

# Ojačanje temeljnog tla zamjenom materijala

Željko Lebo dipl.ing. gradđ.

Tehničko Veleučilište u Zagrebu, Graditeljski odjel, I. Lučića 5, 10000 Zagreb

Doc.dr.sc. Krešo Ivandić, dipl.ing.građ.

Geokod d.o.o., Našička 6, 10000 Zagreb

**SAŽETAK:** U radu se prikazuje analiza i tehničko rješenje ojačanja temeljnog tla zamjenom materijala ispod temelja samaca za potebe temeljenja montežne armirano betonske hale u Sv. Nedjelji. Ojačanje temeljnog tla u pogledu poboljšanja nosivosti temeljnog tla s obzorom na slom tla pod temeljem, kao i dopustiva slijeganja, izvedeno je „fiktivnim“ produbljivanjem dubine temeljenja i zamjenom lošijih slojeva prirodnog tla ispod temelja sa slojem dobrograduiranog drobljenca uz istodobno „armiranje“ geotekstilom. Zamjena je obavljana naizmjeničnim postavljanjem sloja geoteksitla i drobljenca ( u sloju od 20-25 cm) koji se permanentno nabijao vibro pločom u tri-četiri naizmjenična ciklusa nakon čega je izvršeno ispitivanje modula stišljivosti temeljnog tla metodom kružne ploče. Rezultati ispitivanja pokazali su znatno poboljšanje karakteristika stišljivosti tla u odnosu na prirodno stanje. U završnoj fazi izvedena je proširena armirano betonska stopa kao podloga za namještanje predgotovljenih temelja samaca. U cjelokupnoj sanaciji uspješno je izvedeno 20 primarnih i 10 sekundarnih temelja.

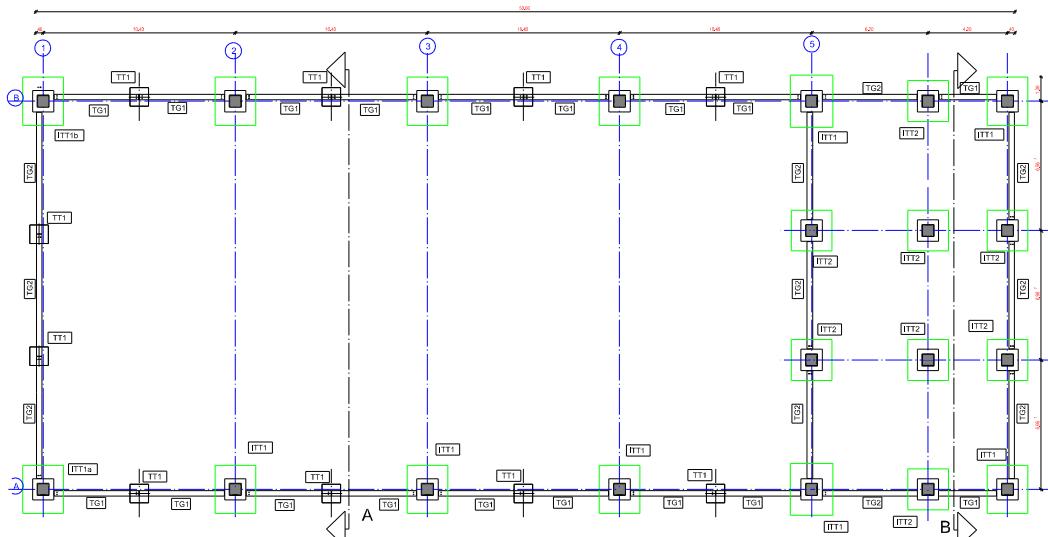
## 1 UVOD

Kao što je u sažetku navedeno u radu se opisuje ojačanje temeljnog tla metodom zamjene prirodnog materijala ispod temelja objekta sa dobrograduiranim drobljenim kamenim materijalom „armiran“ geotekstilom. Ojačanje se izvodi zbog nedovoljne nosivosti temeljnog tla u pogledu sloma tla pod temeljem, kao i prekoračenja proračunskog slijeganja temelja.

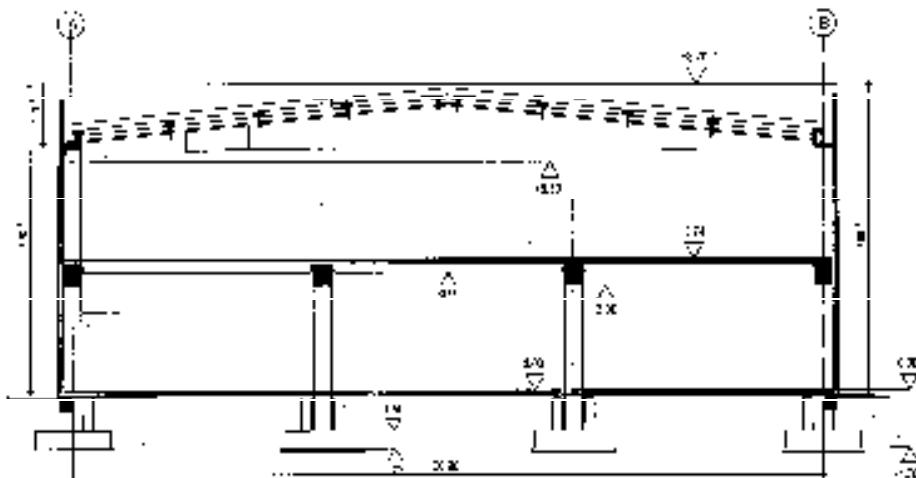
Sukladno prvotnom projektu mehaničke otpornosti i stabilnosti građevina je isprojektirana kao montažna AB hala temeljena na temeljima samcima. Nosiva konstrukcija objekta sastojala se od primarnih i sekundarnih grednih nosača te AB stupova na uzdužnom međusobnom osnom razmaku od 7,0 m. Glavni raspovrški AB nosači u poprečnom smjeru su duljine 21,50 m statički slobodno oslonjeni na glavne stupove. Preko tih glavnih stupova prenosi se sila u temelje samce i temeljno tlo.

Međutim zbog finansijskih i investitoru samo poznatih razloga isti se odlučio radove povjeriti tvrtki koja izrađuje montažne nosive elemente, ali sa „tipskim“ uzdužnim međurasponima glavnih stupova od 10,0m. Zbog ove izmjene došlo je do preraspodjele statičkih sila što je rezultiralo povećanjem vertikalne osne sile na temelje samce. Sukladno prethodnome urađen je novi projekt mehaničke otpornosti i stabilnosti, a temeljenje je trebalo prilagoditi novoj situaciji. Tu ništa ne bi bilo sporno da je izvršeno usklađenje između novog projekta mehaničke otpornosti i stabilnosti sa parametrima danim u Geomehaničkom elaboratu i preporukama za temeljenje. Naime, proračunska vrijednost vertikalnog opterećenja nije usklađena sa dopuštenom nosivošću temeljnog tla s obzirom na slom tla pod temeljem, a dobivena slijeganja nisu bila u granicama datim u geomehaničkom elaboratu. Što više, zbog visoke razine stalno prisutne podzemne vode, koja se u jesenskim i zimskim periodima redovito održava na površini

tla, kota prizemlja objekta podignuta je za cca 50 cm više od projektom predviđene kote nule ( $\pm 0,00$ ). Ista je bila projektirana na samo 30 cm više od površine terena. Podizanjem tzv. "nule" na 50 cm još više se pogoršala situacija oko temeljenja. Tada se kota temeljenja sa -1,30 m podiže na -0,80 m mjereno od površine tla ( $1,30-0,50=0,80$  m), što spada u izuzetno plitko temeljenje koje predstavlja granični slučaj u skladu s Pravilnikom o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata, SL 15/90 (zona smrzavanja).



Slika 1. Tlocrtna dispozicija primarnih i sekundarnih temelja samaca iz novog projekta



Slika 2. Karakterističan poprečni presjek objekta (hale) iz novog projekta

## 2 TEMELJNO TLO I GEOTEHNIČKI PROFIL TLA

Za predmetnu lokaciju izrađen je Geomehanički elaborat sukladno Pravilnikom o tehničkim normativima za temeljenje građevinskih objekata (SL 15/90).

Prema istome izvršeno je sondažno bušenje i labortorisko ispitivanje uzoraka tla, te je dat geotehnički profil tla. U geotehničkom profilu uočavaju se slojevi dati u slici 3.

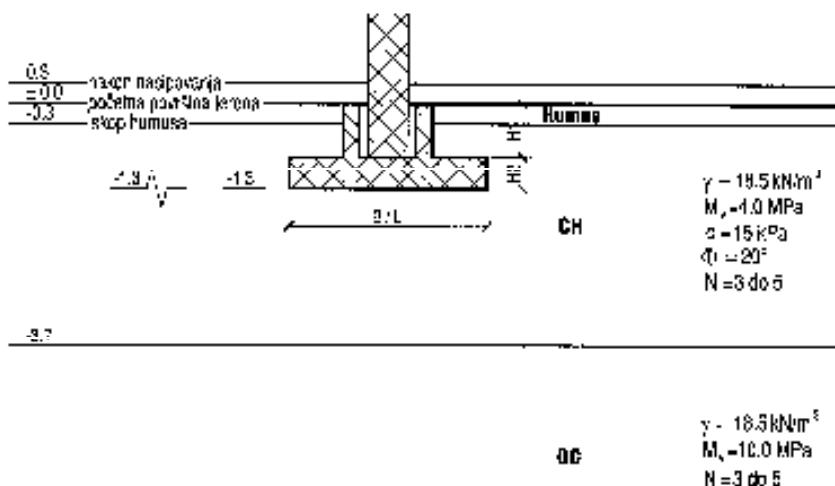
Na karakterističnom geotehničkom profilu uočava se slabo nosivi sloj na razinama do 1,20 m, te visoka razina stalne pozemne vode koja je praktički (u zimskim periodima redovito) na samoj površini postojećeg terena. Slika karakterističnog profila tla dat je na slici 3.

BRZINA [m]	OPIS I LA SONDE	B1	SIMBOLOVI	$\gamma$ - SIF. G. C. A. [kPa]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$I_c$ [1]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	C [MN]	M <sub>y</sub> [MN]
1,8	KAN	U gornjem delu tla, u obliku tla, bez konstrukcije, srednje streljivo pravljeno s 100% vodljivom vodom	CL	29	.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	U gornjem delu, u obliku tla, bez konstrukcije, srednje streljivo s 100% vodljivom vodom	CH	29 29 19 19	.....	0,77	18,4	11	6	6,3	.....
3	.....	GC	4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	Stroči dobrogradni, s posebnim uključenjem u gredicu za čelične streljive, nečistine u mjeri 0,4, s 100% vodljivom vodom	GM	113	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	Stroči, dobrogradni, s posebnim uključenjem u gredicu za čelične streljive, nečistine u mjeri 0,4, s 100% vodljivom vodom, s vrednošću od 25 pleti.	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Slika 3. Karakterističan geotehnički profil tla prema bušotini B1

U istom geotehničkom elaboratu dat je dokaz nosivosti s obzirom na slom tla pod temeljem kao i iznos računskog slijeganja tla (temelja). Proračunati dokazi nosivosti i slijeganja dati su za dubine temeljenja na razini -1,30 m ispod površine postojećeg terena i za prvobitnu statičku shemu AB konstrukcije objekta, pa:

dopušteno naprezanje s obzirom na slom tla ispod temelja iznosi:  $p_{dop}=108,0 \text{ kPa}$   
proračunsko slijeganje temelja u karakterističnoj (Kany) točki iznosi  $w_{rač}=2,8 \text{ cm}$   
proračunsko slijeganje nasipa u centralnoj točki iznosi  $w_{rač}=0,50 \text{ cm}$



Slika 4. Karakterističan proračunski model iz geotehničkog elaborata za prvotni projekt konstrukcije

### 3 SANACIJA TLA I IZVEDBA RADNOG PLATOA

Da bi se bilo kakvi građevinski radovi mogli uopće odvijati na predmetnom „močvarnom“ tlu prethodno je bilo potrebno izvesti snižavanje razine podzemne (površinske) vode sustavom poprečnih drenažnih rovova uz crpljenje iste u oborinske slivnike ulične kanalizacije. Pošto se radi o tlu koje je inundativno samo po sebi, crpljenje se odvijalo permanentno sve dok su se izvodili građevinski radovi na izvedbi platoa i temeljenju objekta.

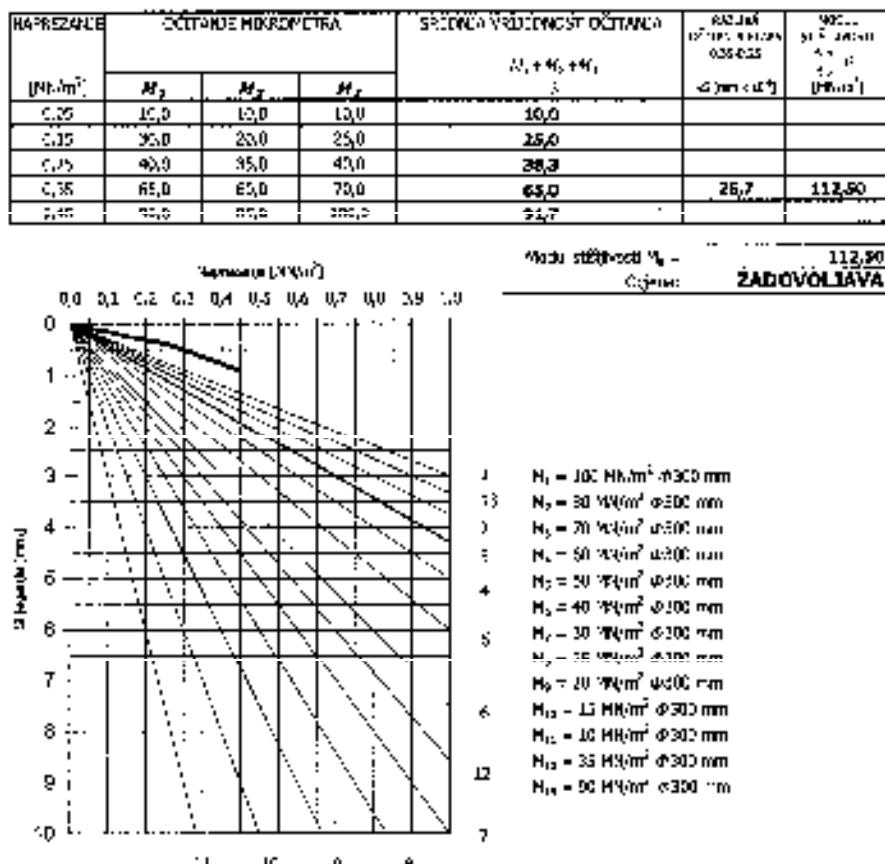
Nakon crpljenja i snižavanja razine vode, izvedena je cjelokupna zamjena površinskog materijala (cca 40-50 cm) sa lomljenim kamenom na sloju geotekstila. Lomljeni kamen se miješao sa dobro graduiranom frakcijom drobljenog tucanika kako bi se postigla što bolja kompaktnost. Na tako napravljeni (uvajani) sloj postavljen je ponovno sloj geotekstila, te se ponovno uvaljao sloj od cca 25 cm drobljenog kamenog materijala (cakumpaka). Cijeli postupak je ponovljen još

jednom, što je u konačnici rezultiralo sa ojačanim slojem nosivog radnog platoa drobljenca debljine oko 50-60 cm (slika 5).



Slika 5. Izvedba radnog platoa nasipavanjem drobljencem i "armiranje" geotekstilom

Nakon izvedbe zadnjeg sloja radnog platoa izvršeno je ispitivanje modula stišljivosti podloge radnog platoa metodom „kružne ploče“. Rezultati ispitivanja su pokazali izuzetno dobre rezultate zbijenosti podloge s modulima stišljivosti od  $M_v=80-100$  MPa. Primjer jednog rezultata mjerena dat je na slici 6.



Slika 6. Rezultat ispitivanja modula stišljivosti (kružnom pločom) radnog platoa posteljice

#### 4 MODEL OJAČANJA TLA ISPOD TEMELJA SAMACA

Sukladno projektnoj dokumentaciji temeljenje hale je predviđeno izvesti sa dvije grupe temelja, na primarnim i sekundarnim temeljima. Primarni temelji prenašaju osnovne vertikalne (i kose) sile od nosive konstrukcije stupova odnosno grada, ploča i krovišta, dok sekundarni temelji putem nadtemeljnih greda prenose sile od fasadnih elemenata hale.

Prema novoprojektiranim parmetrima mehaničke otpornosti i stabilnosti potrebno je preuzeti veće sile i naprezanja u razini temeljne stope, a ujedno smanjiti slijeganja dobivena novim računom. Logičan pristup povećanju nosivosti sobzirom na slom tla pod temeljem je izvršiti produbljenje na mjestu temeljenja u (dublje) bolje nosive slojeve tla, čime se očekuje i smanjenje slijeganja.

Međutim kako su predgotovljeni elementi stupova, greda, temelja samaca već bili izvedeni i dopremljeni na gradilište, sa pretpostavkom da će se temeljenje izvesti na dubini od -170m od kote "nule", spuštanjem temelja samaca u veće dubine (produbljenjem) od prethodno projektirane, gubila bi se (smanjivala) visina stupova, što bi izravno za posljedicu imalo smanjenje svijetle visine projektiranog prizemlja upravnog dijela hale. Ako se tome doda da je zbog lokalnih uvjeta visoke razine podzemne (površinske) vode, kota prizemlja podignuta za još 50 cm od projektirane, time problem postaje još kompleksniji.

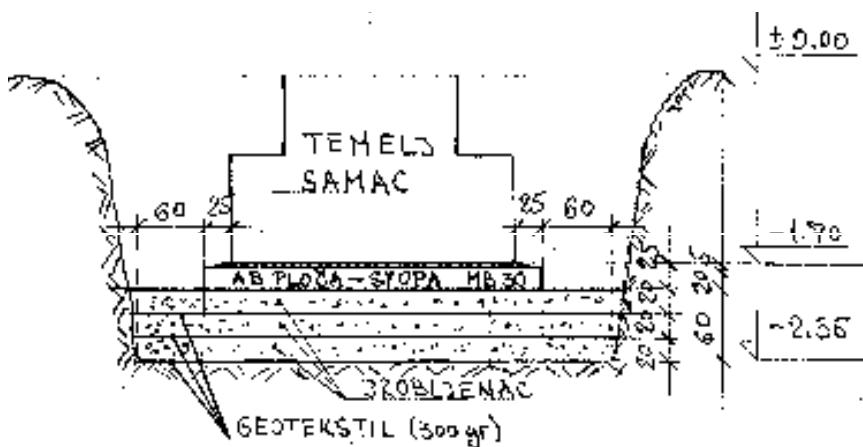
Stoga se odlučilo napraviti sljedeće:

Izvršeno je produbljenje temeljnog tla na mjestima primarnih temelja do kote -2,55m ispod površine terena, odnosno:  $-2,55 + 1,70 = -0,85\text{m}$  = dubina na kojoj je izvršena (nadomještена) zamjena materijala.

Navedena dubljinna prirodna materijala u sloju od 0,85m zamjenjena je sa dvije podloge:

1. podloga izvedena je sa dobro graduiranim drobljenim tucanikom nabijenim u slojevima od 20 cm "armiran" sa geotekstilom (300 gr.), a sve u 3 sloja ( $3 \times 20 = 60\text{ cm}$ )
2. podloga za preostali dio od 25 cm izvedena je kao klasična AB temeljna (ploča) stopa debljine 20 cm i većih dimenzija B/L ( $2,7 \times 3,1\text{m}$ ) od projektiranih samaca ( $2,2 \times 2,6\text{m}$ ), a zadnjih 5 cm ostavljen je za sloj izravnavačeg zemljovlažnog betona namještanje temelja samaca.

Nakon izvedbe primarnih temelja (20 kom) na sličan način izvedeno je ojačanje temeljnog tla ispod sekundarnih temelja samaca.. Pošto se prema novoprojektiranom projektu konstrukcije, vertikalna sila na mjestu fasadnih panela nije znatno povećala, kod sekundarnih temelja samaca izbjegнута je izvedba AB temeljne (ploče) stope. Taj preostali dio od 25 cm se izvodio se kao 4. (četvrti) sloj nabijenog drobljenog tucanika (cakumpaka)



Slika 7. Shematski prikaz ojačanja temeljnog tla zamjenom materijala i "armiranje" geotekstilom ispod primarnog temelja



Slika 8. Ojačanje ("armiranje") temeljnog tla geotekstilom (300gr.)



Slika 9. Zatrpavanje međusloja drobljenim tucanikom (cakumpakom)



Slika 10. Izvedena proširena AB temeljna (ploča) stopa



Slika 11. Izvedeno temeljenje temelja samca

Tablica 1: Karakteristični pokazatelji prije i poslije ojačanja temeljnog tla

	Dimenzije temelja B=širina/L=duljina (m)	Prosječan modul stičljivosti (MPa)	Dopuštena nosivost (kPa)	Stvarno op- terećenje (kPa)	Prosječno slijeganje (mm)
Prije ojačanja	2,20 x 2,60	7	108	152	33
Nakon ojačanja	2,70 x 3,10	98	130	108	2

Modul stičljivosti ojačanog tla određen po standardu HR.U.B1.046 metodom kružne ploče, dok je modul stičljivosti prije ojačanja dobiven u laboratoriju putem edometarskog pokusa.

## 5 ZAKLJUČAK

Na prethodno opisani način ojačanja temeljnog tla dobio se dobar tzv. „sendvić tla i geotekstila“, a i cijelokupno temeljenje je bilo znatno lakše izvesti. Jedini problem ovakvom načinu ojačanja je izvedba radova u tlu koje je potpuno saturirano vodom. Naime, razina podzemne vode je bila gotovo na samoj površini terena. Međutim kako se iskop izvodio u glinenom materijalu slabe propusnosti, zarobljeni dio vode se permanentno ispumpavao dok su se izvodili radovi iskapanja i zamjene materijala.

Iz prethodno navedenog može se zaključiti da prilikom izrade geotehničkog elaborata prethodno treba dobro definirati projektni zadatak, kako bi se izbjegle greške u daljnjim postupcima izrade elaborata.. U projektnom zadatku treba definirati namjenu, opseg i ciljeve istraživanja. Naravno sve prethodno treba biti usklađeno s ostalim sudionicima u projektiranju koji izrađuju podloga za projektiranje, ovdje se prvenstveno misli na geodetske podloge snimke terena, podlogama sa podacima o površinskim vodama i sl.

Iz prethodnog je vidljivo da se ojačanje temeljnog tla provodilo u dva smjera. Prvi smjer je poboljšanje karakteristika temeljnog tla s obzirom na slom tla pod temeljem, a drugi smjer je poboljšanje (povećanje) karakteristika stišljivosti tla ( $M_v$ =modula linearne kompresije) što za posljedicu ima smanjenje veličine slijeganja tla.

Poboljšanje karakteristika nosivosti tla s obzirom na slom tla pod temeljem ostvarujemo povećanjem dubine temeljenja, prenašanjem naprezanja u (dublje) bolje nosive slojeve tla. Kako nosivost tla izravno ne ovisi o veličini i iznosu vanjskih sila koje djeluju na temelj, već samo o dimenzijama (vrsti) temelja, parametrima čvrstoće tla i ostalim faktorima nosivosti, oblika i t.d, velika je zabluda nekih građevinskih stručnjaka (nekih statičara) da nosivost tla (direktno) ovisi o "veličini (sili?) objekta".

Poboljšanje karakteristika tla s obzirom na smanjenje slijeganja ostvarujemo zamjenom prirodnog materijala s umjetno spravljenim materijalom (drobljenicom) i geotekstilom. Geotekstil ima funkciju preuzimanja vlačnih sila i naprezanja koja se javljaju uslijed nanošenja vertikalnih (i kosih) opterećenja na spravljeni material. Potrebno je istaknuti da se geotekstil primjenjuje svugdje tamo gdje se želi postići veći modul stišljivosti, što za direktnu posljedicu ima i manje slijeganje ojačanog tla.

U radu je prikazan najklasičniji način i s financijskog gledišta često najpovoljniji način ojačanja temeljnog tla. Zbog toga ga treba primjenjivati svugdje tamo gdje se sa dobivenim poboljšanjima karakteristika tla, mogu zadovoljiti traženi projektantski kriteriji.

## 6 POPIS LITERATURE

- Babić, B. 1995: *Geosintetici u prometnicama*, Građevinski godišnjak '95, Zagreb.  
Babić, B., Jašarević, I. 1994: *Primjena geotekstila "Varnet" u graditeljstvu*, Zagreb – Varaždin.  
Babić, B., Jašarević, I. 1995: *Geosintetici u graditeljstvu*, HDGI, Zagreb.  
Nonveiller, E. 1979 *Mehanika tla i temeljenje građevina*, Školska knjiga, Zagreb  
Richwien, W., 2001, *Grundbau und bodenmechanik*, Universitat, Essen,  
Terzaghi, K., 1943, *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York, (prijevod) Naučna knjiga Beograd

## DOKUMENTACIJA

- Geotehnički elaborat za skladišno poslovni objekt "Zival", Sv.Nedjelja, T.D. 41/04, Prizma d.o.o., B. Vučkasa22, Zagreb  
Glavni projekt konstrukcije, Proračun konstrukcije na mehaničku otpornost i stabilnost – izmjene i dopune, objekt "Zival", Mapa 2/1, Geokod d.o.o., Našička 6, Zagreb  
Izvedbeni projekt konstrukcije, Proračun konstrukcije na mehaničku otpornost i stabilnost – izmjene i dopune, objekt "Zival", Mapa 2/1, Geokod d.o.o., Našička 6, Zagreb  
WERKOS, d.o.o., Osijek 2004, Geotekstili (tkani i netkani) GTX, EN 965,