

**Ključne reči:** geoplastika, polimeri, geosintetika, potporne konstrukcije, tlo, pritisak tla, armirano tlo, .....

## **APPLICATION OF GEOSYNTHETICS IN THE CONSTRUCTION OF RETAINING STRUCTURES**

**Petar MITROVIC, Ph. D., M.Sc. CE**  
**The Highway Institute, Belgrade, Serbia**

### **Summary**

The paper is revealing the potentials of applying the geosynthetic (plastic) materials in the construction of retaining structures. Geosynthetic materials are rather new materials being applied in the construction industry. In industrially developed countries plastic materials are considerably more implemented. In the construction of retaining structures geosynthetic materials have their own application. By utilizing the materials thereof civil-engineering structures become more cost-effective and profitable. This paper is reviewing the potentials of geosynthetic materials' application in the construction of retaining structures, along with their functions and techniques of setting.

It is the author's wish to extend the application of geosynthetic materials in the construction of retaining structures in our country. This is the main purpose of this paper.

**Key words:** plastic materials, geosynthetics, retaining structure, soil, soil pressure.

## UVOD

Pri izradi potpornih konstrukcija, u razvijenim zemljama Sveta se, sve više primenjuju sintetički materijali.

Primenom geoplastike pri gradnji potpornih konstrukcija postiže se bolji kvalitet, manja cena koštanja i brža izrada konstrukcije. Primenom geo-plastičnih materijala dobijaju se racionalnije potporne konstrukcije.

Prema podacima Američke savezne uprave za puteve (FHWA) iz 1990 god. potporne konstrukcije od armiranog tla jeftinije su od klasičnih potpornih zidova za :

- za potporne konstrukcije do 3 m<sup>1</sup> visine za oko 45 %;
- za potporne konstrukcije od 3 do 5 m<sup>1</sup> visine za oko 50 % ;
- za potporne konstrukcije od 5 do 9 m<sup>1</sup> visine za oko 55 %.

Prva primena geo-plastike u potpornim konstrukcijama datira početkom šezdesetih godina prošloga veka. Tad su privremeni potporni zidovi rađeni primenom geotekstila na principu armiranog tla.

Kasnije se geo-plastika primenjivala kao armatura pri izradi trajnih potpornih konstrukcija od armiranog tla. Tad su se upotrebljavale najčešće geomreže.

Primenjivana je i armatura od plastičnih traka dimenzija, najčešće, 3×100mm, dužine prema potrebi. Trake se proizvode od polietilena (PE), polipropilena (PP) ili poliestera (PET).



Zatim dolazi do primene geotekstila ili geomreža kod izrade potpornih konstrukcija od tla i geo-plastike sa ili bez obloge.

Krajem osamdesetih godina prošlog veka, počeli su se potporni zidovi graditi primenom plastičnog konca pomešanog sa mineralnim tлом (peskom), poznat kao postupak Teksol. Ovo je jedan interesantan način građenja potpornih zidova koji je vrlo racionalan.

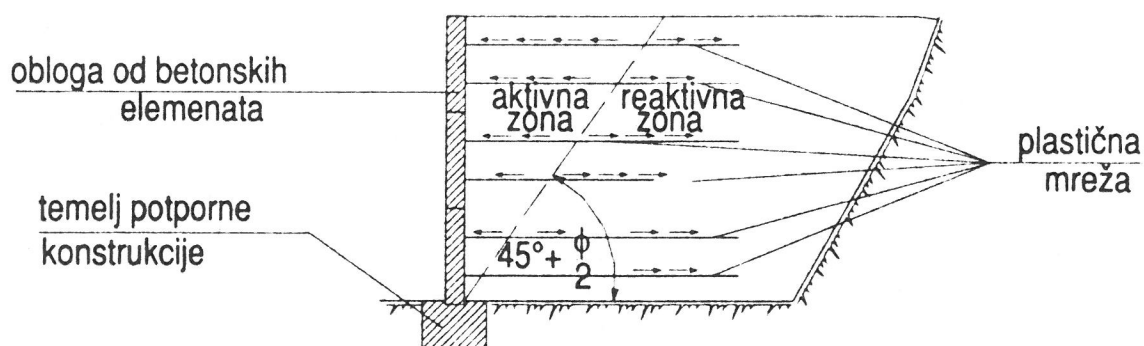
Kod klasičnih potpornih zidova, da bi im se smanjile dimenzije, mogu biti primenjeni ankeri od geosintetike. Ankeri se pričvršćuju za okolni teren i daju zidu veću stabilnost na rotaciona i translatorna kretanja.

U ovom radu obradićemo pojedine vrste primene geo-plastičnih materijala pri gradnji potpornih i obložnih konstrukcija. Opisaćemo potporne konstrukcije od armiranog tla, zatim konstrukcije od tla i geo-plastika sa i bez obloga, potom potporne konstrukcije sagrađene postupkom Teksol, ankerovane potporne zidove geosintetikom i na kraju mikroarmirane potporne zidove.

Pokušaćemo objasniti, pri određenim uslovima, koja je vrsta potponih konstrukcija sa plastičnim materijalom najracionalnija za primenu.

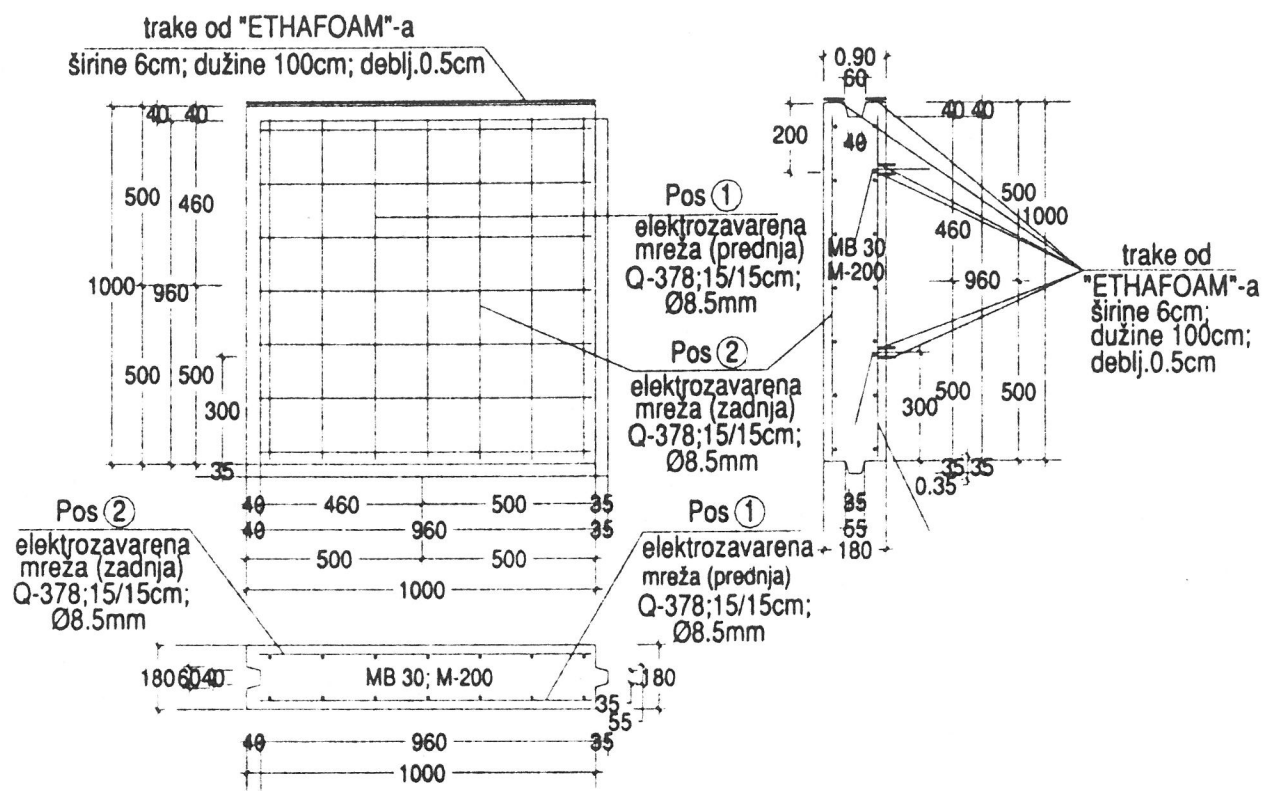
## ARMIRANO TLO U POTPORNIM KONSTRUKCIJAMA

Pod armiranim tlom podrazumeva se potporna konstrukcija koja je sačinjena od betonske obloge i geosintetičke armature koja se ugrađuje u tlo iza obloge. Betonska obloga ja sačinjena od blokova, dimenzija, najčešće,  $1 \times 1 \times 0,20$  m, raznih oblika: kvadratnih, pravougaonih, oblika krsta, T oblik, itd. Stabilnost konstrukcije se postiže efektom trenja u reaktivnom delu mase tla, (Sl.1).



Sl.1. – Struktura potporne konstrukcije od armiranog tla.

Obloga se radi od betona, najčešće marke 25 ili 30, otporna na dejstvo mraza (M-150-200). Svaki element obloge armira se dvostrukom glatkom ili rebrasto armaturom (GA ili RA), najčešće prečnika 12 mm, postavljениh na rastojanju od 10 cm. u vertikalnom i horizontalnom smislu. Videti Sl. 2.



Sl.2. – Detalj oblika i armiranja betonskog bloka.

## Princip armiranog tla

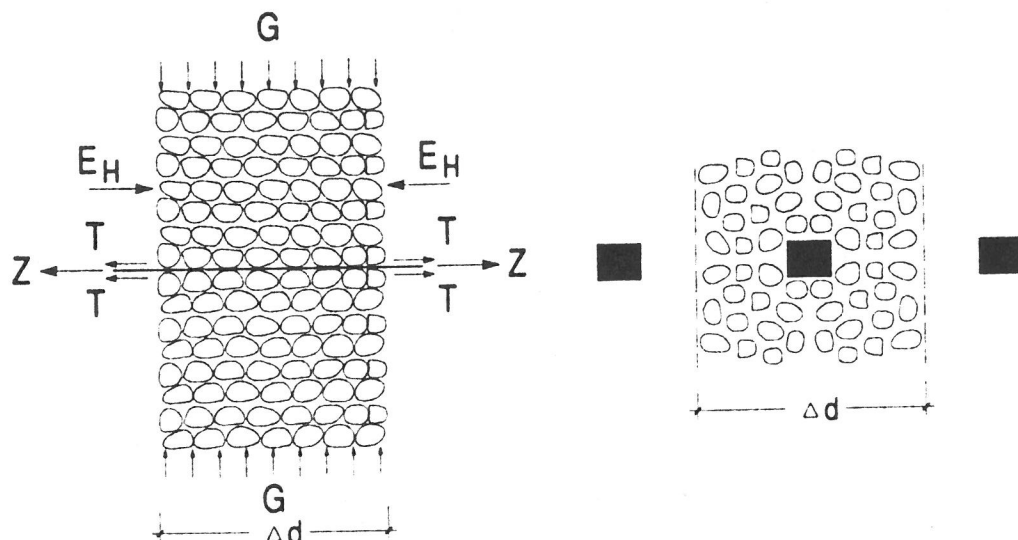
Ispuna iza betonske obloge može biti od sitnozrnog (koherentnog) ili krupnozrnog (nekoherentnog) mineralnog tla. Znači ispuna iza zida može biti od glina, prašina, peska, šljunka, kamene drobine, koji odgovaraju standardima za izradu nasipa. Glinena tla, kao ispunu iza obloge potporne konstrukcije, primenjivati obazrivo. Gline stvaraju malu silu trenja u interakciji sa geomrežom. Kamena droбина krupnoće zrna preko 60 mm, takođe nije poželjna da se primenjuje kao ispuna iza betonske obloge potporne

konstrukcije od armiranog tla. Oštre ivice pojedinih zrna krupne kamene drobine mogu da oštete geomrežu

Poželjno je kao ispunu iza betonske obloge primenjivati tla koja poseduju sledeća svojstva :

- zapreminska masa  $\gamma \geq 18 \text{ kN} / \text{m}^3$ ;
- ugao unutrašnje otpornosti  $\phi \geq 25^\circ$ ;
- kohezija  $C = 0,00 \text{ kPa}$ ;
- muljevitih čestica manje od 4%;
- da nije zagađeno štetnim hemiskim agensima;
- da nije sredina podobna za razvoj mikroorganizama.

Efekat armiranja tla objasnićemo, teoretskim razmatranjem jednog ograničenog isečka tla, dužine  $\Delta l$ , širine  $\Delta e$ , koji je u kontaktu sa armaturom. Pretpostavimo da je isečak tla jedna homogena i izotropna sredina. Na isečak tla deluju spoljne sile, kao što su vertikalni pritisak tla ( $G$ ), horizontalni pritisak tla ( $E_H$ ), silu trenja ( $T$ ), koja se javlja pri graničnom stanju ravnoteže, i sila u armaturi  $Z$ , Sl. 3.



SL. 3. – Dejstvo spoljnih sila na jedan ograničen deo tla.

Da bi isečak tla ostao u ravnoteži pod dejstvom uticaja spoljnih sila, potrebno je da bude zadovoljen uslov ravnoteže sila za horizontalnu ravan. To znači da sila u armaturi ( $Z$ ), treba biti jednaka sili trenja koje tlo stvara na kontaktu sa armaturom ( $T$ ). Navedeni uslov izražen analitički glasi :

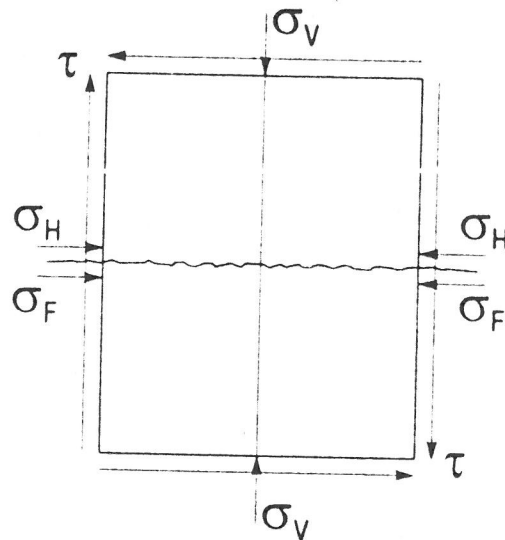
$$Z = 2 \cdot T \cdot F_s = 2 \cdot G \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot F_s,$$

gde je :

- $F_s \rightarrow$  faktor sigurnosti;
- $\rho \rightarrow$  ugao trenja između tla i armature.

Usled dejstva spoljnih sila i postignute ravnoteže, izražene navedenom jednačinom u isečku tla javljaju se unutrašnje sile, naponi. Posmatrajmo tačku u središtu isečka na kontaktu između tla i armature, Sl. 4. Tačka prima uticaje vertikalnih, bočnih i tangencionalnih napo-

na sredine u kojoj se nalazi, tj napona  $\sigma_V, \sigma_H, \tau$ , kao i od napona nastalog od sile trenja između tla i plastične armature  $\sigma_F$ .



Sl.4. – Dejstvo napona koji se javljaju u sredinjoj tački isečka tla koji je u kontaktu sa plastičnom armaturom.

U posmatranoj tački može se reći da vlada ravno stanje napona, koje se analizira Morhov-im krugom.

Maksimalan smičući napon armiranog tla je :

$$\tau_{MAX} = \sqrt{\left[ \frac{\sigma_V - (\sigma_H + \sigma_F)}{2} \right]^2 + \tau^2}$$

U koliko u tlu nema armature javlja se maksimalan  $\tau_{MAX}$  napon :



$$\tau'_{MAX} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_V - \sigma_H}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

Iz navedena dva analitička izraza vidi se da je smičući napon u tlu bez armiranja  $\tau'_{MAX}$  veći od smičućeg napona u tlu sa armaturom  $\tau_{MAX}$ , za vrednost  $\sigma_F$ , tj. važi relacija :  $\tau'_{MAX} > \tau_{MAX}$ .

Naznačeni naponi, u Mohr-ovom krugu, , da bi postigli ravnotežu, moraju biti unutar pojasa ograničenog pravim linijama pod uglom trenja tla ( $\phi$ ).

Znači napon  $\sigma_F$  mora imati dovoljnu vrednost da bi se navedeni uslov ispunio. Minimalna veličina napona  $\sigma_F$  mora imati vrednost jednaku  $\tau = \sigma_V \operatorname{tg} \phi^0$ .

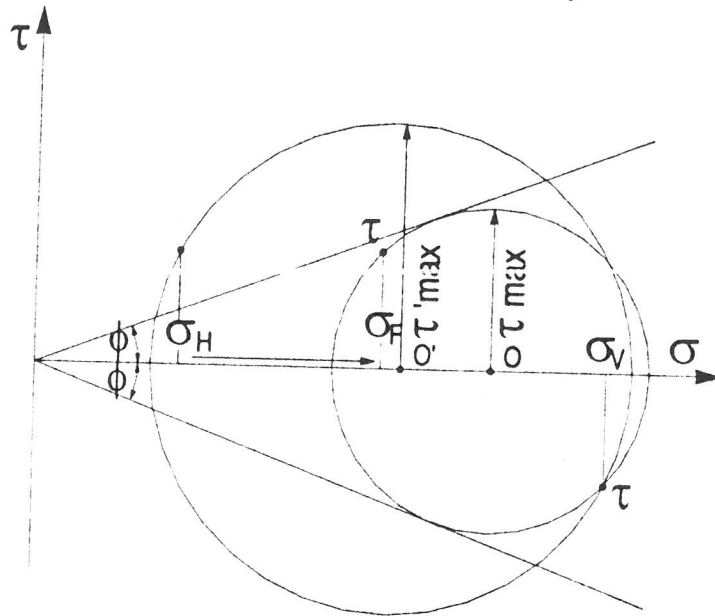
Ovo je prikazano Mohr-ovim krugom na Sl.5. Mohr-ov krug sa centrom O', pri malom-nedovoljnom naponu, izlazi iz pojasa ograničenog pravim linijama pod uglom  $\pm \phi^0$ , što ukazuje na nepostignutu ravnotežu.

Odnos normalnih napona mora biti u skladu sa Rankin-ovom teorijom, tj. :

$$\frac{\sigma_H}{\sigma_V} = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi^0}{2} \right),$$

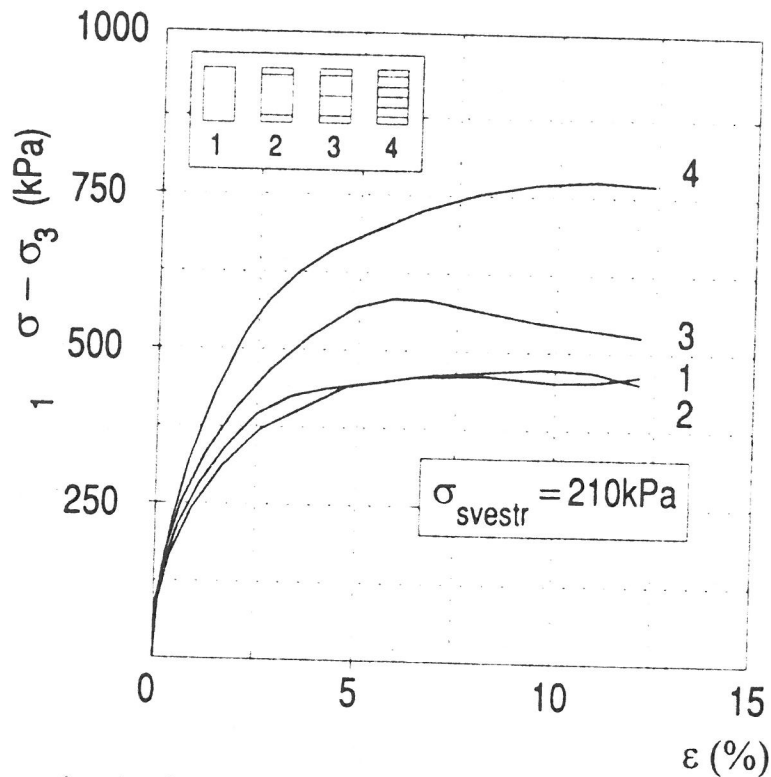
odnosno :

$$\sigma_H = \sigma_V \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\phi^0}{2} \right)$$



Sl. 5. Prikaz uslova ravnoteže na Mohr-ovom krugu.

Povećanjem čvrstoće tla armiranjem bavio se istraživač Broms. On je u triaksijalnom aparatu ispitivao uzorke zbijenog peska ojačanog sa jednom, dve, tri i četiri armature od geotekstila. Maksimalni konsolidacioni pritisak bio je 210 kPa. Dobijene rezultate prikazujemo na Sl. 6.



Sl. 6. – Rezultati triaksijalnog ispitivanja ojačanja tla primenom geosintetičke armature.

Iz dijagrama na gornjoj slici vidi se porast čvrstoće tla sa povećanjem broja nivoa sa geosintetičkom armaturom.

### Geoarmatura kod armiranja tla.

Ranije su, u početnom periodu izrade potpornih konstrukcija od armiranog tla, kao armatura uzimane trake od aluminijumske legure, koja ne rđa. Dimenzije traka bile su : širine 50 mm, debljine 3-4 mm, a dužine prema potrebi. Jedan betonski blok su, sa tlom, vezivale 4-5 aluminijumske trake. Ovakvo sredstvo armiranja bilo je skupo i nedovoljno praktično za rad, a po konstrukciju,

u odnosu na primenu geo-plastične armature, manje sigurno.

Sada se umesto aluminijumske armature primenjuje armatura od plastike, vrlo često geomreža, ređe geotekstil i plastične trake.

Mreža od plastike naziva se plastična mreža, geosintetička mreža ili geomreža. Navedeni treći naziv je najčešće u upotrebi. Kao armatura u primeni je podjednako jednoaksijalna i dvoaksijalna geomreža.

Plastični materijal od kojih se spravljaju geomreže je od poliestera (PET) ili poliolefina (polipropilen (PP) i polietilen (PE)). U zadnje vreme se primenjuju visoko otporni plastični materijali za izradu geomreža kao aramid (A) ili polivinil alkohol (PVA). Ova zadnja dva proizvoda, visokih mehaničkih i deformabilnih svojstava još uvek se retko upotrebljavaju u građevinarstvu, zbog visoke cene

Poliester je stabilniji materijal u mehaničkom smislu. Posедуje znatnu čvrstoću i otpornost na zatezanje. Geomreža se dobija tkanjem poliesterskog konca.

Poliolefini (polipropileni PP, polietileni PE) imaju manje mehaničke karakteristike, a dobre otporne osobine na dejstva hemiskih i bioloških agenasa. Mreže poliolefina se liju od tečne plastike ili tkanjem polipropilenskog ili polietilenskog konca.

Geomreže mogu biti jednoaksijalne i primaju veću zatežuću silu u podužnom pravcu, dok znatno manju u poprečnom. Dvoaksijalne mreže su one koje primaju istu silu u podužnom i poprečnom pravcu. Kod armiranog tla

podjednako su u primeni, kako jednoaksijalne, tako i dvoaksijalne geomreže.

Bitna svojstva geomreža su otpornost na zatezanje ( $\beta_z$ ) i deformacija pri vršnom opterećenju, tj. dilatacija ( $\varepsilon$ ). Referentni podatak kod potpornih konstrukcija je veličina dilatacije pri vršnoj čvrstoći. Neophodno je da se, kao armatura, kod potpornih konstrukcija, primene geomreže ili geotekstili sa što manjom dilatacijom.

Orijentacione vrednosti čvrstoće na zatezanje i dilatiranje, koje trebaju da poseduju geomreže koje se upotrebljavaju pri izgradnji objekta od armiranog tla su :

- Poliesterske geomreže:  $\beta_z > 40 - 200 \text{ kN/m}^1$ ;  $\varepsilon < 12\%$ .

- Poliolifenske geomreže :  $\beta_z > 40 - 110 \text{ kN/m}^1$ ;  $\varepsilon < 20\%$

- Georeže od polivinil alkohola ((PVA):

$\beta_z > 80 - 1200 \text{ kN/m}^1$ ;  $\varepsilon < 6\%$

- Geomreže od aramida (AR) :

$\beta_z > 100 - 1800 \text{ kN/m}^1$ ;  $\varepsilon < 3\%$

· Pored zahtevane otpornosti na uticaj zatežuće sile, pri primeni geomreže kod objekata armiranog tla, potrebno je da geomreža poseduje i druga otporna svojstva. Ona treba biti otporna na hemiske uticaje koji proističu iz tla. Zatim otporna na uticaj ultravioletnog zračenja. Isto tako trebaju imati otpornost na uticaj bioloških agenasa iz tla.

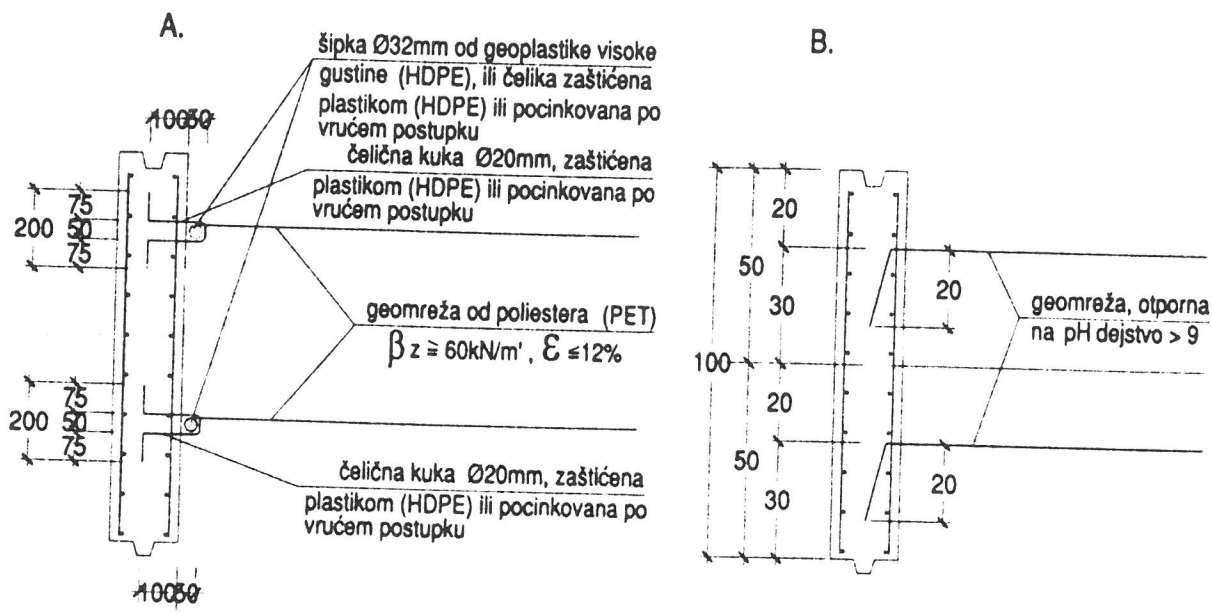
Poznato je da beton ima visoku  $pH$  vrednost od 9 do 13. Poliester (PET) reaguje na vrednosti  $pH > 9$  i degradira svoja mehanička svojstva. Polietileni (PE),

polipropileni (PP), polivinil alkoholi (PVA) ne reaguju na  $pH$  vrednosti veće od 9. Zato pri izradi potporne konstrukcije od armiranog tla ne sme se dovoditi direktno u vezu geomrežu od poliestera (PET) sa betonom, dok polietilenske (PE), polipropilenske (PP) i geomreže od polivinil alkohola (PVA) je moguće dovesti u direktnu vezu sa betonom.

Povezivanje armature od geomreže sa betonskim blokovima moguće je obaviti na više načina. U ovom radu mi ćemo obraditi i prikazati dva. Prvi je direktno sidrenje armature u beton, a drugi je indirektno povezivanje armature mreže van betonskih blokova pomoću betonskih anкера, Sl.7.

Direktno povezivanje geomreže i betona vrši se kod mreža od polipropilena (PP), polietilena (PE), polivinil alkohola (PVA), itd., koje su otporne na  $pH$  vrednosti. Indirektno povezivanje preporučuje se kad se kao armatura primenjuje geomreža od poliestera (PET), koja je neotporna na materijal čija je vrednost  $pH$  veća od 9.





Sl. 7. – Veza armature sa betonskim blokom,  
 A. direktna i B. indirektna.

U koliko se primenjuje armatura od plastičnih traka, veza sa betonskim blokovima, najčešće se obavlja specijalnim plastičnim kasetama, koje se ugrađuju u betonski blok.

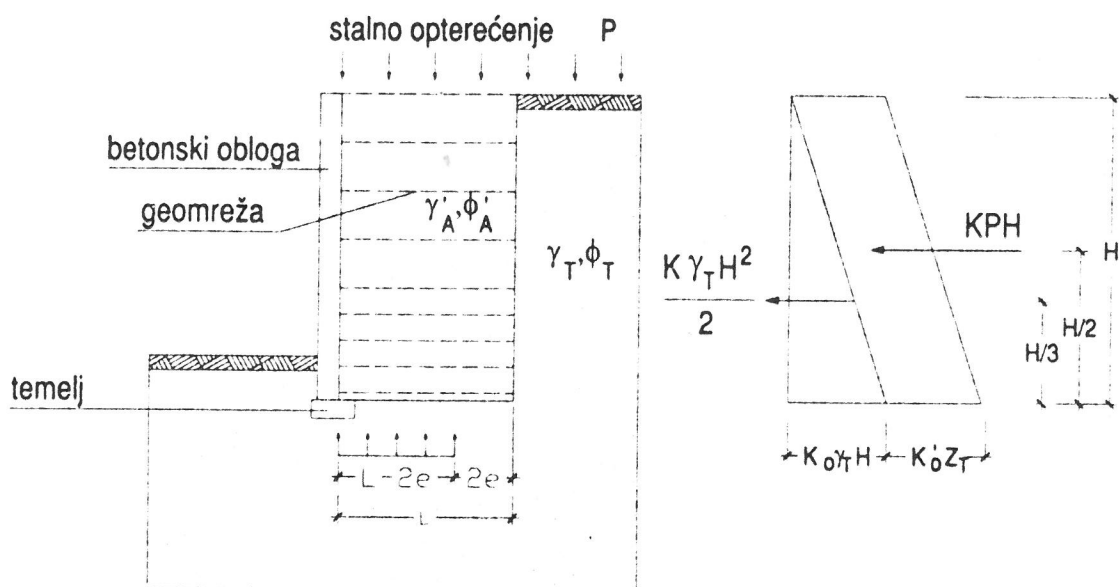
### Model za proračun stabilnosti potporne konstrukcije od armiranog tla.

Provera stabilnosti potpornog objekta od armiranog tla obavlja se analizom eksterne i interne stabilnosti.

U eksternu stabilnost spadaju provere stabilnosti potporne konstrukcije na translatorno i rotaciono pokretanje, kao i naponsko stanje na kontaktu potpornog objekta i tla. Ove analize nisu predmet ovog rada pa će se

dati samo analitiški izrazi kojima se proveravaju pomenute stabilnosti.

Eksterna stabilnost proverava se pomoću modela na Sl.8.



Sl. 8. – Model za proračun eksterne stabilnosti potporne konstrukcije od armiranog tla.

Provera stabilnosti potporne konstrukcije od armiranog tla na translatorno kretanje obavlja se faktorom sigurnosti ( $F_S^T$ ), koji se određuje sledećim izrazom :

$$F_S^T = \frac{2\mu(\gamma_i \cdot H + p)}{K_A(\gamma_T \cdot H + 2p) \cdot \frac{H}{L}},$$

gde je  $\mu \rightarrow$  koeficijent trenja između samoniklog tla i nasipa. Ostali parametri u navedenom izrazu jasni su iz slike Sl.8.

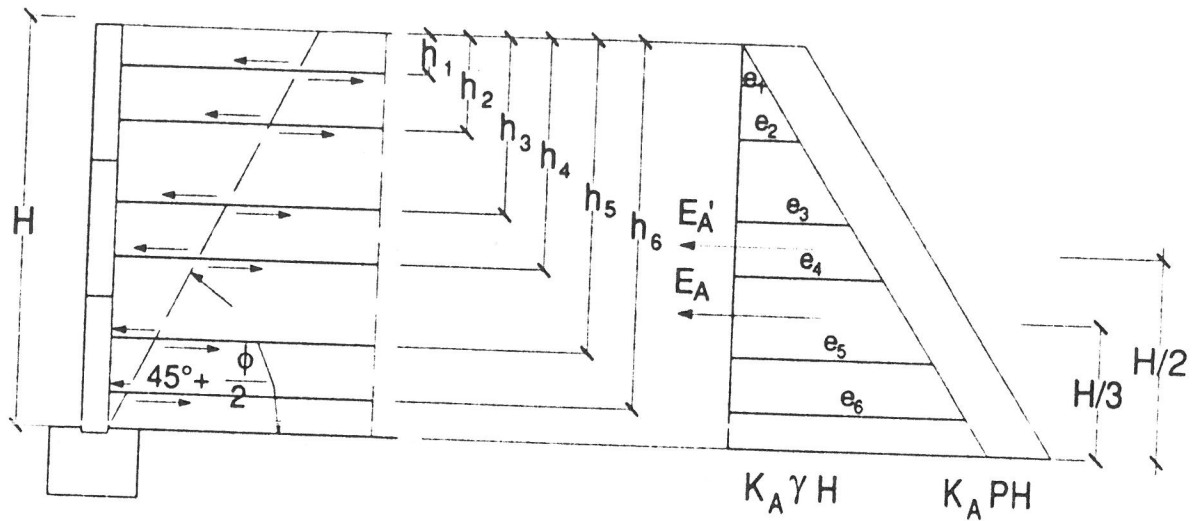
Provera stabilnosti potporne konstrukcije od armiranog tla na rotaciono kretanje obavlja se faktorom sigurnosti ( $F_S^T$ ), koji se određuje sledećim izrazom :

$$F_S^R = \frac{3(\gamma_i \cdot H + p)}{K_A(\gamma_T \cdot H + 3p) \cdot \left(\frac{H}{L}\right)^2}$$

Maksimalni napon na kontaktu između potporne konstrukcije od armiranog tla i autohtonog tla, kontroliše se analitičkim izrazom :

$$\sigma_V = \frac{\gamma_i \cdot H + p}{1 - \frac{K(\gamma_T \cdot H + 3p)}{3(\gamma_i \cdot H + p)} \cdot \left(\frac{H}{L}\right)^2}$$

Efekat armiranja tla, kod potporne konstrukcije od armiranog tla, proverava se internom stabilnošću. Pod internom stabilnošću podrazumeva se da u svakom segmentu visine konstrukcije ( $h_i$ ), sile trenja ( $t_i$ ), koje deluju na armaturu u reaktivnoj zoni objekta budu veće od sila pritiska tla ( $E_i$ ) koja dejstvuje na oblogu potporne konstrukcije. Ukupno sila trenja koja se dobije između armature i tla treba biti veća od od ukupne sile pritiska tla. Na Sl.9. prikazan je model proračuna interne stabilnosti potporne konstrukcije od armiranog tla.



Sl.9. – Model za proračun interne stabilnosti potporne konstrukcije od armiranog tla

$$E_1 = K \cdot \left( \frac{1}{2} \gamma \cdot h_1^2 + p \cdot h_1 \right) < t_1 = 2 \cdot l_1 \cdot h_1 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \phi_A \cdot \frac{1}{f}$$

$$E_2 = K \cdot \left( \frac{1}{2} \gamma \cdot h_2^2 + p \cdot h_2 \right) < t_2 = 2 \cdot l_2 \cdot h_2 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \phi_A \cdot \frac{1}{f}$$

$$E_3 = K \cdot \left( \frac{1}{2} \gamma \cdot h_3^2 + p \cdot h_3 \right) < t_3 = 2 \cdot l_3 \cdot h_3 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \phi_A \cdot \frac{1}{f}$$

$$E_4 = K \cdot \left( \frac{1}{2} \gamma \cdot h_4^2 + p \cdot h_4 \right) < t_4 = 2 \cdot l_4 \cdot h_4 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \phi_A \cdot \frac{1}{f}$$

$$E_5 = K \cdot \left( \frac{1}{2} \gamma \cdot h_5^2 + p \cdot h_5 \right) < t_5 = 2 \cdot l_5 \cdot h_5 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \phi_A \cdot \frac{1}{f}$$

$$E_n = K \cdot \left( \frac{1}{2} \gamma \cdot h_n^2 + p \cdot h_n \right) < t_n = 2 \cdot l_n \cdot h_n \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \phi_A \cdot \frac{1}{f}$$

$$\sum_1^n t > F \cdot E_A = \frac{1}{2} \cdot K \cdot \gamma \cdot H^2$$

gde je  $f = f_{mat} \times f_{v.tla} \times f_{h.zag}$ .

- $f_{mat} \rightarrow$  faktor sigurnosti u zavisnosti od materijala armature ; za poliestere 2,00 za više od 25 god. trajanja objekta, za poliolefine 4,00, za više od 25 godina trajanja objekta;
- $f_{v.tla} \rightarrow$  faktor sigurnosti u zavisnosti od vrste tla : glina, prašina, pesak, šljunak, itd. od 1,1 do 1,5;
- $f_{h.zag} \rightarrow$  faktor sigurn. u zavisnosti od hemiske zagđenosti tla od 1,0 do 1,1.

Ugao trenja između tla i geomreže ( $\phi_A$ ) određuje se u zavisnosti od vrste tla koji poseduje ugao unutrašnje otpornosti ( $\phi$ ) :

- za šljunak, pesak  $\phi_A = (0,9 - 1,0) \cdot \phi$  ;
- za glinu i prašine  $\phi_A = (0,7 - 0,9) \cdot \phi$  .

Trenje između tla i geosintetičke armature postavljene da bi se povećala čvrstoća, istraživano je, u novije vreme, od više istraživača. Dobre rezultate i korisne preporuke objavili su : Alimi 1977 g., Meyellec 1977 g., Hausmenn 1978 g., Schlosser 1978 g., Bacot 1978 g. i 1981 g., Murray 1979 g., itd.

Kao značajan rezultat prikazujemo istraživanje Jawell-a iz 1984 god. koje je obavio sa geomrežom. On je definisao analitički izraz za definisanje koeficijenta trenja ( $T$ ) između geomreže i tla, na osnovu izvršenih opita smicanja :

$$\frac{T}{\operatorname{tg}\phi} = 1 - \alpha \left( 1 - \frac{\operatorname{tg}\delta}{\operatorname{tg}\phi} \right),$$

gde je :

$\phi \rightarrow$  ugao unutrašnje otpornosti tla;

$\delta \rightarrow$  ugao trenja između tla i plastike;

$\alpha \rightarrow$  trenje ukupne površine mreže, koja se kreće od 0 do 1, zavisno od veličine zrna i otvora na mreži i iznosi : za šljunak  $\alpha = 1,00$  , za pesak  $\alpha = 0,75$  , za prašinu  $\alpha = 0,25$  .

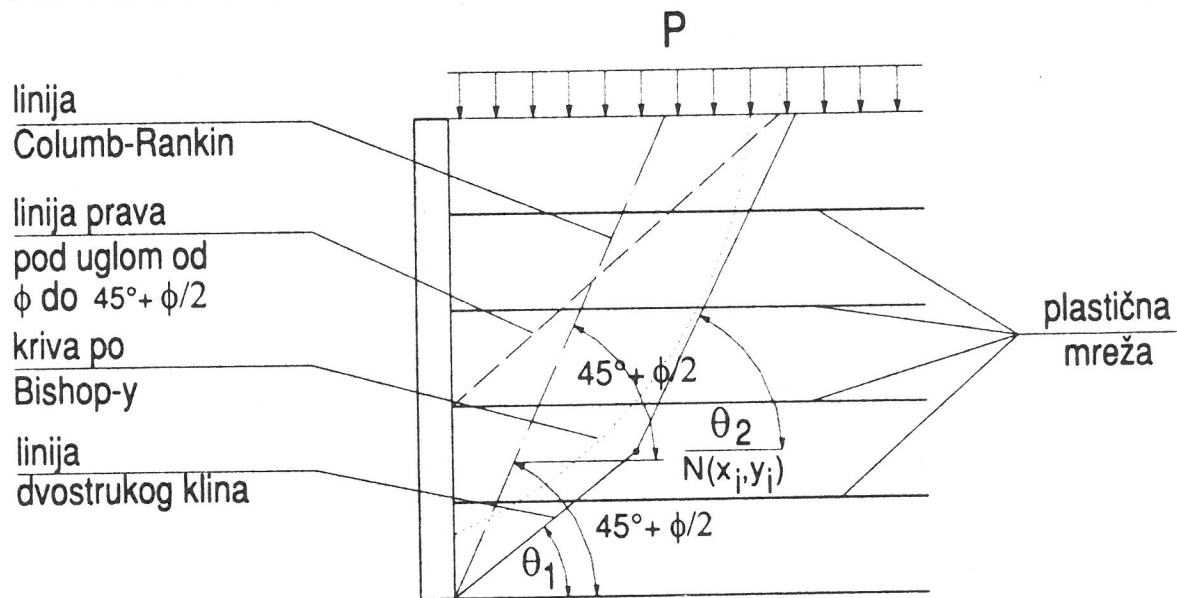
U prikazanom modelu za proračun interne stabilnosti potporne konstrukcije od armiranog tla uzeli smo da je kritični klizni sloj postavljen prema teoriji Coulomb-a i Rankin-a, pod uglom od  $45^\circ + \frac{\phi^0}{2}$ , što je u praksi uobičajno. Znači prostor između zida i kritičnog kliznog sloja, aktivna zona pritiska tla, dok je sa suprotne strane reaktivna zona, tj. zona u kome se ankeruje plastična armatura.

Međutim, zadnjih godina dosta se istražuje u smislu iznalaženja linije loma kod armiranja tla. Poznati su radovi : Schlosser i Vidal 1969 g., Walsh 1987 g., Woods i Jawel 1990 g., Lanz 1992 g., Pinto 1992 g., Gomes 1994 g., Palmier 1996 g., Perier 1999 g., itd.

Pored linije loma po Coulomb-u i Rankin-u, gore navedeni istraživači ispitivali su druge kritične klizne slojeve i objavljivali su rezultate istraživanja. Na Sl.10, prikazane su kritične linije loma koje su tretirane.



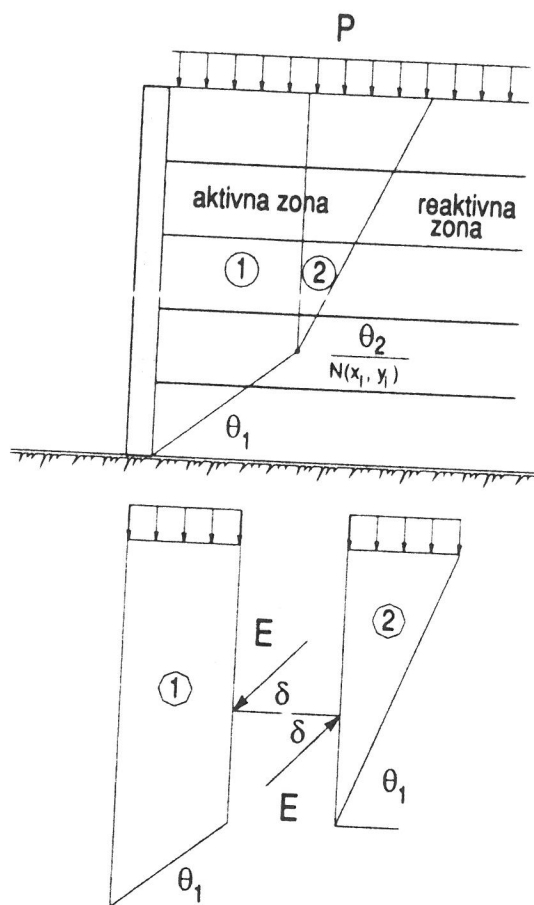
Nprimer, prava pod nagibom ugla trenja  $\phi^0$  do ugla  $45 + \frac{\phi^0}{2}$ . Zatim je tretirana kružna linija po Bishop-u i model u obliku dva klina.



Sl. 10. – Prikaz istraživanih linija kritičnog loma pri proračunu stabilnosti potporne konstrukcije od armiranog tla.

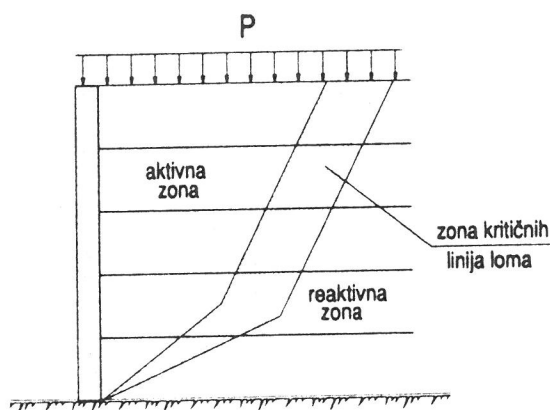
Obavljeni eksperimenti su ukazali da je najnepovoljnija linija loma, tj. linija koja daje najveći površinu aktivne zone iza potporne konstrukcije, je linija određena pomoću dva klina (Sl.11). Linija kritičnog loma pomoću dva klina, određuje se pomoću uslova ravnoteže klina 1 i klina 2. Promenom koordinata tačke  $N(x_i, y_i)$  i menjanjem uglova  $\theta_1, \theta_2$ , dobije se, za svaki izabrani klin uz poštovanje uslova ravnoteže, faktor sigurnosti  $F_S$ . Menjanjem površine klinova, što se lako obavlja računarskom tehnikom, dobije se najniži faktor sigurnosti  $F_{S-MIN}$ . Dobijen minimalni faktor sigurnosti ( $F_{S-MIN}$ ), određuje oblik i

položaj klinova, koji definišu najnepovoljniju površinu aktivne zone.



Sl.11. – Model za pronalaženje kritične linije loma pomoću dva klina.

Pri iznalaženju kritične linije loma dobija se snop klinova za koji se traži najniži faktor sigurnosti ( $F_{S-MIN}$ ). Taj snop klinova nalazi se u okviru, koji je prikazan na Sl.12.

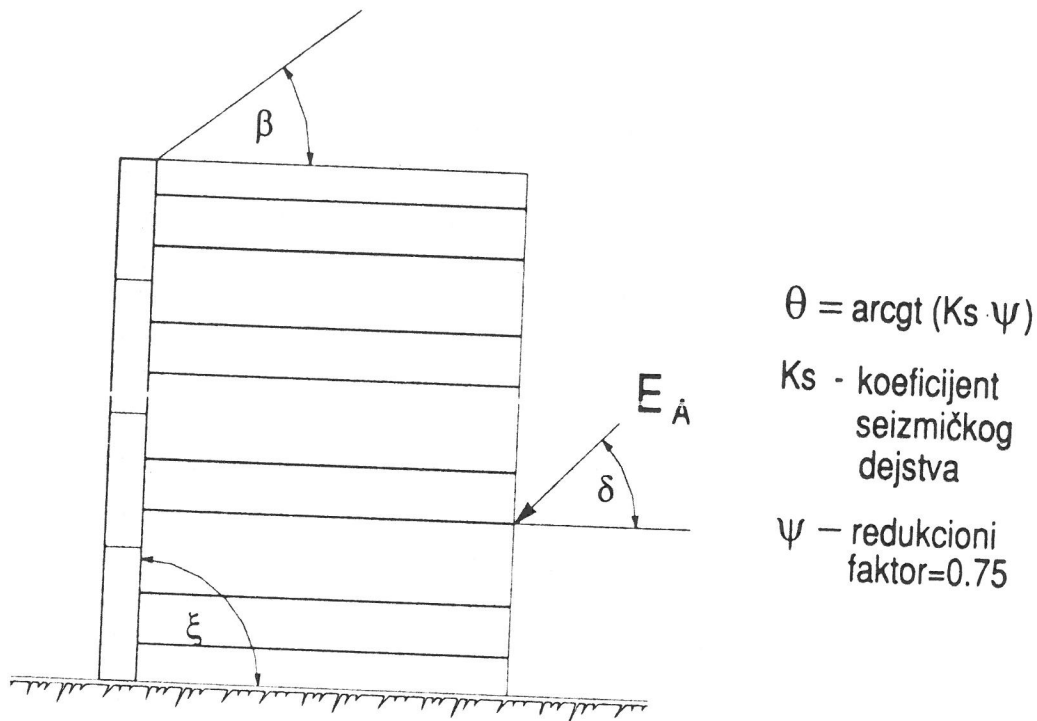


Sl.12. – Zona u kojoj se javljaju kritične linije loma po metodi dvostrukog klina.

Znači pre početka proračuna stabilnosti potporne konstrukcije od armiranog tla, potrebno je prvo odrediti kritičnu liniju loma, tj. odrediti kritične aktivne i reaktivne zone iza potporne konstrukcije.

Potporne konstrukcije od armiranog tla, u koliko se grade na terenu VII stepena seizmičnosti i više, potrebno je proveriti na stabilnost od seizmičkih uticaja. Provera se svodi na proračun koeficijenta aktivnog ( $K_A^S$ ) i pasivnog seizmičkog pritiska tla ( $K_P^S$ ). Sa ovim koeficijentima potrebno je proveriti spoljnu stabilnost potporne konstrukcije od armiranog tla. Proračun aktivnog i pasivnog koeficijenta seizmičkog pritiska tla dajemo prema standardu Evrokoda EC 8.

Model za proračun seizmičkih koeficijenata (aktivnog i pasivnog), dajemo prema sledećoj skici (Sl.13) :



Sl.13. – Model za proračun koeficijenata seizmičkog pritiska tla (aktivnog i pasivnog)

Aktivno stanje :

$$\beta \leq \phi - \theta :$$

$$K_{AD} = \frac{\sin^2(\phi - \xi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \xi \cdot \sin(\xi - \theta - \delta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \delta - \theta)}{\sin(\xi - \theta - \delta) \cdot \sin(\xi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta \geq \phi - \theta$$

$$K_{AD} = \frac{\sin^2(\phi - \xi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \xi \cdot \sin(\xi - \theta - \delta)}$$

Pasivno stanje :

$$K_{PD} = \frac{\sin^2(\xi + \phi - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \xi \cdot \sin(\xi + \theta) \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin \phi \cdot \sin(\phi + \beta - \theta)}{\sin(\xi + \beta) \cdot \sin(\xi + \theta)}} \right]^2}$$

gde je :

- $K_{AD}$  → seizmički koeficijent aktivnog pritiska tla;
- $K_{PD}$  → seizmički koeficijent pasivnog pritiska tla;
- $\phi$  → ugao unutrašnje otpornosti tla ;
- $\delta = \left( \frac{1}{2} - \frac{2}{3} \right) \phi$  → ugao otpora smicanja između tla i potpornog zida;
- $\theta = \arctg(K_S \cdot \psi)$ ;
- $K_S$  → koeficijent seizmičkog intenziteta;
- $\psi$  → koeficijent redukcije = 0,75;

Provera stabilnosti građevinskih konstrukcija armiranih geosintetikom na uticaja zemljotresa, uspešno se može obaviti primenom modela Mononbe-Okabe, koji se definiše izrazom :

$$K_{AD} = 0,67 \times \ddot{x} \times \left( \frac{\ddot{x} \times 2,5}{d} \right)^{0,25} ;$$

gde je :

$$\ddot{x} \rightarrow \text{ubrzanje tla (m/sec}^2\text{)} ;$$

$d \rightarrow$  dopuštena horizontalna defleksija .

Tlo od koga se gradi objekat od armiranog tla mora biti u geomehaničkom smislu kvalitetno. Neophodno je da poseduje sledeće kvalitete :  $\gamma > 18 \text{ kN/m}^3$  i  $\phi > 25^\circ$ ; da tlo nije zagađeno hemiskim agresivnim agensima na geotekstil i da poseduje muljevutih čestica manje od 4%.

Konstrukcije od armirane zemlje su plitkofundirane potporne konstrukcije. One se zato mogu upotrebljavati kod stabilnih terena morfološki jednostavnijih, bez velikih hipsometriskih razlika bliskih tačaka.

## **POTPORNE KONSTRUKCIJE OD TLA I GEO-PLASTIKE SA I BEZ OBLOGE**

Konstrukcije od tla (sitnozrnog ili krupnozrnog) i tkanog geotekstila nazivaju se potporne konstrukcije od tla i geo-plastike.

Potporne konstrukcije od tla i plastike sa i bez obloge znatno se primenjuju u savremenom građevinarstvu, kao konstrukcije efikasne tehnologije, brze za izvođenje i vrlo racionalne. One se rade sa oblogom ili bez obloge, kako je prikazano na Sl.14. A i B. Obloga nema noseću funkciju, već samo zaštitnu, estetsku i dekorativnu.

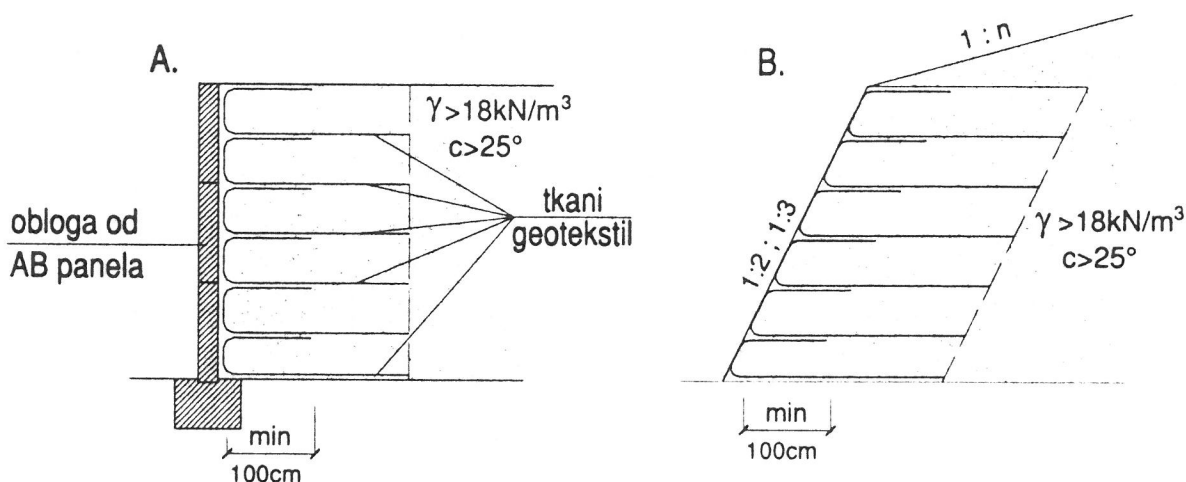
Ove potporne konstrukcije upotrebljavaju se do visina 3-4 m<sup>1</sup>. Obloga je od betona, izlivena na licu mesta ili prefabrikovana pa montirana na mesto predviđeno na konstrukciji.



Potporne konstrukcije od tla i geo-plastike grade se postepeno od dna ka vrhu, sukcesivno, polaganjem armature i izradom nasipa. Nasip se gradi prema tehničkim uslovima za izradu nasipa na putevima.

Noseću funkciju ove konstrukcije preuzima interakcija između tla i armature. Znači trenje, koje se javi u reaktivnoj zoni objekta, između armature od plastičnog materijala i tla drži konstrukciju u stabilnom stanju.

Armatura koja se koristi kod ovih objekata je tkani geotekstil od poliesterskog (*PET*), polipropilenskog (*PP*) ili polietilenskog (*PE*) konca.



Sl.14. – Potporna konstrukcija od tla i geo-plastike :  
(A, sa oblogom, B. bez obloge)

Orijentacione vrednosti glavnih mehaničkih karakteristika čvrstoće na zatezanje ( $\beta_z$ ) i maksimalne dilatacija ( $\varepsilon$ ) geotekstila, za ovu vrstu konstrukcije, su za tkani geotekstil od poliestera, polipropilena ili polieti-

lena:  $\beta_z = 20 - 200 \text{ kN/m}^1$ , a dilatacija pri vršnoj čvrstoći  $\varepsilon < 12\%$ .

Tlo koje se upotrebljava u konstrukciji potrebno je da poseduje sledeće geomehaničke karakteristike :

$\gamma > 18 \text{ kN/m}^1$ ;  $\phi > 25^\circ$ ; da tlo nije zagađeno hemijskim agresivnim agensima na geotekstil i da poseduje muljevitihi čestica manje od 4%.

Proračun stabilnosti kosine posle ojačanja, tj. armiranja može se proveriti jadnom od metoda granične ravnoteže sa kružnom kliznom površinom, npr. metodom *Bishop - a*, *Fellinius - a*, itd., prema modelu na Sl.15.

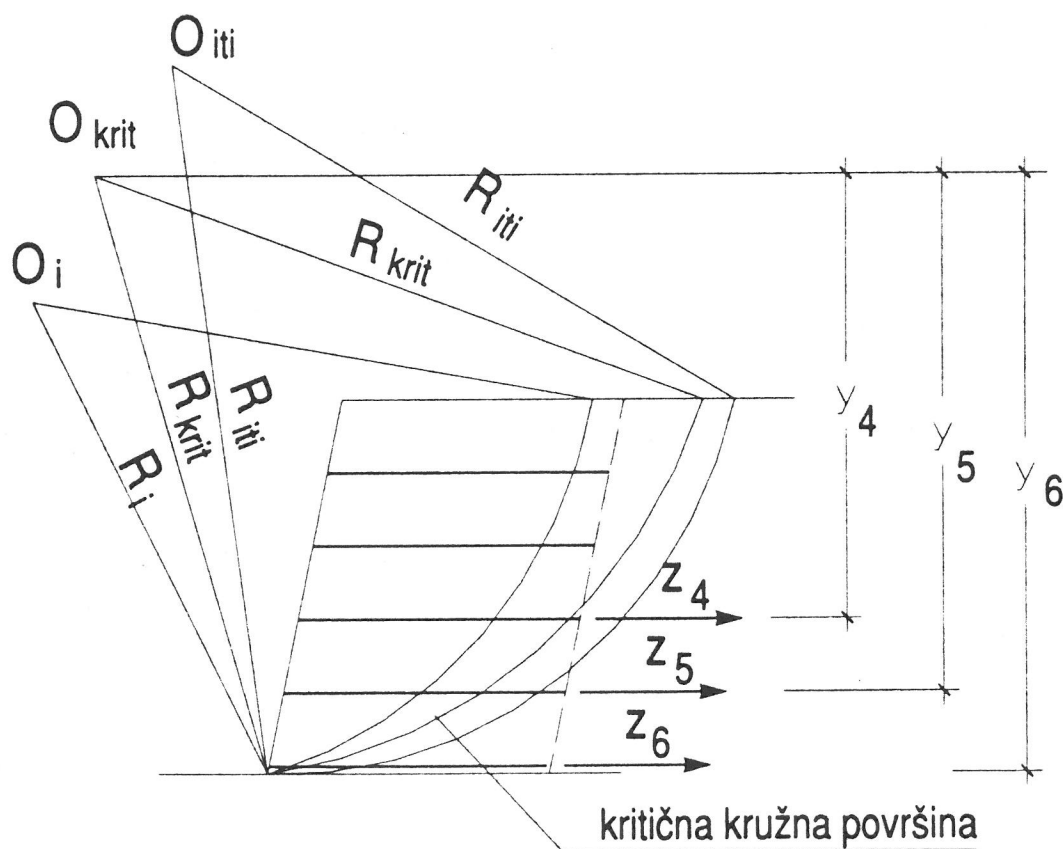
Numerička analiza armiranja kosina geotekstilom ili geomrežom se obavlja izrazom :

$$F = \frac{\sum [C' \cdot l_i + (\sigma_{Ni} - U_i \cdot l_i) \cdot \text{tg} \phi'] + \sum Z_i \cdot \left( \frac{y_i}{R} \right)}{\sum G_i \cdot \sin \alpha_i}$$

gde je :

- $C'$  → kofezija za efektivne napone;
- $\phi'$  → ugao unutrašnje otpornosti za efektivne napone;
- $l_i$  → dužina lamele  $i$ ;
- $\sigma_{Ni}$  → normalni napon u osnovi lamele;
- $U_i$  → porni pritisak u osnovi lamele;
- $G_i$  → težina lamele  $i$ ;

- $\alpha_i \rightarrow$  nagib klizne površine u osnovi lamele  $i$  ;
- $Z_i \rightarrow$  zatežuća sila u armaturi od geotekstila ili geomreže;
- $y_i \rightarrow$  rastojanje sile  $Z$  od centra kružne klizne površine;
- $R \rightarrow$  poluprečnik kružne klizne površine;
- $F \rightarrow$  faktor sigurnosti = 1,5 -2,0 u zavisnosti od značaja objekta i istraženosti tehničkih činjenica.



Sl. 15. – Model za proračun stabilnosti potporne konstrukcije od tla i geo-plastike sa i bez obloge.

Zatežuću silu u armaturi ( $Z$ ) odrediti na osnovu vršne zatežuće čvrstoće na zatezanje ( $\beta_{zf}$ ) za vrstu geotekstila koji se primenjuje u konstrukciji, tj. :

$$Z = \frac{\beta_{zf}}{f}$$

gde je  $f = f_{mat} \times f_{v.tla} \times f_{h.zag}$ .

- $f_{mat}$  → faktor sigurnosti u zavisnosti od materijala armature ; za poliestere 2,00 za više od 25 god. trajanja objekta, za poliolefine 4,00, za više od 25 godina trajanja objekta;
- $f_{v.tla}$  → faktor sigurnosti u zavisnosti od vrste tla : za gline i prašina 1,4-1,5; za peskove 1,3-1,4; za šljunkove 1,1- 1,3; za tucanik 1,0-1,1 i lomljen kamen 1,0
- $f_{h.zag}$  → faktor sigurn. u zavisnosti od hemiske zagđenosti tla od 1,0 do 1,1.

Ugao trenja između tla i geotekstila ( $\phi_A$ ) određuje se u zavisnosti od vrste tla koje poseduje ugao unutrašnje otpornosti ( $\phi$ ) :

- za šljunak, pesak  $\phi_A = (0,7 - 0,9) \cdot \phi$  ;
- glinu i prašine  $\phi_A = (0,7 - 0,8) \cdot \phi$  .

Nasip može biti izgrađen od sitnozrnog (glina, prašina) ili krupnozrnog (pesak, šljunak, tucanik, kamen) tla.

Preko prostrte geoplastične armature razastira se sloj nasipa, određene debljine, zatim ravna i zbija, prema tehničkim specifikacijama.

Svaki red plastične armature potrebno je pri kraju nasipa (blizu kosine), presaviti i prebaciti preko ugrađenog sloja nasipa. Preklop u drugom, narednom sloju, treba biti najmanje 120 cm., Sl.16. Na ovaj način postiže se ankerisanje plastične armature i veća stabilnost nasipa.

Konstrukcije od tla i geo-plastike su plitkofundirane potporne konstrukcije, pa ih kao armiranu zemlju treba graditi kod stabilnih terena morfološki jednostavnijih, bez velikih hipsometrskih razlika bliskih tačaka.

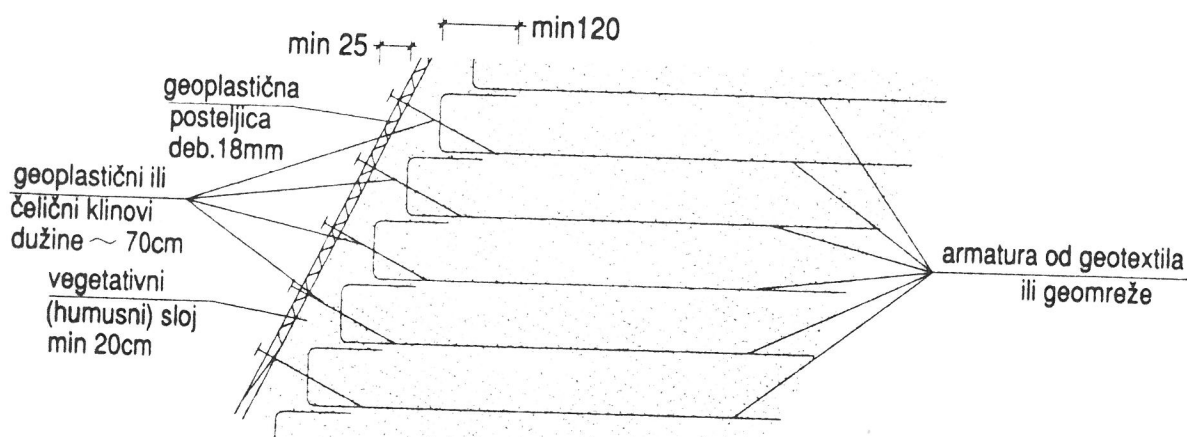
Potporne konstrukcije od tla i geo-plastike sa oblogom rade se u gradskim sredinama, vidnim potpornim konstrukcijama na putevima, a potporne konstrukcije bez obloge raditi kod konstrukcija koje nisu vidne na putevima, kao, npr. nožični zidovi ili kod privremenih potpornih konstrukcija.

Obloga potporne konstrukcije može biti od armiranog betona debljine 10 do 15 cm, betonirana na licu mesta ili montažna, od blokova, spremljenih u fabrici betona, dopremljeni na gradilište i postavljeni. U zavisnosti za lepši izgled potporne konstrukcije i raspoloživog materijala, obloga se može raditi od betonskih blokova, kamena, cigala, plastičnih panoa, itd..

Potporne konstrukcije od tla i geo-plastike bez obloge, često se iz estetskih razloga, oblažu humusnim materijalom, koji se drži u stabilnom stanju pomoću geoplastične posteljice pričvršćene klinovima od plastike ili

čelika za masu tla u nasipu, (Sl.16). Površinu humusa moguće je zasejati travom. Ovo potpornoj konstrukciji daje lep izgled.

U koliko se potporna konstrukcija radi bez ikakve obloge, potrebno je da geositetučka armatura (geotekstil, geomreža) bude otporna na ultravioletne zrake, (UV zrake).



Sl. 16. – Zaštita kosina kod potpornih konstrukcija od tla i geo-plastike, geo-plastičnom posteljicom.

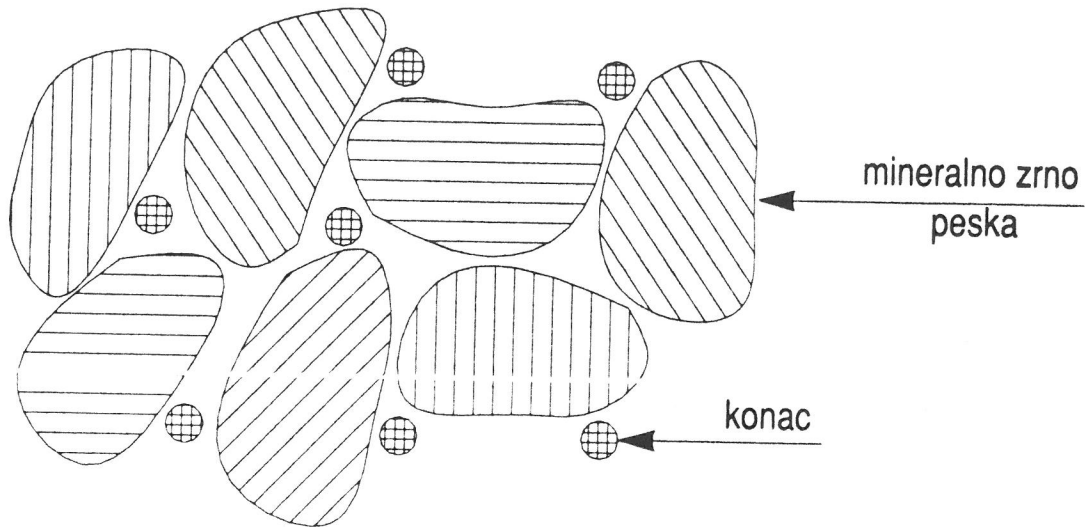
## PRIMENA TEKSOL-a PRI GRADNJI OBLOŽNIH I POTPORNIH KONSTRUKCIJA

Teksol je novi postupak ojačanja prirodnog mineralnog agregata, peska, sa geo-plastičnim sintetičkim koncem. Ovim postupkom dobija se novi, izvedeni, materijal koji se, najčešće, upotrebljava za izradu obložnih i potpornih konstrukcija. Navedena dva materijala, pesak i sintetički konac, mešaju se na licu mesta određenim tehnološkim postupkom: mehaničkim, pneumatičkim ili

hidrauličkim. Ovako izmešana dva materijala, mineralni pesak i sintetički konac, intimno su sjedinjeni i takva mešavina postaje jedan homogen materijal koji se naziva TEKSOL.

Konac u miljeu mineralnog agregata treba da bude kontinualan, bez prekida, dugačak, kako bi se uspostavila veza sa mineralnim agregatom na principu ankerovanja i povezivanja, (Sl.17). Dugačka nit konca kovrdžavo ugrađena u mineralnu masu stvara mrežu u kojoj se nalaze zrna mineralnog materijala. Konac u ovom slučaju zamenjuje, u mineralnom materijalu, klasično vezivo (cement, bitumen, kreč, itd.) Na ovaj način povećava se otpornost mineralnog agregata, tako da se može upotrebiti za građevinske objekte. Ovako ojačano prirodno mineralno tlo je otporno na mehaničke uticaje i propustljivo za vodu. TEKSOL zadržava vizuelan izgled prirodnog materijala i pogodna je podloga za vegetaciju. Ovaj postupak prvi put je primenjen krajem osamdesetih godina prošlog veka. Primena TEKSO-la pri gradnji obložnih ili potpornih konstrukcija je često ekonomičnija u odnosu na klasične betonske konstrukcije





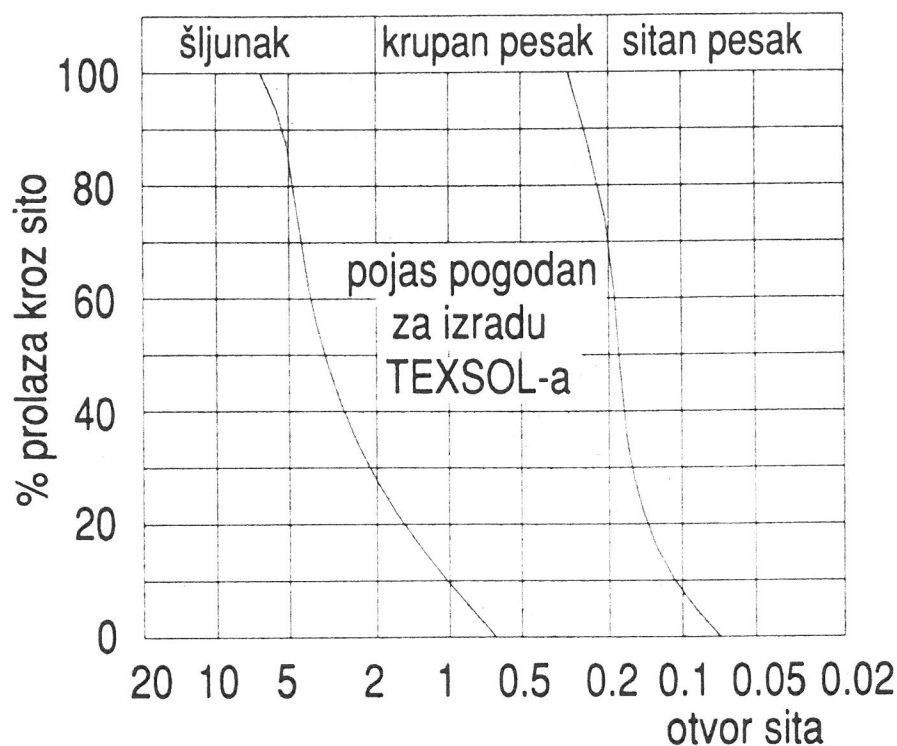
Sl.17. – Ilustrovani prikaz principa povezivanja zrna peska i sintetičkog konca.

## Materijali i svojstva postupka TEKSOL

Materijali koji sačinjavaju postupak TEKSOL, čine pesak i plastični konac.

Kao pesak primenjuje se prirodni, mineralni, granularni materijal, sa procentom prašinih i glinovitih čestica manje od 5%. Poželjno je da granulometrija peska koji se primenjuje u postupku TEKSOL bude u granicama datim dijagramom na Sl. 18.





Sl. 18. – Pojas pogodnog granulometriskog sastava mineralnog agregata za postupak TEKSOL.

Materijal koji povezuje zrna peska je plastični konac, beskonačne dužine, sačinjen od polipropilena (PP) ili poliamida (PA) ili poliestera (PET), itd. Debljina konca je najčešće 0,1 mm. Plastični konac treba da poseduje čvrstoću na zatezanje od 500 do 2000 kPa, u zavisnosti od potrebe.

Do današnjih dana postupak TEKSOL obavljan je samo na ojačanju peska kao sirovinskog materijala. Postupak nije primenjen na druge granularne materijale kao : gline, prašine, šljunkove, kamenu drobinu, itd. Ovo ne znači da se u buduće postupak u modifikovanoj formi neće primenjivati i na navedene materijale, a naročito na krupnozrna tla kao što su šljunak i kamena drobinu..

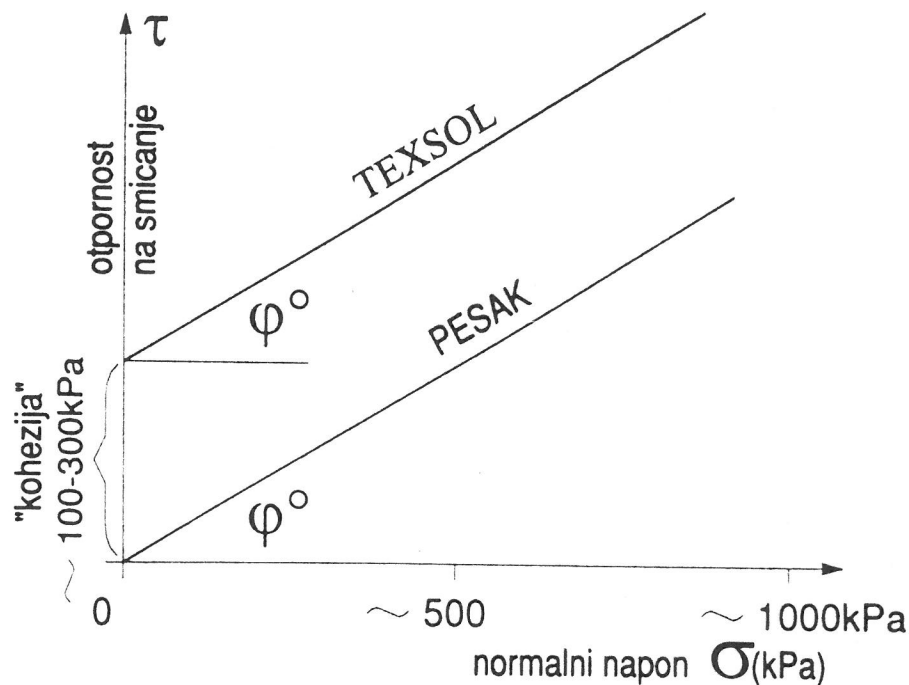
Mešavina peska i konca najčešće se vrši u procentu 0,1 do 0,2 % težinske količine konca u odnosu na suhu zapreminsku težinu mineralnog materijala.

Konac, u postupku TEKSOL, dozira se pomoću jedinice DESITEX. Jedinica DESITEX (gr/km) je dužina konca od 1 km, mase 0,1 grama. To znači da dozaža od 0,2 % konca od 150 DESITEX-a (15 gr/km), u mineralnom materijalu zapreminske težine  $18 \text{ kN/m}^3$ , sadrži  $24 \text{ cm}^1$  konca u  $1 \text{ cm}^3$  ojačanog granularnog materijala.

Prisustvo konca u mineralnom prirodnim tvorevinama ima efekat da izazove koheziju u granularnoj prirodnoj tvorevini, pesku. "Kohezija" se postiže vezivanjem zrna mineralnog materijala koncem, pa ta mehanička veza zamenjuje koheziju u krupnozrnom (nekoheretnom) materijalu. Postojanje konca u mineralnoj prirodnoj tvorevini stvara dodatnu vezu između granularnih zrna "koheziju", dok trenje između zrna osnovne prirodne tvorevine ostaje isto.

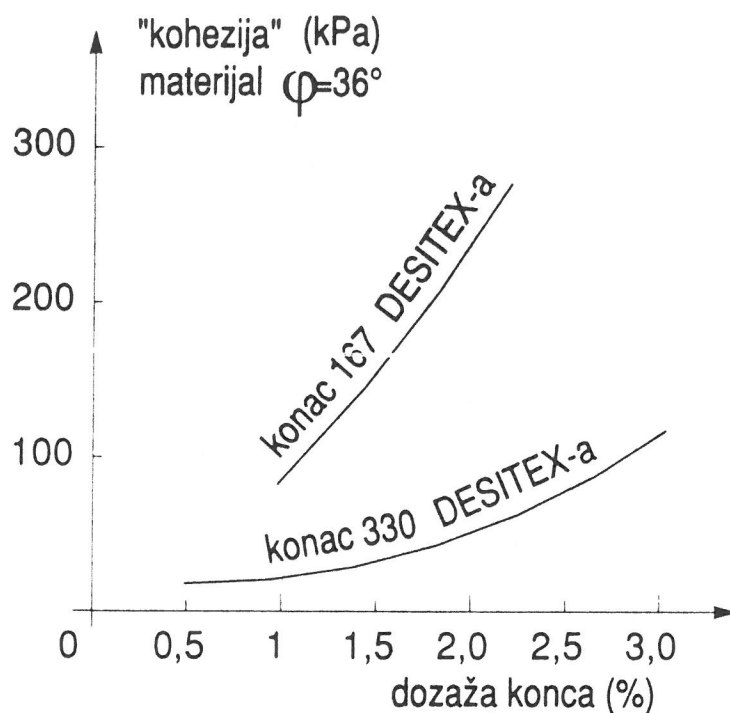
U zavisnosti od dozaže konca u mineralnoj masi, javlja se "kohezije" u veličini od 100 do 300 kPa.

Opitima, prirodne mineralne tvorevine peska, pojačanog postupkom TEKSOL, u triaksijalnom aparatu dobijen je dokaz o dejstvu konca u mineralnoj masi. Rezultat triaksijalnog ispitivanja dat je na Sl. 19.



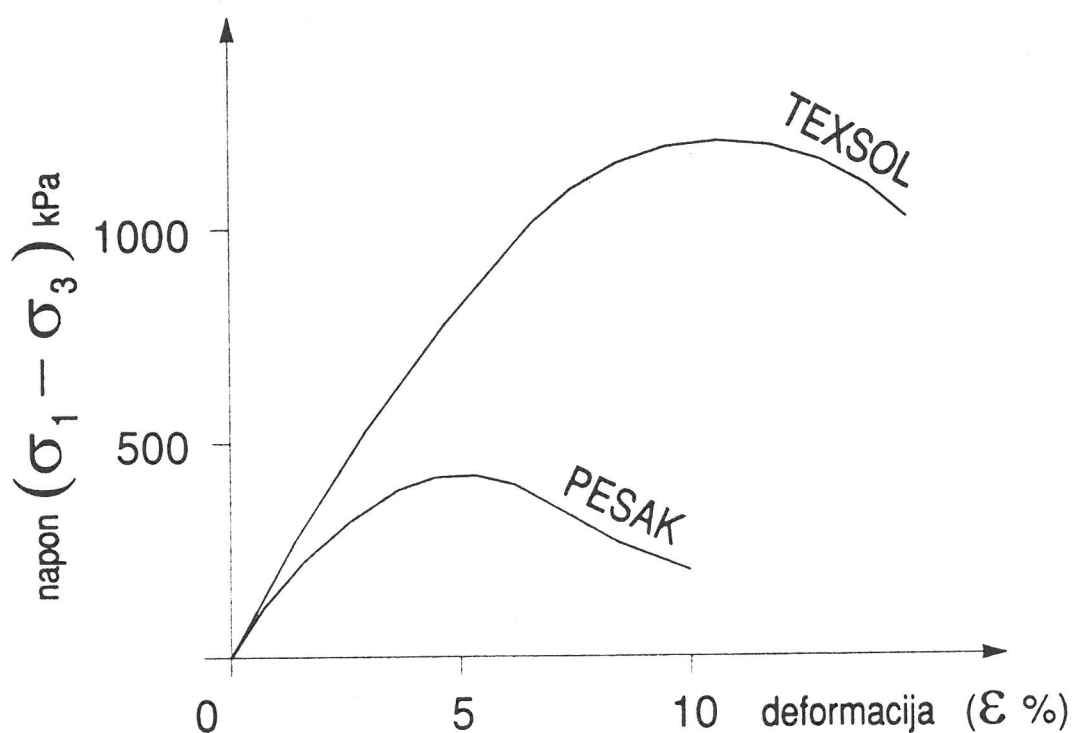
Sl. 19. – Odnos između normalnih ( $\sigma$ ) i smičućih napona ( $\tau$ ) TEKSOL-a i prirodnog peska.

Odnos promene “kohezije” dodatkom plastičnog konca, prikazan je na Sl. 20. Iz dijagrama se vidi da se sa povećanjem količine konca, povećava “kohezija” u TEXOL-u. Približno za povećanje količine konca od 1 %, “kohezija” u TEXOL-u povećava se za 30 do 100 %.



Sl. 20. – Porast "kohezije" kod TEKSOL-a u zavisnosti od procenta dozaže i kvaliteta plastičnog konca.

Opitima obavljenim na uzorcima TEKSOL-a u triaksijalnom aparatu Sl. 21, potvrđen je rezultat dobijen opitima direktnog smicanja. Odnos ojačanog i prirodnog peska prikazan u dijagramu triaksijalne kompresije, pokazuje porast mehaničke čvrstoće kod postupka TEKSOL.

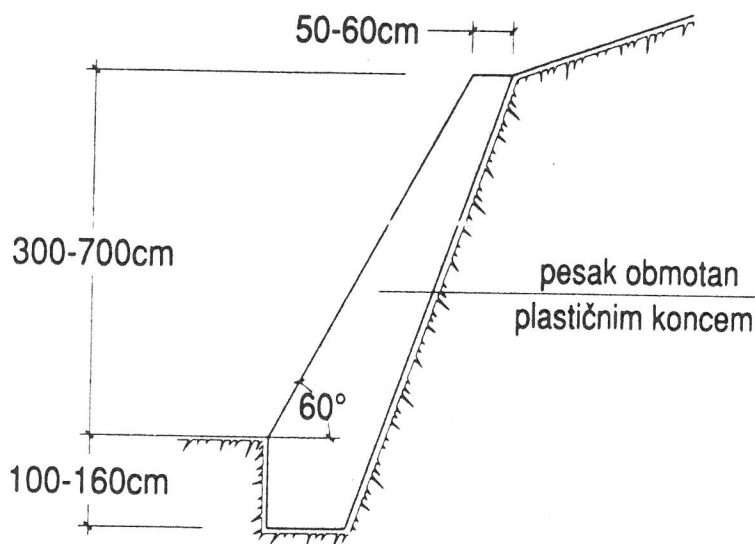


Sl. 21. – Dijagram povećanja dilatacija TEKSOL-a u zavisnosti od rasta napona u triaksijalnom aparatu.

Interesantan nalaz je da je Teksol otporan na dejstvo erozije. Oпитom je utvrđeno da se za 600 mm vodenog taloga u trajanju od 20 sati u TEKSOL-u ostvari erozija od oko 16 mm. Što znači da bi potporna konstrukcija od TEXOL-a, u našim uslovima (prosečne godišnje padavine 600 mm), za 20 godina erodirala 16 mm. Ova činjenica ukazuje da površinu potporne konstrukcije od TEXOL-a, treba štiti od erozije.

Postupak Teksol upotrebljava se za izradu obložnih i potpornih konstrukcija. Često je ovaj postupak povoljniji za izradu obložnih i potpornih konstrukcija, nego klasični materijali od betona ili kamena. Radi ilustracije daje se

jedan šematski prikaz obložne i potporne konstrukcije od ojačanog materijala postupkom Teksol, Sl. 22.

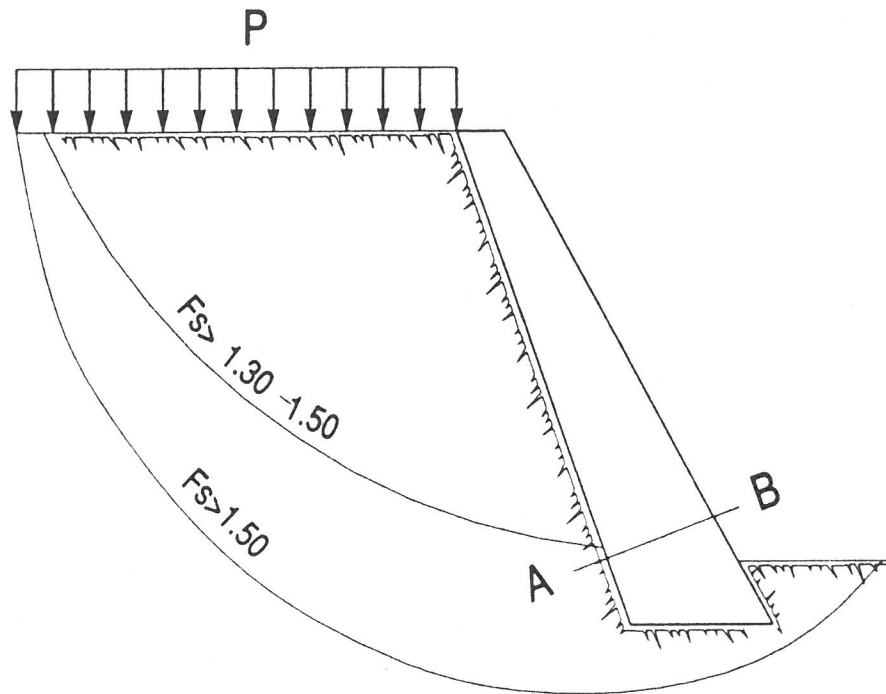


Sl.22. – Tipičan prikaz poprečnog preseka obložne ili potporne konstrukcije od TEKSOL-a

- Model statičkog proračuna potporne konstrukcije od Teksol-a.

Dimenzije konstrukcije od Teksol-a neophodno je proveriti na :

- opštu stabilnost prirodnog terena i konstrukcije, metodom *Bishop*-a ili *Felenijus*-a, klizni sloj ispod i kroz konstrukciju, Sl.23;
- na smičuću otpornost potporne konstrukcije od TEKSOL-a u kritičnom preseku A-B, Sl.73.

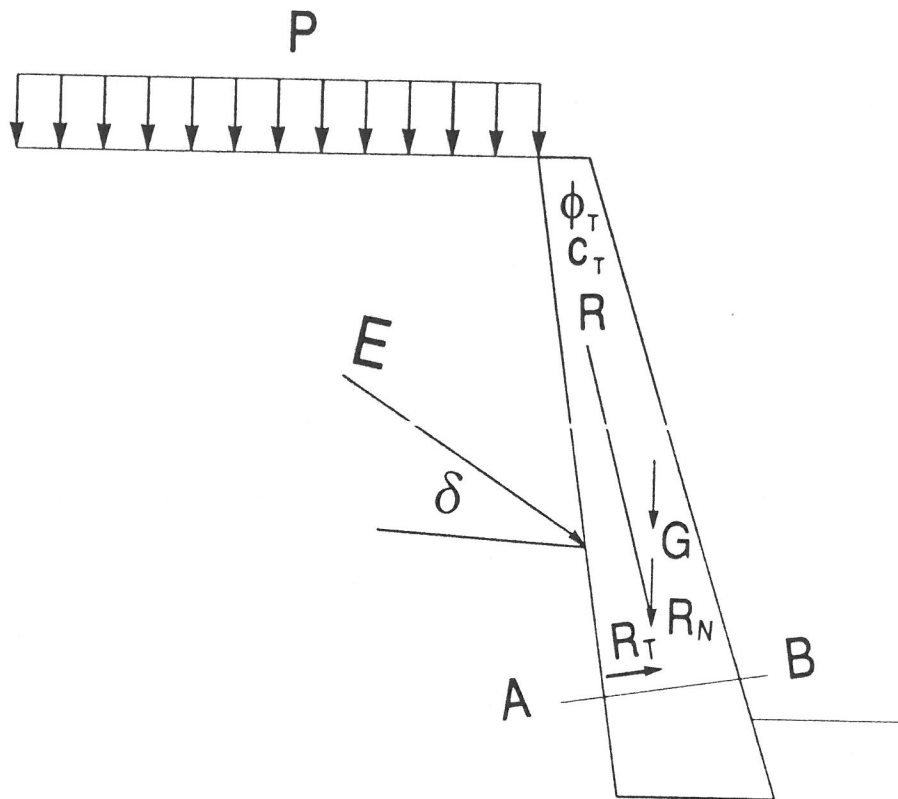


SL.23. – Provera stabilnosti objekta od TEKSOL-a i terena na kome je objekat postavljen.

Sile otpora u kritičnom preseku (A-B), (Sl.24), konstrukcije od TEKSOL-a, nastaju trenjem i “kohezijom” koje se javljaju u TEKSOL-u. Komponenta dejstva svih sila u ravni A-B,  $R_T$ , treba biti jednaka ili manja od dejstva otpornih sila nastalih od trenja i kohezije. Analitički izraz navedene postavke je :

$$R_T \leq \frac{1}{F_S} (R_N \cdot \operatorname{tg} \phi_T + C_T \cdot A\bar{B}), \text{ gde je :}$$

- $F_S \rightarrow$  faktor sigurnosti, vrednosti 1,35 do 1,50 ;
- $\phi_T \rightarrow$  trenje tla u objektu sagrađenom od TEKSOL-a ;
- $C_T \rightarrow$  “kohezija” u objektu sagrađenom od TEKSOL-a.



Sl. 24. – Prikaz sila koje utiču na smičuću otpornost zida od TEKSOL-a.

- Tehnologija postupka Teksol.

Postupak Teksol obavlja se pomoću specijalne mašine. Ona je sastavljena iz dva dela. Jedan deo mašine namenjen je dovedu mineralne prirodne tvorevine (pesak), a drugi deo mašine je za izbacivanje konca. Doved peska može biti mehanički, hidraulički ili pneumatički. Izbacivanje konca vrši se, najčešće, hidraulički pod pritiskom.

Mešanje mineralnog agregata i konca obavlja se na mestu ugrađivanja. Potporna konstrukcija izgrađuje se u horizontalnim slojevima, debljine 10 cm. Svaki sloj ojačanog mineralnog agregata zbija se platvibratorima.



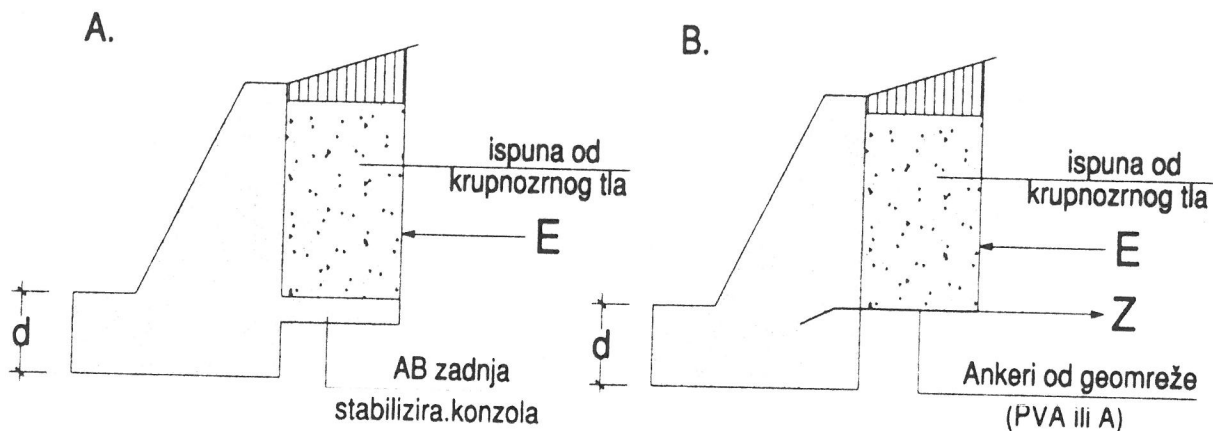
Specijalna mašina za obavljanje postupka Teksol poseduje pokretnu "strelu", koja je mobilna od nožice do vrha potporne građevine. Pomoću "strele" omogućava se mešanje na mestu ugrađivanja mineralnog agregata i konca na svim nivoima potporne konstrukcije.

Ovakom tehnologijom postupka Teksol-a, moguće je pripremiti oko 600 tona materijala od peska i konca na dan.

## **POTPORNI ZIDOVI ANKEROVANI GEOMRE- ŽAMA**

Klasični potporni zidovi dobijaju veću stabilnost izradom zadnje stabilizirajuće konzole. Konzola je od armiranog betona. Umesto betonske konzole, ankerovanje je moguće obaviti plastičnom armaturom, Sl. 25.A.

Plastične geomreže koriste se kao ankeri klasičnih, gravitacionih potpornih zidova (Sl.25.B). Ankerovanje potpornog zida, klasičnog tipa, geomrežom dobija se sila koja direktno smanjuje uticaj pritiska tla (E) na stabilnost potpornog zida, naročito na translaciono i rotaciono kretanje, a znatno se smanjuju i pritisci zida na tlo, tj. naponi u tlu od opterećenja potpornog zida postaju manji.



Sl.25A. – Klasičan potporni zid sa uticajima, B. ankerovan potporni zid sa uticajima.

Iz Sl.25.B, vidi se da se moment sile pritiska tla, primenom ankeru smanjuje za iznos:

$$M_R = Z \times d$$

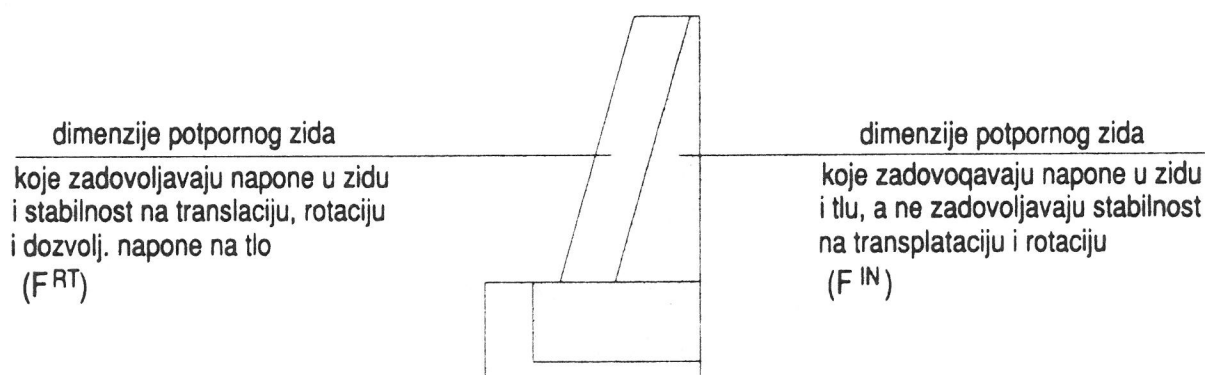
Isto tako sila pritiska tla  $E$ , smanjuje svoje dejstvo na potporni zid za veličinu sile  $Z$  u ankeru.

Objašnjenim veličinama povećava se stabilnost potpornog zida na translatorna i rotaciona pomeranja, kao i naponsko stanje na tlu ispod potpornog zida.

Poznato je da potporni zidovi imaju velike dimenzije jer se sili pritiska tla suprotstavljaju isključivo gravitacijom, tj. svojom masom. Poštujući ovaj princip dobijaju se veće dimenzije potpornog zida, isključivo što sila pritiska tla izaziva povećanje dimenzija potpornog zida da bi se osigurala stabilnost na rotaciono i translatorno pomeranje. Od sile pritiska tla ( $E$ ), u samoj konstrukciji potpornog zida, izaziva se naponsko stanje koje zahteva

manje dimenzije potpornog zida, nego dimenzije koje su neophodne da bi se zadovoljili uslovi stabilnosti na translatorno i rotaciono pokretanje potpornog zida. Na Sl.26, prikazan je, kod jednog klasičnog potpornog zida, odnos potrebnih dimenzija, koje su neophodne da bi se primili pritisci tla u samoj konstrukciji i dimenzije zida koje su potrebne da bi se zadovoljio uslov stabilnosti na rotaciju i translaciju.

Odnos potrebnih dimenzija za zadovoljenje unutrašnjih napona u potpornom zidu i dimenzija koje su potrebne za regulaciju translatornog i rotacionog kretanja, kao i naponsko stanje u tlu, određuje se koeficijentom povećanja dimenzija  $K_P^{TR}$ .



Sl.26. – Odnos potrebnih dimenzija potpornog zida da bi se zadovoljili unutrašnji naponi i dimenzija koje su neophodne da bi osigurale stabilnost potpornog zida na translaciono i rotaciono kretanje.

Koeficijent povećanja dimenzija potporne konstrukcije ( $K_P^{TR}$ ), izražava se odnosom površine zida koja ispunjava uslove stabilnosti na translatorno i rotaciono kretanje i uslove unutrašnje stabilnosti, tj. naponskog stanja u karakterističnim presecima potpornog zida ( $F^{RT}$ )

u odnosu na površinu poprečnog preseka potpornog zida koja ispunjava samo uslove unutrašnje stabilnosti ( $F^{IN}$ ), tj. uslove dopuštenog naponskog stanja u pojedinim presecima potpornog zida. Numerički se koeficijent povećanja dimenzija izražava :

$$K_F^{TR} = \frac{F^{RT}}{F^{IN}} , \text{ gde je}$$

- $F^{RT}$  → površina poprečnog preseka potpore konstrukcije koja zadovoljava uslove unutrašnje stabilnosti i stabilnosti na rotaciono i translatorno kretanje ;
- $F^{IN}$  → površina poprečnog preseka potpore konstrukcije koja je potrebna da se zadovolje uslovi unutrašnje stabilnosti potpornog zida, tj. uslovi stanja napona u pojedinim karakterističnim presecima zida.

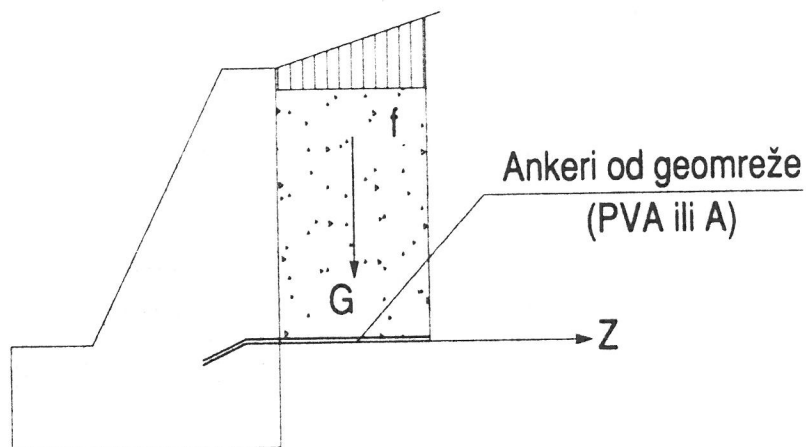
Za klasičan tip potpornog zida kakav je dat na Sl.26, koeficijent povećanja dimenzija ( $K_P^{TR}$ ), u funkciji visina zida, ima sledeće prosečne vrednosti :

za visinu zida 2,00 m<sup>1</sup>,  $K_P^{TR} = 1,81$ ; za visinu zida 3,00m<sup>1</sup>,  $K_P^{TR} = 4,44$ ; za visinu zida 5,00 m<sup>1</sup>,  $K_P^{TR} = 3,30$  ; za visinu zida 7,00 m<sup>1</sup>,  $K_P^{TR} = 2,83$  ; za visinu 10 m<sup>1</sup>,  $K_P^{TR} = 2,13$ .

Iz navedenih podataka se vidi potreba za smanjenjem dimenzija izazvanih potrebom zadovoljenja uslova stabilnosti na translatorno i rotaciono kretanje.

Primenom ankeru, bilo oni da su armirano betonski, čelični ili plastični, smanjuju se dimenzije potpornog zida, naročito one koje su potrebne da bi se zadovoljili uslovi stabilnosti na translatorno i rotaciono kretanje.

Sila u ankeru ( $Z$ ) dobija se trenjem uspune iza potpornog zida i samoniklog tla. Ispuna iza potpornog zida najčešće je od krupnozrnih tla (pesak, šljunak, tucanik ili kamen). Tako urađena ispuna ima, često, funkciju drenaže iza potpornog zida, što je veoma korisno. Na Sl.27, prikazan je model za proračun sile  $Z$  u ankeru.



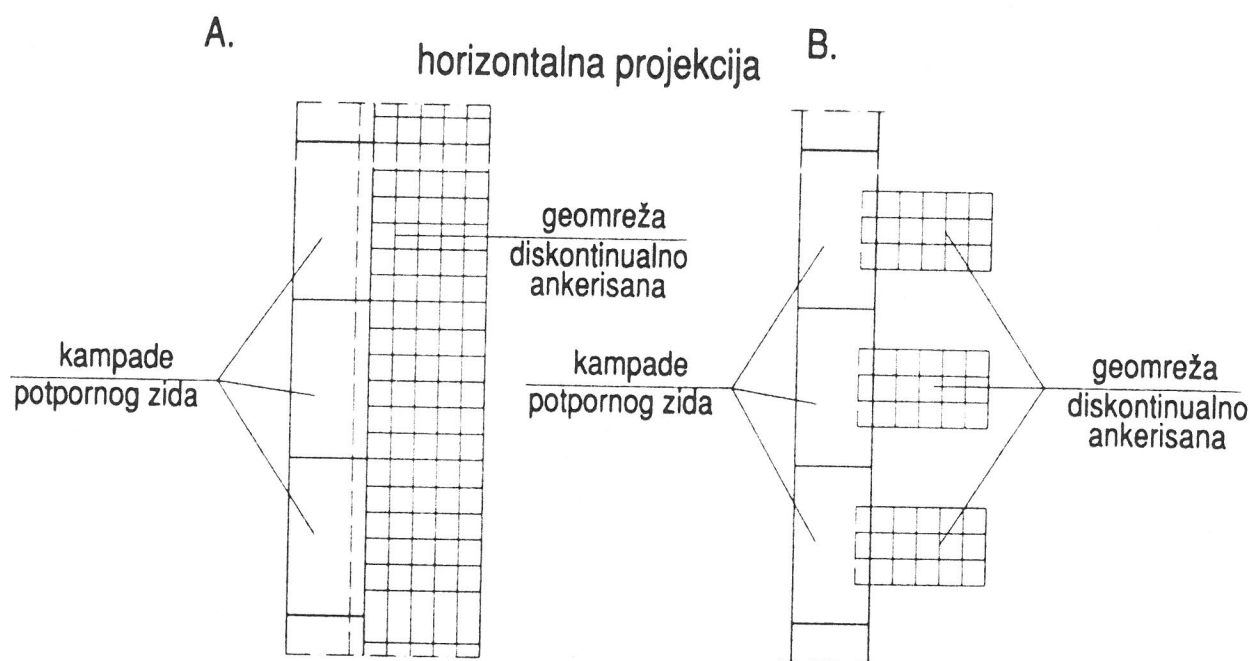
Sl.27. – Model za proračun sile u ankeru.

Sila u ankeru  $Z$  ima vrednost :

$$Z = G_{ISPUNE} \times \operatorname{tg} \phi_{ISPUNE} , \text{ gde je :}$$

- $G_{ISPUNE}$  → težina ispune iza zida;
- $\phi_{ISPUNE}$  → ugao unutrašnje otpornosti ispune.

Ankeri se mogu postavljati kontinualno, duž celog potpornog zida, Sl.28.A ili svaka kampada može biti samostalno povezana, Sl.78.B.



Sl.28. A. Postavljanje ankera od geomreže, kontinualno, duž celog zida i B. postavljanje ankera pojedinačno za svaku kampadu posebno.

Geomreža koja se primenjuje kao anker za ankerisanje potpornih zidova treba da poseduje znatna mehanička svojstva i da bude otporna na  $pH$  vrednost sredine u koju se ankeriše iznad 9.

Čvrstoća na zatezanje geomreže ( $\beta_z$ ) treba biti od 150 do 250  $kN/m^1$ . Dilatacija pri vršnoj čvrstoći treba biti manja od 6, tj.  $\varepsilon < 6$ .

Ove uslove, za sada ispunjavaju, samo, polivinil alkohol (PVA) i arabid (A). Geomreže od polietilena (PE) i polipropilena (PP), otporne su na  $pH$  vrednosti iznad 9,

ali se nemogu koristiti kao ankeri zbog male čvrstoće na zatezanje ( $\beta_z$ ) i velike dilatacije  $\varepsilon > 15$ . Poliesteri (PET), imaju zadovoljavajuće mehaničke karakteristike, ali su neotporni na  $pH$  vrednosti koje imaju vrednosti veće od 9, kao što je beton, pa se u njemu nemogu ankerovati.

## MIKROARMIRANI POTPORNİ ZIDOVI

Beton koji se koristi u građevinarstvu, odnosno putogradnji, može biti mikro armiran (PMAB) polimernim vlaknima. To znači da se klasično zamešanom betonu dodaje procenat (od 0,10 do 5%, u odnosu na ukupnu zapreminu) polimernih vlakana, dodatno izmeša i ugrađuje u konstrukciju. Procenat polimernih vlakana u ukupnoj zapremini varira, što zavisi od vrste vlakana i željenog kvaliteta betona. Najčešć se primenjuju kompoziti sa 0,20% polimernih vlakana od ukupne mase sveže ugrađenog betona, što iznosi od 0,60 do 1,00 kg/m<sup>3</sup>. Jedam metar kubni (1 m<sup>3</sup>) betona sadrži oko 250 miliona polimernih vlakana

Mikro armirani betoni u strukturi dele se na osnovni sastav, (mineralni agregat, cement, voda) i dodatni, armatura od polimerskih vlakana.

Dodatkom polimerskih vlakana u mineralni beton (malter), dobija se kompozitni materijal. Ovim se poboljšavaju fizičko-mehaničkih svojstava betona.



Kao mineralni agregat u mikro armiranim betonima, koristi se pesak 0/4 mm i agregat, krupnoće zrna do 16 mm.

Pošto je kod mikro armiranih betona polimernim vlaknima neophodno obezbediti maksimalnu disperziju u celoj masi betona, to je potrebno pri spravljanju mikro betona, duže mešati kompozitnu masu. Vreme mešaja se povećava za dvostruko u odnosu na vreme mešanja pri izradi klasičnog betona.

Dodatak polimernih vlakana u masu betona ne utiče znatno na ugradljivost i obradljivost betona. Ona ostaje uglavnom ista, jer procenat vlakana u odnosu na ukupnu zapreminu je 0,1- 0,2 %.

Masa betona armirana mikro polimer vlaknima ima veću krutost, tj. smanjuje se njena pokretljivost. Ovo je izraženije sa povećanjem količine upotrebljenih vlakana i povećanjem faktora oblika.

Postoji vrlo širok dijapazon tipova polimerskih vlakana. Oni mogu biti u pojedinačnom (monofilamentnom) obliku ili međusobno povezani (fibrilizovanom) obliku. Razlika između navedene dve vrste vlakana je u strukturi i dimenzijama. Fibrilizovana vlakna proizvode se kao snopovi, skupine, vlakana međusobno povezanih. Sa druge strane, monofilamentna vlakna su pojedinačna pa se bolje disperguju u masi betona (maltera). Fibrilizovana vlakna, međusobno povezana, imaju tendenciju "isplivavanja" na površini sveže mešavine, a posle očvršćavanja bivaju jasno vidljiva na površini betona (maltera). Monofilamentna, ne povezana, vlakna se lakše i ravno-



mernije raspoređuju u masi betona (maltera), pa su i nevidljiva na površini.

Primena pojedinačnih (monofilamentnih ) vlakana u odnosu na primenu međusobno povezanih (fibrilizovanih) vlakana, utiče na promenu ugradljivosti i obradivosti betona. Beton sačinjen od monofilamentnih vlakana je veće ugradljivosti i obradivosti od fibrilizovanog betona.

Sličan efekat pokazuje se pri primeni vlakana manjih prečnika većih dužina (faktor oblika vlakna  $l/d$ ). Faktor oblika daje odnos između dužine vlakna ( $l$ ) i njegovog prečnika ( $d$ ). Vrednost ovog faktora kreće se u granicama 50 do 5000. Sa povećanjem faktora oblika povećava se ugradljivost i obradivost betona. Ovo se objašnjava povećanjem broja vlakana u jedinici zapremine.

Mikro armiran beton polimernim vlaknima, smanjuje pojavu mikro prslina u betonu. Sa povećanjem broja polimernih vlakana, smanjuje se broj i veličina prslina.

Dodatkom polimernih vlakana u betonu smanjuju se deformacije betonske mase. Ovo je izraženije kad beton sadrži veću količinu polimerske mikroarmature. Što je faktor oblika primenjenih vlakana veći dobijaju se manje deformacije betona.

Vlakna svojim velikim brojem i homogenim rasporedom u masi betona presecaju sistem kapilarnih pora i usporavaju prodore voda kroz betonsku masu. Time se zadržava voda u unutrašnjosti mase betona i omogućuje ravnomernija hidratacija cementa. Isto tako prisustvo vlakana u betonu smanjuje absopciju vode, a time povećava otpornost na dejstvo mraza, kao i otpor-

nost na penetraciju soli, što je važno kod potpornih konstrukcija.

Beton armiran vlaknima delimično poboljšava čvrstoću na pritisak i modul elastičnosti betona, a znatno čvrstoću na zatezanje i savijanje, kao i otpornost na udar.

Dodatkom mikroarmature beton dobija veću otpornost na habanje, što je značajno u građevinarstvu..

Isto tako polimerna vlakna smanjuju skupljanje betona, odnosno smanjuju ukupnu dilataciju kompozita. Ovaj efekat je veći kad je procenat vlakana u betonu veći ili su vlakna duža.

Specifična masa polimera od koga se proizvode vlakna je oko  $10kN/m^3$ .

Kao polimerna vlakna, najčešće, se koriste polipropilenska vlakna određene dužine 4-7 cm i prečnika 0,10 do 0,20 mm..

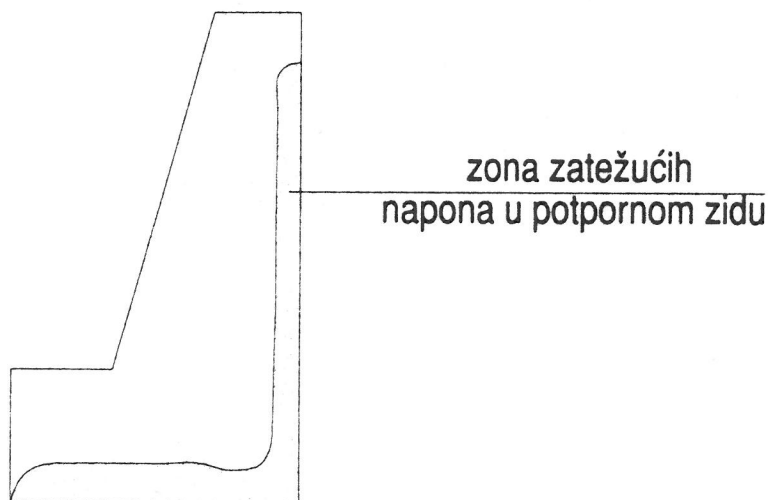
Sa hemiske tačke gledišta polipropilen ima dobru otpornost na jake baze, i slane rastvore koji u betonu postoje ili mogu postojati. Posедуje veliku otpornost u uslovima agresivnog delovanja kiselina i soli.

U praksi se, najčešće, primenjuje u skupini i pojedinačno, polipropilenska (PP) vlakna.

Potporni gravitacioni zidovi klasičnog tipa karakterišu se svojim dimenzijama, jer princip održavanja njihove stabilnosti je da se, isključivo, sopstvenom težinom suprotstavljaju sili pritiska tla. Takva konstrukcija nije armirana, u klasičnom smislu, jer se u njoj javljaju mali zatežući naponi koje može da prima nearmirani beton. Poznato je da nearmirani beton marke 15-25, može da

primi zatežuće napone od 100 do 150 *kPa*. Ovi naponi, u pojedinim presecima potpornog zida mogu biti veći i trebaju biti primljeni armaturom. Ta armatura može biti od polimernih, najčešće polupropilenskih (PP), polietilenskih (PE) ili poliaminskih (PA) vlakana, koji treba da budu pravilno i na pravom mestu ugrađeni u konstrukciju potpornog zida. Poznato je da navedene vrste vlakana imaju visoke mehaničke karakteristike, naročito čvrstoću na zatezanje, zato su povoljni kao mikroarmatura.

Kod klasičnog potpornog zida Sl.29, zatežući naponi javljaju se u delu konstrukcije koja je u kontaktu sa tlom, koji vrši pritisak.



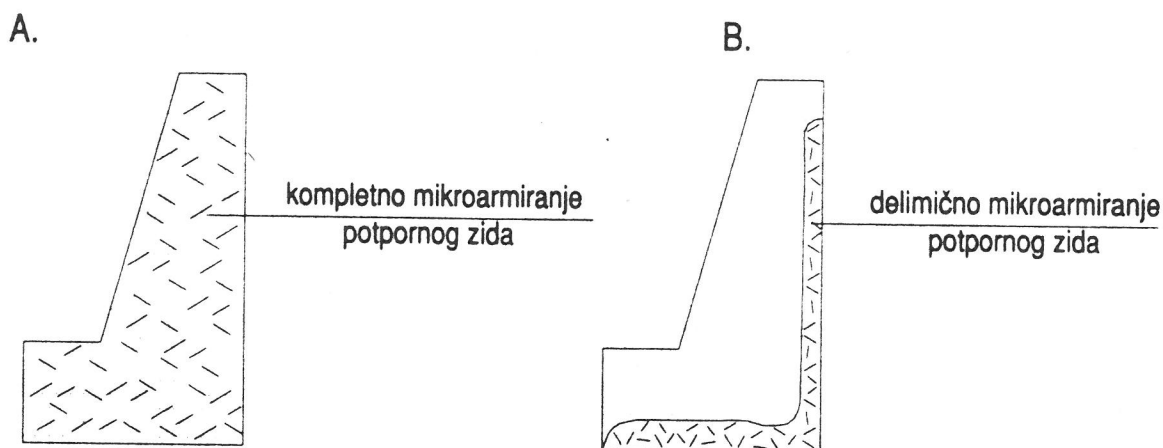
Sl.29. – Zategnute zone u konstrukciji klasičnog potpornog zida.

U naznačenoj zoni pojave zatežućih napona (Sl.29), kod potpornog zida, u koliko nije armiran, javljaju se prsline i pukotine, koje vremenom, uticajem raznih agenasa mogu izazvati degradaciju nosivih karakteristika potpornog zida. Zato je dobro zid na tom delu armirati. Armiranje se može obaviti, naravno, klasičnim putem

čeličnom armaturom, kao sve druge armiranobetonske konstrukcije u građevinarstvu. Međutim, zbog relativno malih zatežućih sila koje se javljaju kod potpornih zidova, armiranje je moguće obaviti polimernim vlaknima, obično, preseka od nekoliko stotina mikrona i dužine do 70 mm. Preporučuje se, da se armiranje pojedinih zona potpornog zida obavi polimernim vlaknima u koliko, u tim delovima zida, zatežući naponi ne prelaze veličinu od 500 do 2500 kPa.

Finansiski je znatno povoljnije armiranje obaviti polimernim vlaknima. Tad se postiže veća racionalnost. Armiranje klasičnih potpornih zidova na uobičajan način kod armiranog betona je neracionalan postupak, jer u armaturi dolazi do neiskorišćenja napona.

Armiranje potpornih zidova plastičnim, najčešće polupropilenskim (PP) vlaknima može se izvršiti kompletno u celom zidu ili mogu biti armirani samo delovi potpornog zida koji su izloženi zatezanju Sl.30.A i B.



Sl.30.A. – Kompletno armiranje potpornog zida, B. delimično armiranje potpornog zida (samo zatežućih zona)

Delimično armiranje (samo zatežućih zona) potpunog zida je tehnološki moguće i ne predstavlja veći organizacioni problem.

Procenat polimernih vlakana u ukupnoj zapremini varira, što zavisi od vrste vlakana i željenog kvaliteta betona. Najčešće se primenjuju kompoziti sa 0,20% polimernih vlakana od ukupne mase sveže ugrađenog betona. Faktor oblika ( $l/d$ ), tj. odnos dužine ( $l$ ), prema poprečnom preseku mikro vlakna ( $d$ ) je značajno svojstvo mikroarmature, kreće se u granicama 50 do 5000.

Kod potpunih zidova polimerska vlakna mogu se primenjivati u pojedinačnom (monofilamentnom) obliku ili međusobno povezana (fibrilizovana) vlakna.

## LITERATURA

- [1] Geotextiles Handbook T.S. Ingold, K.S. Miller.
- [2] Časopis : *"Put i saobraćaj"*, /1974g. "Potporne konstrukcije od armirane zemlje" P. Mitrović.
- [3] Časopis : *"Institut za puteve"* br.23/75 *"Geotekstil"* P. Mitrović.
- [4] Bull. De Liaison L.C.P.C.-Paris *"Renforcement des sols par geotextiles"* Ph. Delmas, J.C. Berche, J.P. Gourc, Y. Matichard, J.C. Glivet, J. Puig.
- [5] Časopis : *"Guindle Standard Manial"*, april 1995g. *"Material and Instalatio"*.

- [6] Časopis : L.S.T.E.D., *“Le Savoire-Faire Fransais”*  
*“Matiere de geotextil et geomembranes”*.
- [7] Časopis *“Tecsol”*, Societe D' Aplicatione du texsol.
- [8] Bull. De Liaison L.C.P.C.-Paris, N° 178 *“Durabilite et fluage du Texsol”*, J.C.Blivet, E.Leflaive.
- [9] Bull. De Liaison L.C.P.C.-Paris, N° 170, *“Proprietes Mecaniques du Materiau Sol-Fibres texsol”*  
G.Morel, M. Khay.
- [10] Bull. De Liaison L.C.P.C.-Paris, N° 168, *“Modelisation du comportement mecanique du texsol”*  
P.Villaed, P.Jouve, Y.Riou.
- [11] Revie *“Texsol”*, Prix de l'Innovation 1985.
- [12] Bull. De Liaison L.C.P.C.-Paris, N° 169, *“Dimensionnement interne des murs de soutenelement en Texsol”*
- [13] Dok. *“Tensar”* : *“Guidelines for the design & construction of embankments over stable foundations using “tensar” geogrids”*.
- [14] Dok. *“Tensar”*: *“The long-term performance of tensar geogrids”*
- [15] Dok. *“Tensar”* : *“Tensar geogride, reinforced soil retaining Walls”*.
- [16] Dok. *“Tensar”* : *“Tensar, grids in concrete applications”*.
- [17] Dok. *“Tensar”* : *“Tensar, geogrids in civil engineering”*.
- [18] Dok. *“Tensar”* : *“Tensar geord reinforced sub-bases”*.



- [19] GT 63, L.C.P.C.-Paris, France, "*Comportement au fluage des geotextiles*", M.F. Msouti, J.C. Blivet, D. Levacher.
- [20] Dokumentacija "*Kordarna*", Repubika Češka.
- [21] Dokumentacija O.E.C.D-a, 1994 : "*Environmental Impact Assessment of Roads*".
- [22] The World Bank, Setra-Paris, Handbook 1994 : "*Roads and the Environment*"
- [23] Dokumentacija sa Stručnog skupa u Minhenu, Nemačka, mart 2004 g. "*Response analysis based on two-year monitoring on light-weight structures with eps geofoam*"
- [24] Dokumentacija sa Simpozijuma o "*Primeni plastičnih materijala u izgradnji i održavanju puteva*", Subotica, jun 2003 g. "*Vrste, proizvodnja i karakteristike plastičnih materijala koji se primenjuju u građevinarstvu*". M. Smiljanić.
- [25] Bull. Liaison N<sup>o</sup> 153/1988. "*Fluage des geotextiles*" Y.Matichard, Ph. Delmas.
- [26] Dokumentacija sa Simpozijuma o "*Primeni plastičnih materijala u izgradnji i održavanju puteva*", Subotica, jun 2003 g. "*Vrste i karakteristike geosintetičkih materijala koji se koriste za armiranje tla*" D.Rakić, J.Dragaš.
- [27] Bull. Liaison N<sup>o</sup> 170/1990. "*Etude d'un materiau composite geotextile-coulis*" G. Gluais, D. Queyroi
- [28] Dokumentacija sa Simpozijuma o "*Primeni plastičnih materijala u izgradnji i održavanju puteva*", Subotica, jun 2003 g. "*Geosynthetic reinforcement*,

- most dominant (material reduction) faktor in the design process*" S. Schroer, G. Thomson.
- [29] L.C.P.C-Paris, France "*Comportement au fluage des geotextiles en renforcement mecanique*" M.F. Msouti, J.C. Blivet, D. Levacher.
- [30] Češki tehnički propisi za geosintetiku "*Geotextilie a dalsi geosynteticke materialy v zemnim telese podzemnich komunikaci*"-Praha 2001.
- [31] Dokumentacija sa Stručnog skupa u Minhenu, Nemačka, mart 2004 g. "*Reinforced slope of road embankment with light weight aggregates*" A. Want, E. Oiseth, R. Aaboe.
- [32] Dokumentacija sa Simpozijuma o "*Primeni plastičnih materijala u izgradnji i održavanju puteva*", Subotica, jun 2003 g. "*Povećanje otpornosti tla (armiranje tla)*" J. Šutić.
- [33] Dokumentacija firme "*Presto*", USA.
- [34] Dokumentacija sa Simpozijuma o "*Primeni plastičnih materijala u izgradnji i održavanju puteva*", Subotica, jun 2003 g. "*Primena plastičnih materijala pri izgradnji potpornih konstrukcija*". P. Mitrović, J. Milić.
- [35] Dokumentacija sa Stručnog skupa u Minhenu, Nemačka, mart 2004 g. "*Brick faced reinforced retaining walls-comparisons between different design methods*" A.S.C. Correia, M.I.M. Pinto, M.L. Lopes.
- [36] „*Stabilnost potpornih zidova ojačanih geosintetičkim materijalima*” S. Ćorić, L. Ćaki, Slava Ćorić.



- [37] Dokumentacija sa Simpozijuma o “*Primeni plastičnih materijala u izgradnji i održavanju puteva*”, Subotica, jun 2003 g. “*Earth pressure reductio by geotextile-reinforced lightweight fill*” V. Herle.
- [38] Dokumentacija firme : “*Kovinoplastika*”- Piskar, Ljubljana, Slovenija.
- [39] Dokumentacija sa Simpozijuma o “*Primeni plastičnih materijala u izgradnji i održavanju puteva*”, Subotica, jun 2003 g. “*Polimerni materijali u betonu*” M. Ršumović, N. Vukelić, M. Zec, V. Vacić.
- [40] Časopis “*Materijali i konstrukcije*” br. 44, 2001 g. “*Uticaoj dodataka polipropilenskih vlakana na atheziju maltera za podlogu*” D. Zakić.
- [41] Dokumentacija sa Simpozijuma o “*Primeni plastičnih materijala u izgradnji i održavanju puteva*”, Subotica, jun 2003 g. “*Primeri primene polimernih materijala u malterima i betonima*” M. Muravljov, D. Jevtić, D. Zakić.
- [42] Dokumentacija firma “*Minerva*”, Žalec, Slovenija. N. Stanković, B. Veličković.
- [43] Dokumentacija firme GSE, Houston, SAD
- [44] Dokumentacija sa Simpozijuma o “*Primeni plastičnih materijala u izgradnji i održavanju puteva*”, Subotica, jun 2003 g. “*Presentatio of various retaining structures involving geosynthetic reinforcement*”. M. Bakrač, H. Hangen.