

Ana PETKOVŠEK

univ.dipl.inž.geol., Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za geotehniko in prometnice

Tanja STARÍČ

gradb.teh., Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za geotehniko in prometnice

## **TESNENJE TAL Z BENTONITNIMI TESNILNIMI TRAKOVI - SLOVENSKE IZKUŠNJE**

**POVZETEK:** Zaradi različnih omejitev, ki jih narekuje okolje, se je tudi v geotehniki močno povečala raba polimernih in drugih, s polimeri kombiniranih, industrijsko proizvedenih materialov. Ti materiali nadomeščajo posamezne zemljinske sloje ali izboljšujejo funkcionalne lastnosti naravnih zemljin.

Bentonitni tesnilni trakovi so industrijsko proizvedeni materiali, ki se uporabljajo za tesnenje tal kot nadomestilo ali kot dopolnilo glinenim nabojem. V Sloveniji se je množična uporaba bentonitnih trakov za tesnenje tal pričela leta 1996, z gradnjo severne in vzhodne ljubljanske avtoceste, ki prečka vodovarstvene pasove vodarne Hrastje. V letih 1996 - 1999 se je samo na avtocestne brežine vgradilo več kot 150 000 m<sup>2</sup> bentonitnih trakov, njihova raba pa se je močno razširila tudi na druga področja zemeljskih del, predvsem na področje gradnje in sanacij komunalnih deponij. V prispevku so prikazane izkušnje, pridobljene pri preiskavah in pri geotehnični spremamljavi vgrajevanja bentonitnih trakov na trasi severne in vzhodne ljubljanske avtoceste. Podana so opozorila glede nujne kritične obravnave lastnosti bentonitnih trakov v fazi načrtovanja in gradnje objekta.

## **GEOSYNTHETIC CLAY LINERS FOR GROUND PROTECTION - SLOVENIAN EXPERIENCES**

**SUMMARY:** In recent years there has been, in the field of geotechnics, a significant increase in the use of polymeric and polymer-based industrially produced materials due to environmental protection requirements. These materials can be used to replace certain types of subsoil layers, or to improve the functional characteristics of naturally occurring subsoils.

Bentonite-based liners are industrially manufactured materials which can be used for sealing ground, or instead of compacted clay layers. The widespread use of bentonite-based liners for ground sealing began, in Slovenia, in 1996, when such products were used in the construction of the northern and eastern sections of the Ljubljana Ring Motorway, which crosses areas which have to be protected for the Hrastje water supply plant. Between 1996 and 1999 more than 150000 m<sup>2</sup> sealing strips of this kind were used in road embankment construction, and at the same time their use was much extended other kinds of earthworks, particularly in the construction and amelioration of communal rubbish tips. In the paper a description is given of the experience obtained in the performing of tests and geotechnical monitoring of the installation and behaviour of bentonite-based strips along the route of the northern and eastern sections of the Ljubljana Ring Motorway.

## UVOD

Tesnenje z glino je najstarejši, v praksi razširjen in preizkušen način gradnje hidravličnih barier. Pomanjkanje ustreznih gliničč, odmaknjenost gliničč od centrov uporabe, počasna - od vremena močno odvisna gradnja so značilne ovire, na katere naletijo načrtovalci in graditelji objektov, v okviru katerih je predvidena tudi gradnja tesnilnih - glinenih nabojev.

Drugo skupino ovir predstavljajo mehanizmi transporta snovi skozi drobnozrnate medije, ki ne poteka le z advekциjo, temveč tudi z difuzijo, z ionsko izmenjavo, z adsorbcijo idr. Naravne gline, v stoljetih preizkušen tesnilni material, ne ustreza več strogim kriterijem, ki jih morajo izpolnjevati umetne pregrade na deponijah komunalnih in posebnih odpadkov, v skladiščih radioaktivnih snovi ipd. Zaradi navedenih vzrokov se je tudi na področju zemeljskih del razvila in močno razmahnila uporaba umetnih, industrijsko proizvedenih tesnilnih materialov.

## LASTNOSTI BENTONITNIH TRAKOV - PROIZVODOV

Bentonitni tesnilni trakovi (angl. GCL - Geosynthetic Clay Liners, nemško GTD - Geokunstoff Ton Dichtungen) so industrijsko proizvedeni materiali, pri katerih je bentonitna glina vpeta med spodnjo nosilno in zgornjo krovno plast. Debelina trakov je običajno okrog 5 mm, proizvodna širina 4 - 5 m, količina bentonita v traku pa se giblje med 3500 in 5000 g/m<sup>2</sup>. Bentonit je vpet med nosilno in krovno plast z lepljenjem, šivanjem ali iglanjem. Tesnilna sposobnost bentonitnih trakov je pogojena s kakovostjo in količino bentonita, vpetega v specifični enoti traku, funkcionalne lastnosti traku pa so pogojene z ostalimi mehanskimi lastnostmi, med katerimi so napomembnejši načini vpetja bentonita v trak, debelina traku ter mehanske lastnosti nosilne in krovne plasti.

Lastnosti bentonitnih trakov so opredeljene z:

- vrsto in vsebnostjo montmorillonita v bentonitni glini,
- vrsto in mehanskimi lastnostmi nosilne in krovne plasti,
- mehanskimi lastnostmi traku.

V trakovih se bentonit nahaja v obliki suhega prahu ali zrnc z vlažnostjo do 15 %. Za bentonitne gline je značilno, da imajo visoko sposobnost vpijanja vode, visok nabrekalni potencial in so malo prepustne za vodo. Vrsto in kakovost bentonita proizvajalci običajno dokazujejo s:

- podatki o vodovpojnosti po Enslin - Neffu,
- podatki metilen modro preiskave,
- z navedbo vrste oz. izvora bentonita.

V preglednici 1 so zbrani podatki o lastnostih bentonita iz bentonitnih trakov, ki smo jih določili na ZAG v Ljubljani. Za primerjavo smo v preglednico vključili tudi podatke o lastnostih naravnih bentonitov iz Zaloške gorice pri Celju in podatke o lastnostih opekarske gline iz glinokopa Pragersko.

Preglednica 1: Primerjava značilnih parametrov bentonita iz trakov in naravne gline

Vrsta bentonita	Vpijanje vode %	Metilen modro meq/g	Plastičnost %	Prepustnost za vodo m/s
Na - montmorillonit > 70 %	400 - 800	65 - 100	WI = 400 - 600 Ip = 350 - 550	< 10 <sup>-10</sup>
Ca - montmorillonit > 70 %	400 - 450	70 - 112	WI = ≈ 400 Ip = 350	< 10 <sup>-10</sup>
Naravni bentonit Zaloška gorica	100 - 120	40 - 45	WI = ≈ 100 Ip = 60	10 <sup>-10</sup>
Gлина из глинистого бора Pragersko	≈ 50 - 60	9	WI = 40 - 50 Ip = ≈ 20	10 <sup>-9</sup>

Pri presoji uporabnosti različnih trakov, ki se pojavljajo na trgu, se projektant - geotehnik znajde pred težavno odločitvijo:

- kako oceniti ekvivalentnost bentonitnega traku z drugimi materiali - npr. glinenim naboljem,
- kateri naj bodo odločilni kriteriji za presojo in pravilno izbiro traku.

## FUNKCIONALNE LASTNOSTI BENTONITNIH TRAKOV V ZEMELJSKEM OBJEKTU

Pri presozi kakovosti bentonitnih trakov moramo izhajati iz značilnosti bentonitov na eni strani in iz značilnosti in funkcionalnih lastnosti celotne zemeljske konstrukcije in vplivov okolja na drugi. Pri tem so za geotehnično presojo pomembne naslednje lastnosti:

- dolgoročna tesnost in variabilnost tesnosti v različnih pogojih in za različne medije,
- začasna in trajna stabilnost,
- izvedljivost v pogojih konkretnega geo okolja, klime in v času, predvidenem za izvajanje del.

Za razliko od geomembran, kjer se tesnilne lastnosti geomembrane po vgradnji praviloma ne spreminjajo, se tesnilna sposobnost bentonitni trakov spreminja v odvisnosti od dogajanj v okolici. Ta dogajanja so vezana na:

- procese krčenja in nabrekanja bentonita, ki so odvisni od hidroloških in temperaturnih sprememb v okolici. Proses krčenja in nabrekanja bentonita v stiku z vodo je reverzibilen. Razsušeni bentoniti v stiku z vodo nabrekajo in postanejo vodotesni. Naprotvo pa razsušeni bentoniti v stiku s snovmi, ki ne vsebujejo vode, npr. z naftimi derivati, ne nabrekajo in zato ne učinkujejo kot tesnilni material. Njihova tesnilna sposobnost je zato pogojena s stalno, ustrezzo visoko vlažnostjo,
- procese ionske izmenjave, adsorbcije različnih ionov in druge procese, ki potekajo v bentonitu.

Na stabilnosti konstrukcij z vgrajenimi bentonitnimi trakovi vplivajo: nagibi brežin, vrste zemljin, trenje na kontaktu med trakom in zaledno zemljino ter kakovost polaganja in prekrivanja.

Kadar se trakovi polagajo na ravnih ali blago nagnjenih površinah, zaščiteni z debelimi plastmi zemljinskega pokrova, so strokovne presoje razmeroma enostavne. V primerih pa, ko se bentonitni trakovi uporabljajo za tesnenje na odprtih, strmih brežinah, v območju intenzivnih vplivov vremenskih sprememb, pa je potrebno tesnilno konstrukcijo obravnavati celovito, kot zahteven geotehnični in okoljevarstveni objekt.

## UPORABA BENTONITNIH TRAKOV PRI GRADNJI SEVERNE IN VZHODNE LJUBLJANSKE AVTOCESTE

Del trase severne in vzhodne ljubljanske avtoceste prečka 2. in 3. vodovarstveni pas vodarne Hrastje. Po osnovni projektni rešitvi je bila predvidena zaščita vkopnih in nasutih brežin pred negativnimi vplivi avtoceste z glinenim nabojem debeline 50 cm. Med gradnjo se je pokazalo, da na razpoložljivih surovinskih virih ni na razpolago glin, primernih za kakovostno izvedbo glinenih naboljev v času, ki je bil na razpolago za dokončanje del. Predlagana je bila uporaba bentonitnih trakov ali geomembran. Soglasodajalec ni soglašal z uporabo geomembran, zato je bila izvedena presoja uporabnosti bentonitnih trakov.

### Predhodne preiskave in presoja uporabnosti bentonitnih trakov za zaščito vkopnih brežin

Opravljeni so bile obsežne preiskave za presojo ekvivalentnosti in ustreznosti uporabe bentonitnih trakov. Glavna značilnost vkopnih brežin, izvedenih v pleistocenskem produ je, da so strme, oblikovane v naklonu 1 : 1,5, na kritičnih odsekih celo višje od 7 m. Maksimalna debelina prekrivnega sloja, ki so jo pogojevale projektne okoliščine je bila 50 - 60 cm. Za prekrivanje so bili na razpolago karbonatni prodni materiali, pridobljeni iz vkopov, klasifikacije GM/GW/GC. Po opravljenih raziskavah in celoviti presoji razmer sta bila posebej izpostavljena dva problema, vezana na uporabo bentonitnih trakov na strmih brežinah [4]:

- nevarnost razsuševanja bentonita na severnih, močno izpostavljenih brežinah ob poletni suši,
- nevarnost drsenja tanke plasti prekrivnega zaščitnega sloja po kontaktu s tesnilnim trakom, za katerega je bil s preiskavami ugotovljen trenjski kot 25 - 26°.

Na nevarnost prekomernega razsuševanja vgrajenih trakov niti relevantna literatura [2] niti navodila proizvajalcev trakov niso opozarjala. Zato je bilo na projektni ravni odločeno, da se v začetni fazi vzpostavi sistem trajnega opazovanja vlažnosti bentonita v traku, v primeru ugotovljenega prekomernega razsuševanja pa se brežine opremijo s sistemom za dodatno vlaženje.

Za zagotovitev stabilnosti prekrivnega sloja, je bila na osnovi podatkov raziskav in stabilnostnega izračuna [3] izbrana rešitev z ojačitvijo kontakta z vgradnjijo polimerne armaturne mreže.

## **Kontrola kakovosti in opazovanje obnašanja materialov med gradnjo**

Kontrola kakovosti materialov in gradnje je bila obsežna in se je izvajala po smernicah [1]. Med gradnjo so se kontrolirali:

- kakovost priprave vkopane brežine: ravnost, zgoščenost, zaglajenost površin,
- kakovost polaganja trakov in kakovost stikovanja trakov na objekte,
- kakovost prekrivanja: zrnavostna sestava prekrivnega materiala, vlažnost in zgoščenost pokrova,
- kakovost oz. uspešnost navlažitve bentonitnih trakov po prekriju.

Polaganje trakov je potekalo hitro in enostavno. Vsi dobavljeni trakovi so ustrezali proizvodnim specifikacijam. Tesnenje stikov se je izvajalo s premazi iz bentonitne paste, priključki trakov na betonske robnike pa z varjenjem z bitumenskim hidroizolacijskim trakom. Med gradnjo so se na strmih brežinah, kljub uporabi armaturne mreže, pojavljali lokalno omejeni zdrsi zemljinskega pokrova po kontaktu s trakom. Ti zdrsi so se praviloma javljali na brežinah, ki so se prekrivale v času dežja, ali na brežinah, na katerih se je pokrov izvajal iz razmočenih, zaglinjenih prodov. Do obsežnega zdrsa pokrova je prišlo v novembру 1997, v času zelo hudih padavin, na severni, sveže dokončani brežini, na kateri se vegetacijska zarast še ni prijela. Po podatkih HMZ je bila v času, v katerem je prišlo do zdrsa, izmerjena največja dnevna koncentracija padavin, kdajkoli zabeležena na merni postaji v Ljubljani. Na mestih vseh zdrsov so bili bentonitni trakovi razgaljeni a povsem nepoškodovani. Za sanacijo takšnih zdrsov je bil privzet sistem z uporabo trislojnih lesenih letvic, ki so omogočale boljše vpenjanje pokrova na brežino.

## **Kontrola kakovosti in opazovanje obnašanja bentonitnih trakov in brežin po izgradnji**

Vzpostavljen je sistem tehničnega opazovanja varovanih brežin, ki obsega redne geološke pregledе brežin, kontinuirno merjenje vlažnosti vgrajenih materialov, ter občasne izkope z vizuelnim preverjanjem stanja in vlažnosti vgrajenih trakov.

Podatki doslej opravljenih opazovanj potrjujejo predhodno nakazano možnost prekomernega razsuševanja bentonita na kritičnih, močno osončenih brežinah. Po podatkih klasičnih preiskav odvetih vzorcev s sušenjem v laboratoriju so variacije vlage v bentonitu tudi 40 - 60 %, podatki posrednih meritev elektropornosti pa kažejo celo na možnost še intenzivnejšega razsuševanja.

Po izvedenih lokalnih sanacijah so opazovane, zatravljene brežine stabilne, do pojavov lokalnih ali obsežnih zdrsov v času obratovanja avtoceste ni več prišlo.

## **ZAKLJUČEK**

Uporaba bentonitnih trakov za tesnenje tal ima v primerjavi z glinenimi naboji številne prednosti, pa tudi pomanjkljivosti. Med glavne pomanjkljivosti lahko štejemo sorazmerno skromne izkušnje pri uporabi in majhno debelino ter sorazmerno veliko občutljivost tesnilnih trakov na zunanje vplive. Izkušnje, pridobljene pri vgrajevanju bentonitnih trakov na trasi severne ljubljanske obvoznice kažejo, da tujih izkušenj ni dopustno prenašati na naša tla, ne da bi se temeljito preverili specifični vplivi okolja. Opazovanja kažejo, da bo potrebno v slovenskih klimatskih razmerah, debelino zaščitnih slojev prilagajati debelinam, ki so slične globinam vplivnih con zmrzovanja. Posebno pozornost je potrebno nameniti stabilnosti prekrivnega sloja na brežinah in pazljivi izbiri prekrivnih materialov.

## **LITERATURA**

- (1) ETV - StB - BW 96, (1996): Ergänzungen zu den Technischen Vertragsbedingungen im Strassenbau, Baden Wurtenberg.
- (2) Geosynthetic clay liners, Proceedings of an International symposium, Nurnberg, 1994, Balkema
- (3) Logar, J., ( 1996 ): Analiza površinske stabilnosti brežin severne ljubljanske obvoznice, varovane z bentofixom, Poročilo FGG, 56 - 96/bm.
- (4) Petkovšek, A., (1996): Presoja variantnih možnosti kakovostne in trajno učinkovite zaščite podtalnice na območju severne ljubljanske avtoceste, Poročilo ZAG, št. 948/95 - 3
- (5) Petkovšek, A., Starič, T. ( 1997 - 1999 ): Poročila o spremeljanju kakovosti in opazovanju ščitenih brežin na trasi SOC in VAC, Poročila ZAG, št. 948/95-740-9/96, 948/95-740-1/97, 948/95-740-9/96, 947/95-740-34/98, 947/95-740-52.