 168,21 |
| 77° | 31,85 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 52,63 | 73,24 | 78,48 | 115,62 | 109,41 | 168,21 |
| 78° | 30,37 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 50,17 | 73,24 | 74,82 | 115,62 | 104,31 | 168,21 |
| 79° | 28,76 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 47,52 | 73,24 | 70,86 | 115,62 | 98,78 | 168,21 |
| 80° | 27,02 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 44,64 | 73,24 | 66,57 | 115,62 | 92,80 | 168,21 |
| 81° | 25,14 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 41,53 | 73,24 | 61,93 | 115,62 | 86,34 | 168,21 |
| 82° | 23,11 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 38,18 | 73,24 | 56,93 | 115,62 | 79,37 | 168,21 |
| 83° | 20,92 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 34,56 | 73,24 | 51,54 | 115,62 | 71,85 | 168,21 |
| 84° | 18,56 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 30,66 | 73,24 | 45,73 | 115,62 | 63,75 | 168,21 |
| 85° | 16,02 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 26,46 | 73,24 | 39,47 | 115,62 | 55,02 | 168,21 |
| 86° | 13,28 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 21,94 | 73,24 | 32,72 | 115,62 | 45,61 | 168,21 |
| 87° | 10,33 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 17,06 | 73,24 | 25,44 | 115,62 | 35,47 | 168,21 |
| 88° | 7,14 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 11,80 | 73,24 | 17,60 | 115,62 | 24,53 | 168,21 |
| 89° | 3,71 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 6,13 | 73,24 | 9,14 | 115,62 | 12,74 | 168,21 |
| 90° | 0,00 | 49,82 | 46,62 | 46,43 | 49,75 | 49,82 | 0,00 | 73,24 | 0,00 | 115,62 | 0,00 | 168,21 |