

ŠTYRIDSAŤ ROKOV S GEOSYNTETIKOU

FORTY YEARS WITH GEOSYNTHETICS

Radovan BASLÍK¹

Abstrakt

História geosyntetiky na Slovensku sa datuje od sedemdesiatych rokov minulého storočia. Výskum a vývoj geosyntetiky boli spojené s Výskumným ústavom inžinierskych stavieb v Bratislave a s výskumnými úlohami, ktoré sa tam riešili. Príspevok stručne opisuje začiatky aktivít súvisiacich s vystuženými horninovými konštrukciami a geosyntetikou a postupné zavádzanie výsledkov riešenia jednotlivých výskumných úloh do praxe v bývalom Československu. V deväťdesiatych rokoch minulého storočia prešli aktivity s geosyntetikou do súkromných firiem. Uvádzajú sa niektoré významné aplikácie geosyntetiky s rôznymi funkciami v rôznych stavebných konštrukciách na Slovensku z toho obdobia, s ktorými mal autor príspevku osobné skúsenosti.

Abstract

The history of geosynthetics in Slovakia dates from the 1970s. The research and development of geosynthetics was connected with the Research Institute of Civil Engineering in Bratislava and with the research projects that were realized there. The paper describes the beginnings of activities related to reinforced earth structures and geosynthetics and the gradual putting of the results into practice in the former Czechoslovakia. In the nineties of the last century, geosynthetics activities were transferred to private sector. There are presented some significant applications of geosynthetics with different functions in different building constructions in Slovakia that the author cooperated with.

1 Úvod

Systematická a cieľavedomá činnosť, zameraná najskôr na vystužené horninové konštrukcie a neskôr na vlastnosti geosyntetiky a ich použitie v rôznych trvalých stavebných konštrukciách, sa začala v roku 1970 a pokračovala približne ďalších dvadsať rokov v minulom storočí na Výskumnom ústave inžinierskych stavieb (VÚIS) v Bratislave na oddelení zemných konštrukcií a zemných prác. VÚIS Bratislava mal v tom období osobitné a výhradné postavenie, pretože bol v oblasti inžinierskych stavieb jediným pracoviskom v Československu s celoštátnou pôsobnosťou.

Protagonistom vo vystužených horninových konštrukciách bol Ing. Pavol Petřík, CSc.

Prvou oblasťou záujmu bola vystužená zemina, tzv. „terre armée“, ktorá sa objavila vo Francúzsku v prácach F.Schlossera a A.Vidala, napr. [1]. Vystuženou zeminou bol v prvo-počiatkoch celokovový vystužený oporný múr s kovovým lícovým opevnením a kovovými pásikmi v bloku vystuženej zeminy. Neskôr sa ako lícové opevnenie začali používať betónové prefabrikáty. Tento systém sa s rôznymi čiastkovými obmenami (rôzne tvary a veľkosť lícových prefabrikátov, geosyntetické pásiky ako výstuž, a pod.) používa doteraz.

Druhou analyzovanou oblasťou boli technické textílie, v tom období klasické výrobky textilného priemyslu, ktorým sa hľadalo nové využitie v stavebníctve. Výhodou v tom období bolo, že v bývalom Československu, bol veľmi rozvinutý textilný priemysel, takže bolo k dispozícii veľké množstvo domácich výrobkov, ktoré by sme dnes nazvali netkané a tkané geotextílie. Výrobcami vlákien, polotovarov alebo konečných výrobkov boli veľké podniky, napr. Tatraľan Kežmarok, Chemlon Humenné, Chemosvit Svit, CHZJD Bratislava, Lykotex Revúca, Skloplast

¹ Radovan Baslík, Ing., CSc., Š. Majera 1, 841 06 Bratislava, tel.: + 421905643589, e-mail: radobaslik@gmail.com

Trnava, Jutá Dvůr Králové, Mitop Mimoň, Technolen Lomnice n/P., Kordárna Velká n/V, Vigona Svitavy. Dobrým základom pre prácu s technickými textíliami boli aj výskumné ústavy pracujúce v danej oblasti. Na Slovensku to bol Výskumný ústav textilnej chémie v Žiline a Výskumný ústav chemických vlákien vo Svite, v Čechách Výskumný ústav lykových vlákien v Šumperku a Státní výzkumný ústav textilní v Liberci.

Veľmi dobrým podkladom a zdrojom informácií bol súbor platných a na svetovej úrovni spracovaných tzv. „textilných“ skúšobných noriem.

2 Výskumná činnosť na VÚIS Bratislava v období 1970 - 1989

Problematica vystužených horninových konštrukcií (ďalej VHK) a geosyntetiky sa stala súčasťou všetkých výskumných úloh riešených od roku 1970 v priebehu približne dvadsiatich rokov na oddelení zemných konštrukcií a zemných prác na VÚIS Bratislava. Ich prehľad je v tab.1. Tieto aktivity a výskumné úlohy skončili približne v roku 1989.

Tab. 1 Prehľad výskumných úloh s problematikou VHK a geosyntetiky riešených na VÚIS Bratislava.

Tab. 1 Overview of research projects on VHK and geosynthetics realised at VÚIS Bratislava.

Typ úlohy	Číslo úlohy	Názov úlohy	Roky riešenia
štátna	P 12-526-071/06.2	Vystužená zemina	1970-1973
štátna	P 12-526-078/03	Vystužená zemina	1973-1978
štátna	P 12-526-262-03.3	Stavba vystužených násypov na neúnosnom podloží	1978-1980
štátna	S 12-526-056/03	Výskum a aplikácia nových prvkov zemných konštrukcií	1979-1983
oborová	G-321-104	Zavedenie syntetických zvislých drénov do praxe (riešené pre DS Olomouc)	1982-1984
oborová	G-325-115	Kombinácia zosilňujúcich prvkov zemných konštrukcií (riešené pre DS Olomouc)	1985-1987
štátna	N 01-526-808-01	Zemné konštrukcie z neštandardných materiálov	1984-1987

2.1 Oporné steny kotvené do vystuženej zeminy

Termín „oporné steny kotvené do vystuženej zeminy“ sa môže javiť z dnešného pohľadu nejasný alebo máťuci. Nie je to pravda. Už na začiatku výskumných aktivít Ing.P.Petrík, CSc. presne definoval a opísal typ vystuženej konštrukcie, kde sú v zásype kotviace pásiky. Tieto pásiky majú funkciu kotiev, ku ktorým je pripevnené lícové opevnenie. Preto by sa mali všetky dnes používané podobné oporné systémy (napr. systémy Reinforced Earth od firmy Terre Armée alebo Reinforced Earth Company a systém Macres od firmy Maccaferri), ktoré majú v zásype kovové alebo geosyntetické úzke pásiky, presne označovať ako „oporné múry s kotveným lícovým opevnením“ (OMkLO), [2]. Nie sú to totiž vystužené oporné múry (ďalej VOM) s plošnou geosyntetickou výstužou, ako sa uvádzajú v norme, napr. STN 73 3041 [3], alebo v predpisoch, napr. TKP č.31 [4]. OMkLO sú v porovnaní s VOM odlišné konštrukcie, pretože sa od VOM s plošnou geosyntetickou výstužou odlišujú v účinnosti, priestorovom pôsobení a dĺžke úzkych oceľových pásikov, v spolupôsobení pásikov a lícového opevnenia a v odlišných požiadavkách na vystuženie lícového prefabrikátu. A keďže pásiky, vzhľadom na malú šírku a veľkú dĺžku, pôsobia primárne ako kotvy (nie výstuž), treba ich označovať ako kotviace, nie výstužné pásiky. To je potrebné zohľadniť pri výbere, návrhu, dimenzovaní a realizácii opornej konštrukcie.

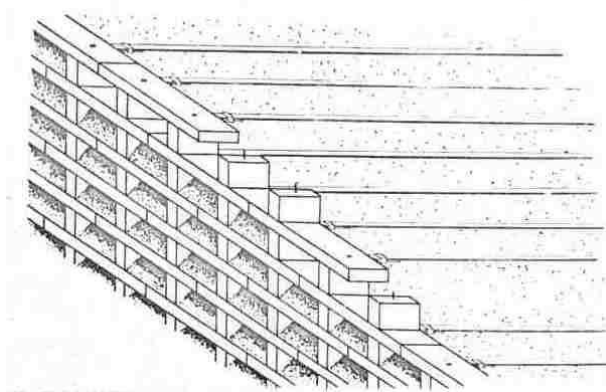
No naspäť k téme tohto článku.

Problematika oporných stien z vystuženej zeminy bola prvý raz náplňou štátnej výskumnej úlohy P 12-526-071/06.2. Cieľom bolo vypracovať projektový a technologický predpis stavby objektov tohto druhu [5]. Prvý návrh predpisu sa vypracoval v roku 1973. Predchádzalo tomu teoretické štúdium zahraničných podkladov a experimentálne práce v laboratóriu VÚIS. Experimentálne práce spočívali v modelovaní OMkLO na analógovom fyzikálnom modeli z oceľových kolíkov. Merali sa ťahové sily vo výstužiach, pričom sa hľadala optimálna dĺžka výstuží, obr.1. Zisťovali sa aj tlaky pôsobiace na rub lícového opevnenia a v základovej škáre konštrukcie.



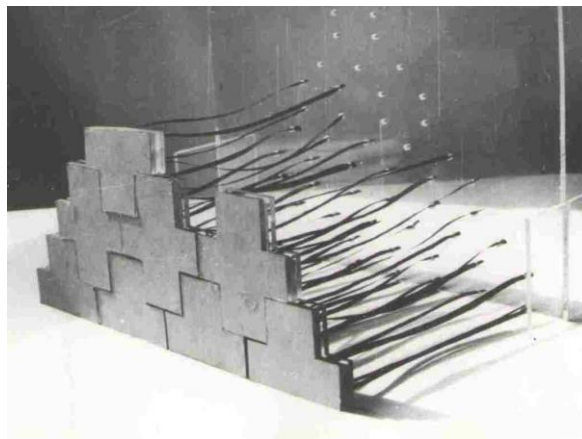
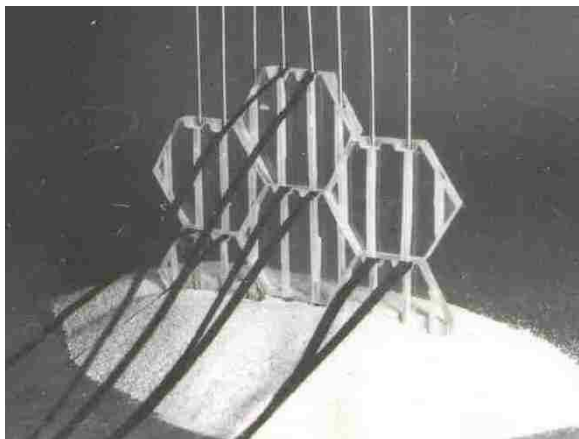
Obr. 1. Kolíčkový model (naľavo) a izostaty ťahových síl vo výstužiach (napravo).
Fig. 1. Pin model (left) and tensile isolines in reinforcements (right).

Na základe výsledkov výskumu sa pripravili a realizovali prototypy oporných stien kotvených do vystuženej zeminy. V Harmónii v roku 1971 a v Brne (sídliisko Lesná II) sa realizovali OMkLO s malými betónovými tvarovkami na líci a kovovými pásikmi v zásype, obr.2.

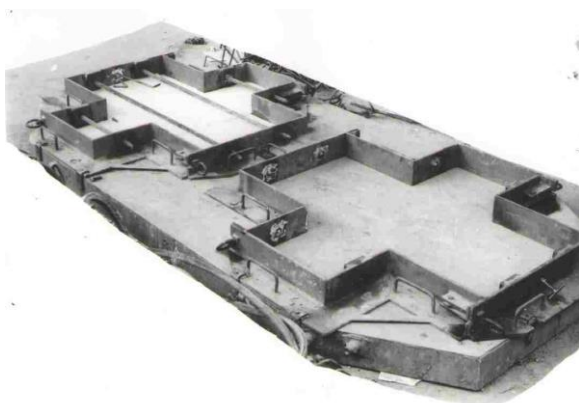


Obr. 2. Oporná stena kotvená do vystuženej zeminy, schéma (naľavo), stavba v Harmónii (napravo).
Fig. 2. Retained wall anchored in reinforced soil, diagram (left), structure in Harmonia (right).

Výskum a vývoj oporných múrov z vystuženej zeminy ďalej pokračoval v úlohe P 12-526-078/03 [6]. Overovali sa spôsoby ochrany povrchu kovových výstuží, na čo sa spracoval technologický predpis. Skúmali sa alternatívy lícového opevnenia z veľkorozmerných betónových prefabrikátov. Prvým typom bola montovaná stena z uholníkových prefabrikátov na plnú výšku steny. Pozornosť sa v ďalšej etape sústredila na vývoj železobetónových lícových prefabrikátov s hmotnosťou do 600 kg. Výsledkom boli šesťuholníkové a krížové prefabrikáty, obr.3. Vývoj dospel až do praktického riešenia. Boli vyrobené sady oceľových debnení, obr.4, a poskytnuté realizačným podnikom na stavbu oporných stien. Prvý OMkLO s krížovými prefabrikátmi na líci a kovovými pásikmi v zásype máme na Slovensku od roku 1975 a postavil ho Hydrotav Košice na sídlisku Furča v Košiciach, obr.4.



Obr. 3 Typy lícových prefabrikátov, šesťuholníkový (naľavo), krížový (napravo).
Fig. 3 Types of facing panels, octagonal (left), cross (right).



Obr. 4 Krížové prefabrikáty, forma (naľavo), na stavbe OMkLO v Košiciach (napravo).
Fig. 4 Cross panels, form (on the left), OMkLO structure in Košice (right).

Konečný návrh projektového a technologického pravidla na „Oporné steny kotvené do vystuženej zeminy“ bol predložený a schválený v roku 1978. Predpis obsahoval:

- spôsob stanovenia dĺžky kotviacich pásov v závislosti od horniny zásypu, výšky steny a sklonu nadnásypu,
- jednotlivé typy prefabrikátov a tvar rímsoy,
- vystuženie prefabrikátov oceľovou betonárskou výstužou v závislosti od zemného tlaku,
- povrchovú úpravu prefabrikátov,
- požiadavky na horninu zásypu,
- spôsob založenia,
- rozmery a typ protikorózneho ochrany povrchu oceľových pásov,
- požiadavky na stavenisko, skladovacie priestory,
- postup výroby prefabrikátov,
- technologický postup výstavby a kontrola kvality výstavby,
- údržba lícového opevnenia.

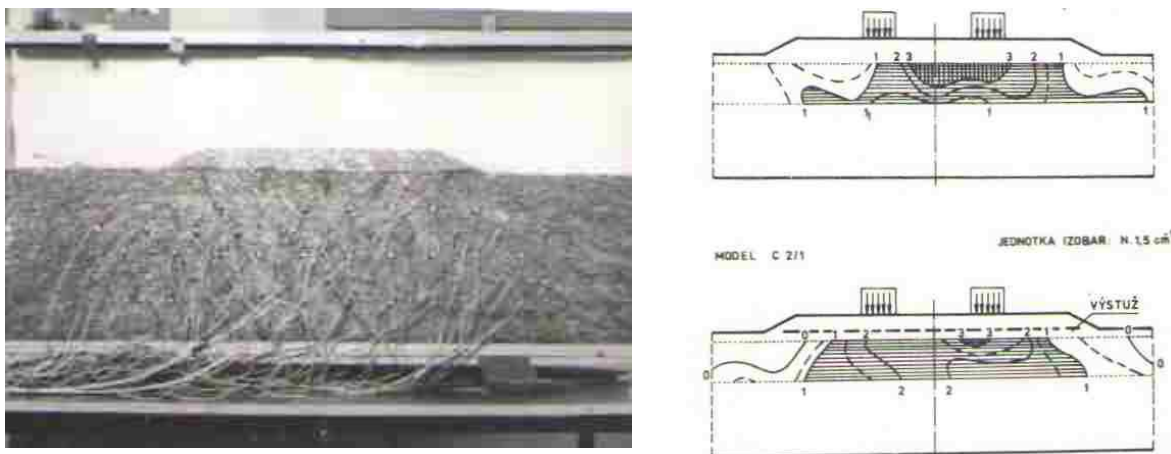
2.2 Geosyntetika v rokoch 1974-1980

Geosyntetika sa stala objektom výskumnej činnosti v roku 1974 v priebehu riešenia úlohy P 12-526-078/03. Cieľom úlohy bolo vypracovať smernice na zhotovenie vystužených podkladových vrstiev a na použitie geosyntetiky pri stavbe dočasných komunikácií.

Z dostupnej zahraničnej literatúry bolo zrejmé, že pri prvých pokusoch sa technické textílie

ukladali v dočasných komunikáciách na menej únosné podložie, pod vrstvu kameniva. Je to veľmi jednoduchá stavebná konštrukcia a typický prípad, ktorý sa vyskytuje aj dnes na mnohých stavbách. Preto to bol i vhodný spôsob na overenie účinku technickej textílie.

Schéma dočasnej komunikácie sa použila pri experimentálnych prácach. Použil sa opäť analógový fyzikálny model z oceľových kolíkov. Do modelu sa vkladala menej únosná vrstva z upravených kolíkov z nižším deformačným modulom a na rozhranie podložia a nízkeho násypu sa vkladala výstuž. Na povrchu pôsobilo zaťaženie, ktoré predstavovalo nákladné vozidlo. Merali sa ťahové sily vo výstuži, no najmä zvislé a vodorovné napätia v podloží, obr.5. Výsledky laboratórneho výskumu sa prezentovali na prvej medzinárodnej konferencii o použití textílií v geotechnike, ktorá sa konala v Paríži v roku 1977, [7].

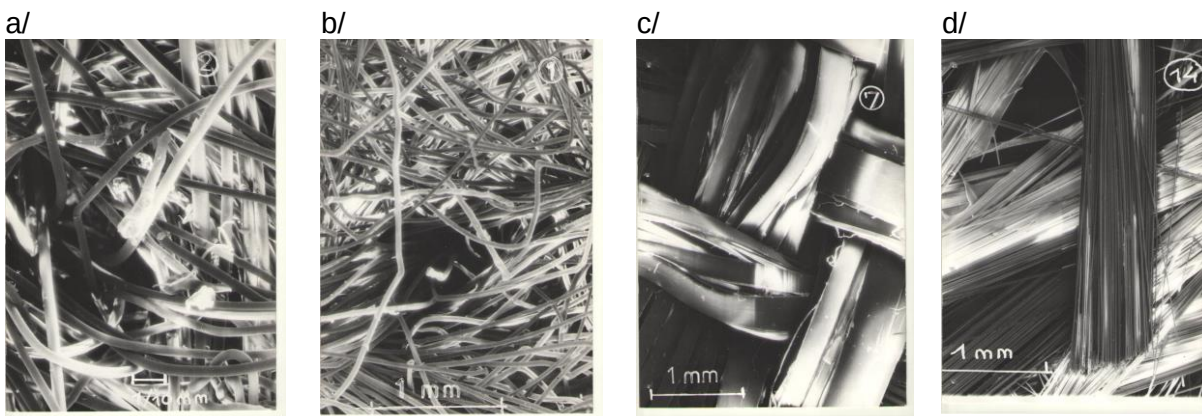


Obr. 5 Vystužená podkladová vrstva, model (naľavo), izobary napätí (napravo).

Fig. 5 Reinforced layer, model (left), tension isolines (right).

Výsledky laboratórnych skúšok sa dopĺňali výsledkami terénnych meraní [8].

V ďalšej etape úlohy sa uskutočnil podrobný prieskum trhu s technickými textíliami. Bolo výhodou, že v bývalom Československu, bol veľmi rozvinutý textilný priemysel, takže bolo k dispozícii veľké množstvo domácich výrobkov. Študovalo sa zloženie domácich aj zahraničných výrobkov, obr.6, a overovali sa charakteristiky všetkých výrobkov, ktoré by sa mohli použiť v stavebníctve.



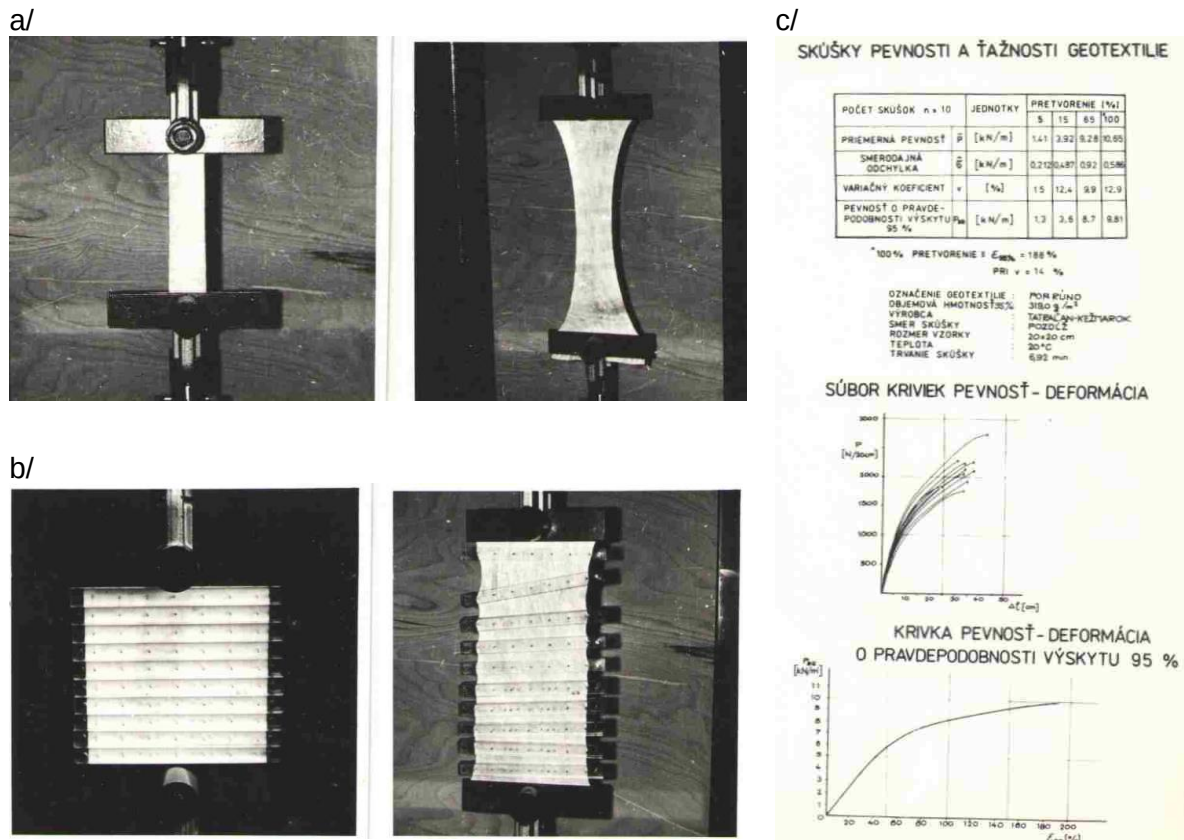
Obr. 6 Fotografie výrobkov z elektronového mikroskopu (a/ Tatratex, b/ Arabeva, c/ tkanina z POP pásikov, d/ sklenená tkanina).

Fig. 6 Textiles, an elctron microscope photos (a / Tatratex, b / Arabeva, c / woven textile made of POP strips, d / woven glass cloth).

Zaujímali nás predovšetkým pevnostne-deformačné vlastnosti textílií. Vlastnosti textílií od domácich výrobcov (Tatraľan, Juta, Mitop) sa porovnávali s vlastnosťami textílií od zahraničných výrobcov (Bidim, Fibertex, Polyfelt, Typar, Terram).

Vykonalo sa veľké množstvo ťahových skúšok podľa normy ČSN 80 0812 na zisťovanie pevnosti páskov plošných textílií v ťahu. Bola to skúšobná metóda vypracovaná pre potreby textilného priemyslu, ktorá sa vtedy bežne používala. Nevyhovovala síce potrebám stavebníctva, no bola to základná skúška a jej výsledky bolo možné porovnávať.

V rámci výskumu sa pri ťahových skúškach, metóda „strip“, alternovala šírka vzorky, rýchlosť skúšky a použila sa aj metóda „plain strain“. Zaznamenával sa „pracovný diagram“ (závislosť ťahová sila/deformácia) každej skúšky a výsledky sa štatisticky spracovávali, obr.7. Stanovovali sa hodnoty ťahovej pevnosti, P_{95} (dnes je to maximálna ťahová pevnosť – T_{max}), a pomernej deformácie pri maximálnom zaťažení, ε_{95} (dnes je to pomerné predĺženie pri maximálnom zaťažení – ε_{max}), [9].



Obr. 7 Ťahové skúšky textílií (a/ metóda „strip“, b/ metóda „plain strain“, c/ príklad vyhodnotenia).
 Fig. 7 Textile tests (a / strip method, b / simple strain method, c / results).

Súčasne s pevnostne-deformačnými vlastnosťami textílií sa analyzovali aj ich filtračné vlastnosti a vypracovala sa metóda návrhu textílie ako filtračnej vrstvy v horninovom prostredí.

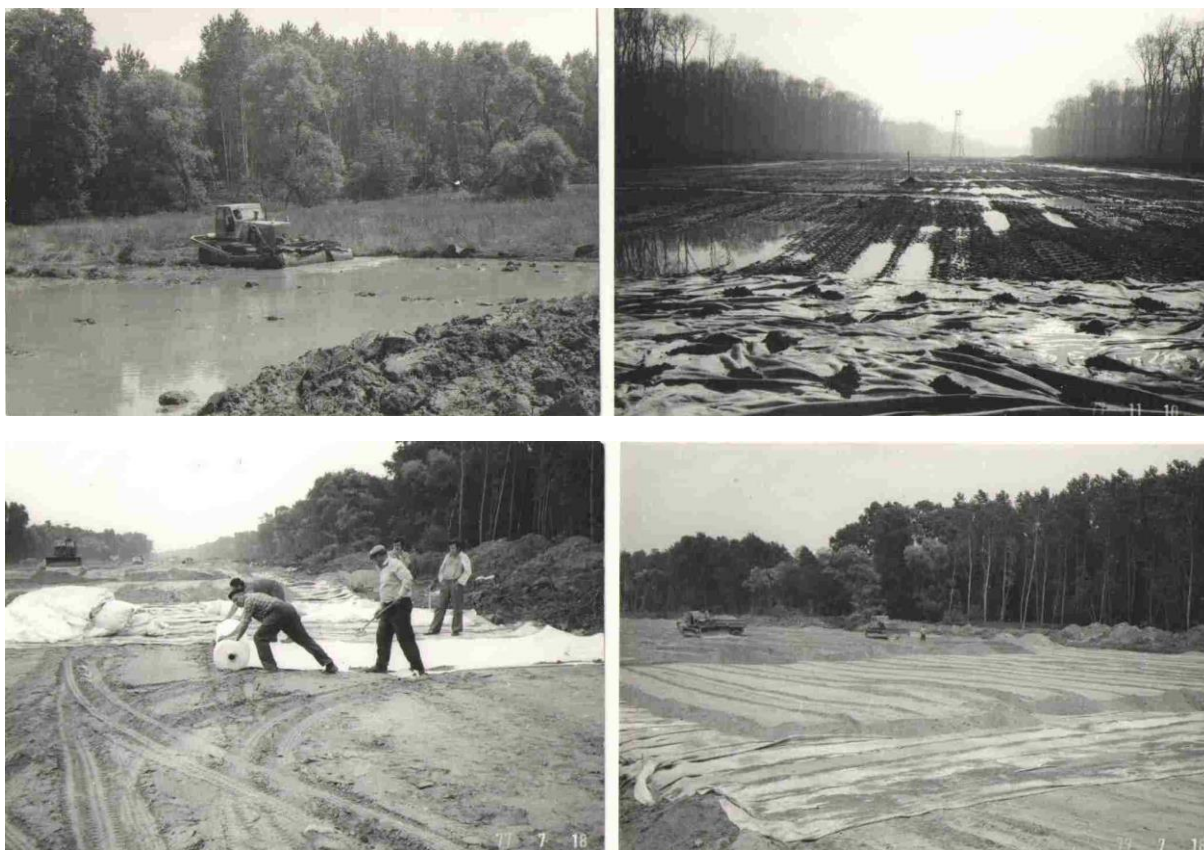
V priebehu riešenia úlohy P 12-526-078/03 sa postupne nahradil termín technické textílie termínom geotextílie a v záverečnej správe sa už používa len termín geotextílie.

Nárast množstva geotextílií použitých na rôznych stavbách bol v tých rokoch veľmi dynamický a konštatovalo sa, že v roku 1977 sa v Československu zabudovalo viac ako 400 tis. m² geotextílií rôzneho druhu.

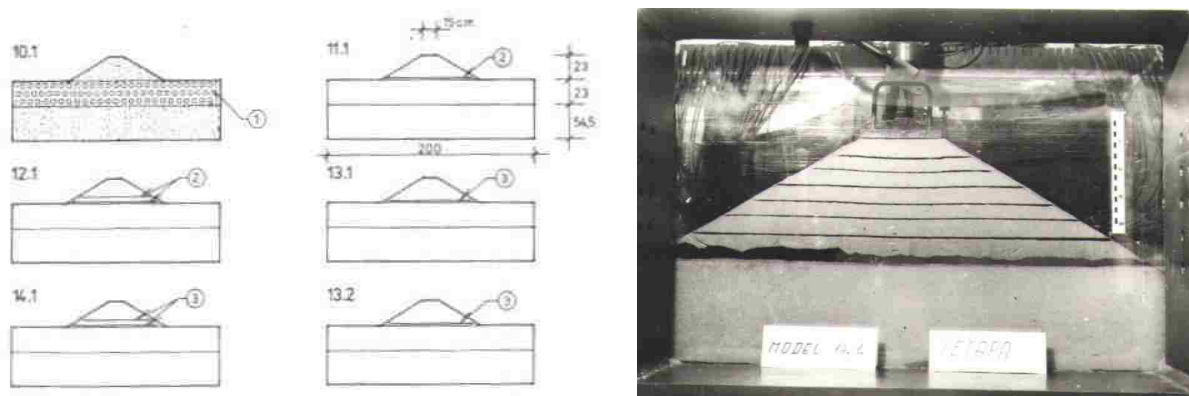
Najvýznamnejším výsledkom riešenia úlohy bola aplikácia geotextílií v množstve 380 tis. m² na úseku diaľnice Bratislava-Brno v úseku Kúty-Břeclav v údolnej nive rieky Moravy v roku 1977. V spolupráci VÚIS a Doprastav Bratislava sa vypracoval alternatívny návrh založenia diaľničného násypu na málo únosnom podloží. Použili sa štyri druhy geotextílií (Tatratex, Arabeva, SI-50/35, POP 767974) vo funkcii oddeľovača a filtra, obr.8.

V rámci riešenia úlohy P 12-526-262-0.3.3 sa začal výskum vystužených násypov na málo únosnom podloží. Experimentálne práce sa vykonávali na pieskových modeloch postavených v tuhom žľabe rozmerov 2,0 x 1,0 x 0,5 (šírka x výška x hĺbka). Modely predstavovali vysoký

násyp s vystužením základovej škáry položený na málo únosné podložie, obr.9.



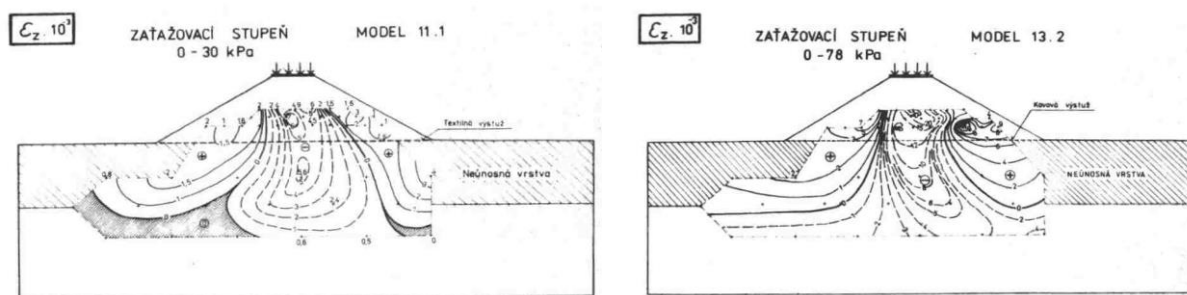
Obr. 8 Aplikácia geotextílií pod diaľničným násypom.
Fig. 8 Application of geotextiles under the highway embankment.



Obr. 9 Pieskový model násypu na málo únosnom podloží, prehľad modelov (naľavo), postavený model (napravo).
Fig. 9 Sand embankment model on low load bearing capacity subsoil, models overview (left), real model (right).

V priebehu zaťažovania koruny násypu sa pomocou indukčných snímačov umiestnených v násype a podloží merali pomerné dĺžkové pretvorenia a z nameraných hodnôt sa zostavovali izočiary vodorovných (ϵ_x) a zvislých (ϵ_z) pomerných dĺžkových pretvorení pre jednotlivé zaťažovacie stupne, až do porušenia násypu, obr.10. Sledovali sa zmeny poľa pretvorení, pričom modelovanie sa považovalo len za kvalitatívne skúšky vystužených nesúdržných materiálov a slúžilo na porovnávanie správania jednotlivých modelov.

Výsledky fyzikálnych modelových skúšok dopĺňali výsledky výpočtov MKP. Matematickým modelovaním sa zisťoval vplyv rôznej tuhosti výstuže na stabilitu násypu.



Obr.10 Pieskový model, izočiary ϵ_x (naľavo) a ϵ_z (napravo).

Fig.10 Sand model, isolines ϵ_x (left) and ϵ_z (right).

Súčasťou riešenia bola pokusná stavba vystuženého násypu s vystuženým strmým svahom v hornej časti násypu príjazdovej cesty k „BAZ“ v Devínskej Novej Vsi v Bratislave, [10].

2.3 Geosyntetika v rokoch 1980-1989

V úlohe S 12-526-056/03 pokračovalo matematické modelovanie ďalších alternatív vystužených násypov na málo únosnom podloží a podrobnejšie sa analyzovali výsledky fyzikálneho modelovania.

V čiastkovej úlohe 3.3 sa uskutočnilo množstvo dlhodobých ťahových skúšok tkaných geotextílií, aby sa overilo kríповé správanie rôznych polymérov, a krabicových šmykových skúšok na stanovenie povrchových vlastností geotextílií. Riešenie úlohy smerovalo k praktickým aplikáciám vystužených násypov.

Z pohľadu použitia geosyntetiky s funkciou výstuže v trvalých horninových konštrukciách so životnosťou viac ako 100 rokov nás zaujímal vplyv času na mechanické charakteristiky geotextílií, tj. dlhodobé pretváranie pri jednoosovej napätosti. Každý polymér, z ktorého sa vyrábajú geotextílie podlieha pri dlhodobom zaťažení reologickým procesom, pričom dôležité je predovšetkým väzké tečenie – kríp. Reologické správanie geotextílií sa znázorňuje krivkami dlhodobého pretvárania pri jednoosovej napätosti. Na obr. 11a sú výsledky dlhodobých ťahových skúšok vlákien z PP, PAD a PET tkaných geotextílií. Z týchto výsledkov možno zostaviť izočiary napätie/pretvorenie, obr.11b a z nich izočiary tangenciálny modul/pretvorenie. Výsledky skúšok československých geotextílií v obr. 11 sú z článku v zahraničnom časopise Geotextiles and Geomembranes [11], ktoré boli publikované v rovnakom čase, ako výsledky dlhodobých skúšok zahraničných geotextílií.

Najdôležitejšie boli krivky (izočiary) časovej závislosti pomerné predĺženie (vodorovná os)/úroveň ťahovej pevnosti (zvislá os) pre rôzne polyméry na obr.11b. Neskôr sa výsledky dlhodobých ťahových skúšok extrapolovali na 50 a 100 rokov a doplnili sa krivky pre 50 a 100 rokov. Grafy sa používali na určenie ťahovej sily vo výstužiach v rôznom čase podľa prípustnej hodnoty pomerného predĺženia geosyntetickej výstuže na určitom mieste vo vystuženej horninovej konštrukcii.

Výsledky dlhodobých ťahových skúšok sa prakticky používali na stanovenie reálne mobilizovanej ťahovej sily v geosyntetickej výstuži (tканé geotextílie aj tkané geomreže) vo vystuženom násype, ktorá sa nachádzala medzi odvodenou návrhovou silou použitou v stabilnom výpočte a požadovanou ťahovou silou, obr. 11c. V navrhutej dimenzačnej metóde vystužených násypov sa vtedy použilo označenie, [12]:

P_f – ťahová sila pri porušení z krátkodobej ťahovej skúšky (dnes T_{max} podľa STN 73 3040),

P_a – dovoľená ťahová sila,

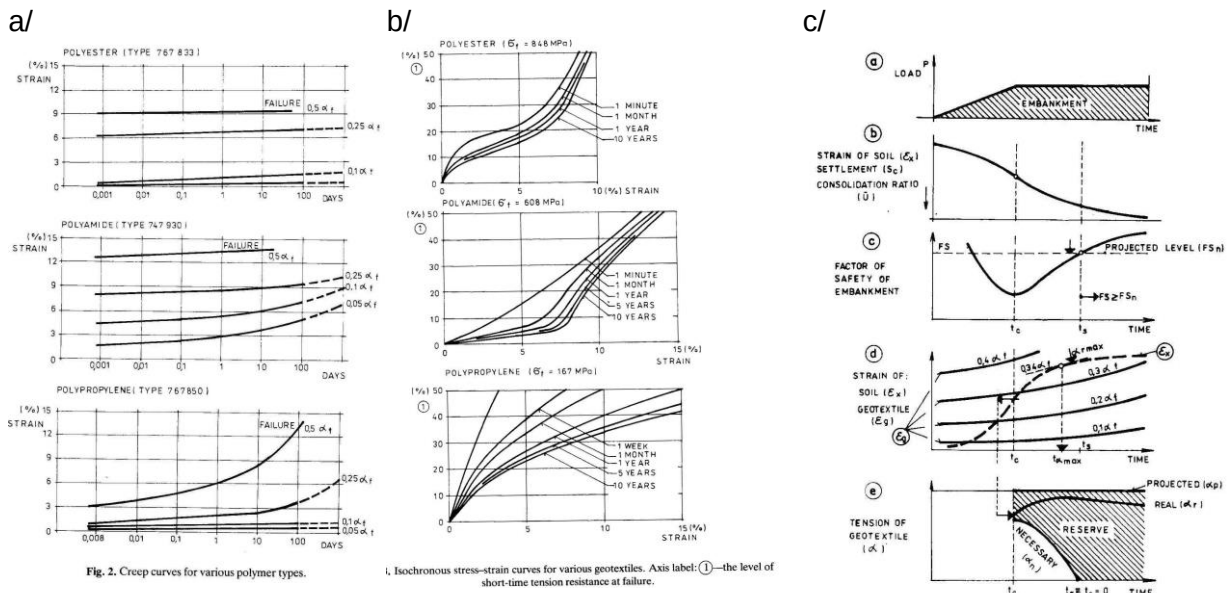
P_s – odvodená ťahová sila (v závislosti od veľkosti ϵ_s),

P_r – skutočná ťahová sila,

P_n – potrebná ťahová sila,

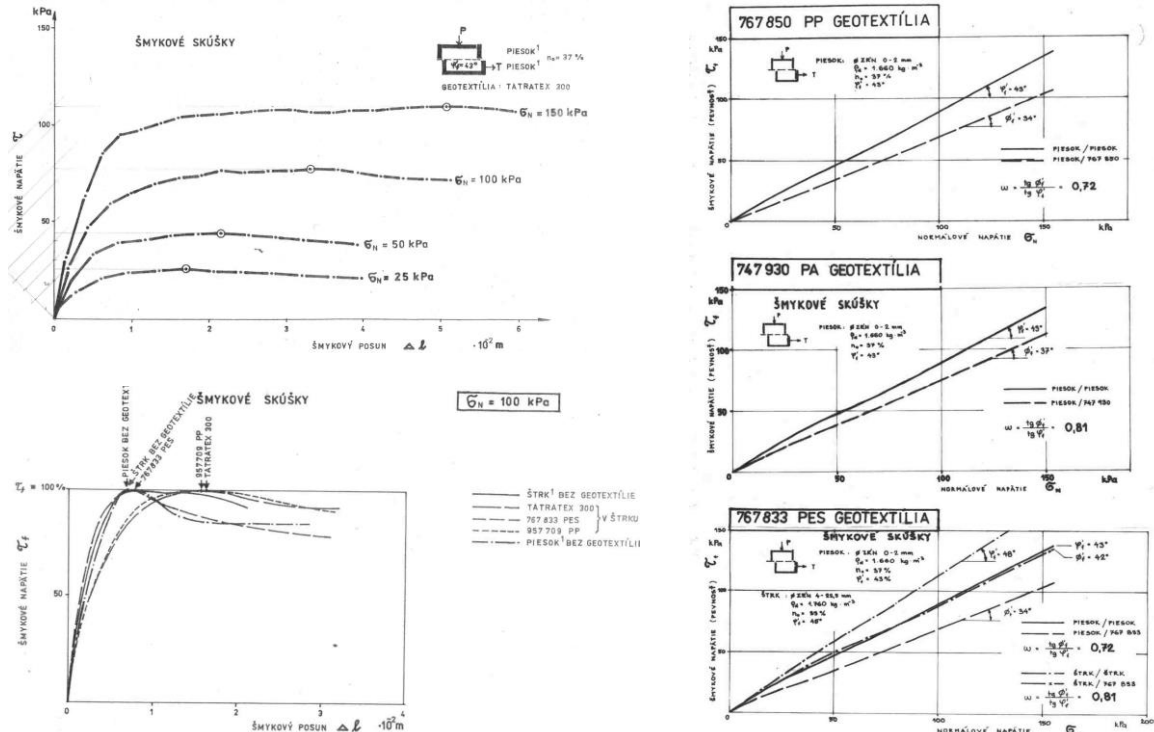
pričom medzi nimi je vzťah (1):

$$P_f > P_a > P_s > P_r > P_n \quad (1)$$



Obr.11 Výsledky dlhodobých ťahových skúšok geosyntetiky a ich praktické využitie.
Fig.11 Results of long-term tensile tests of geosynthetics and their practical use.

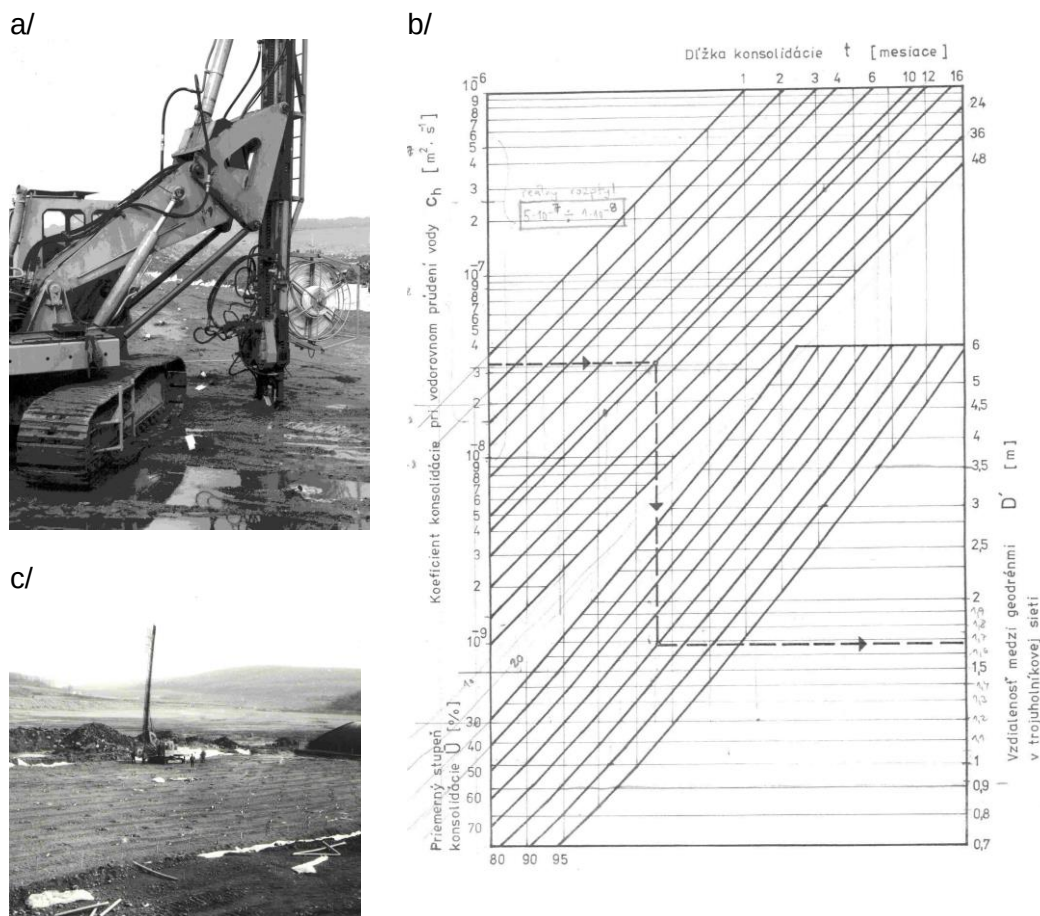
Krabicové šmykové skúšky sa realizovali na veľkorozmernom šmykovom prístroji s rozmermi krabice 400x250x300 mm (dĺžka x šírka x výška). Tento prístroj bol vyrobený a zostavený vo VÚIS Bratislava. Bol to v tom čase jediný podobný prístroj v Československu, takže získané výsledky boli cenné a jedinečné. Skúšali sa povrchové charakteristiky všetkých domácich geotextílií v piesku a v štrku a stanovili sa hodnoty uhlu trenia medzi geosyntetikou (GSY) a zemínou, φ'_{sGSY} , obr.12, [13].



Obr.12 Výsledky krabicových šmykových skúšok.
Fig. 12 Results of box shear tests.

V snahe využiť poznatky získané výskumom správania vystužených násypov bol v priebehu riešenia úlohy vypracovaný rad alternatívnych návrhov na zmenu projektovej dokumentácie

prebiehajúcej výstavby. Z realizovaných návrhov sú najvýznamnejšie dva, a to vystužené násypy na preložke cesty Ústí n/O. – Libchavy a na ceste Paskov – Frýdek-Místek.



Obr.13 PSK drény (a/ stroj na inštalovanie drénov, b/ návrhový diagram, c/ realizácia na JEMO Mochovce).

Fig.13 PSK drains (a / installation machine, b / design diagram, c / application at JEMO Mochovce).

Novým geosyntetickým výrobkom, na ktorý sa sústredil náš záujem v nasledujúcom období boli geodrény. V rámci subdodávky pre Dopravní stavby Olomouc (úloha G-321-104) sa riešili projektové podklady na zavedenie geodrénov do praxe. Lídrom v tejto úlohe boli DS Olomouc, ktoré v spolupráci s podnikmi VÚLV Šumperk, VÚGPT Gottwaldov, Fatra Napajedla (výrobca plastového jadra) a Texlen Trutnov (výrobca geotextilného obalu) vyvinuli čsl. prefabrikovaný drén – PSK drén. DS Olomouc rovnako vyvinuli a vyrobili zariadenie na inštalovanie PSK drénov na stavbe, obr.13a.

Na základe štúdia únosnosti, konsolidácie a časového priebehu konsolidačného sadnutia rôznych typov zemín v málo únosnom podloží pod zemnými telesami sa stanovila nutnosť zabudovania drénov do podložia. V ďalšej fáze sa zistili charakteristiky PSK drénu potrebné pre dimenzačný postup, a to ekvivalentný priemer a drenážna kapacita. Výsledkom riešenia bolo zostavenie diagramu na určovanie vzdialenosti medzi PSK drénmi, obr.13b.

Vďaka spolupráci s DS Olomouc bolo možné dospieť v priebehu riešenia úlohy až k realizácii PSK drénov na stavbách v rokoch 1984-1985. Prvou stavbou bola úprava podložia pod vystuženým násypom železničnej vlečky na stavbe Jadrovej elektrárne v Mochovciach, obr.13c, [14]. Druhou stavbou bola úprava podložia nízkeho cestného násypu na obchvate Nitra (dnes R1A) v blízkosti rieky Nitra, [12].

Stavba železničnej vlečky na JEMO v Mochovciach bola mimoriadne zaujímavá aj tým, že sa v jednej konštrukcii prvý raz v Československu kombinovali dva typy geosyntetiky, a to geosyntetická výstuž v základovej škáre násypu a geodrény v podloží násypu. Stabilné výpočty ukázali potrebu zabudovať do základovej škáry násypu geosyntetickú výstuž

a stanovili veľkosť potrebnej ťahovej sily. Vystuženie bolo nutné najmä vo fáze tesne po ukončení výstavby násypu, keď priemerný stupeň konsolidácie zemín podložía bol nízky, a to napriek zabudovaným drénom, a stupeň bezpečnosti medzného stavu stability bol nedostatočný. Stanovili sa zásady metodiky návrhu cestného násypu s drénmi v podloží a geosyntetickou výstužou v základovej škáre, [15].

Cestný násyp pri rieke Nitre bol zase zaujímavý tým, že sa tam v rokoch 1985-1987 uskutočnil monitoring. V dvoch meracích profiloch sa meralo sadnutie základovej škáry násypu a pórové tlaky v podloží. Na merania sadania bol vo VÚIS vyvinutý prístroj so špeciálnym snímačom. Vypočítané teoretické hodnoty priebehu sadania a prírastky pórových tlakov sa porovnávali s nameranými hodnotami. Tým sa zisťoval prínos PSK drénov zabudovaných do podložía.

Vystužené cestné násypy sa riešili v spolupráci s DS Olomouc aj v úlohe G 325-115. Zisťovali sa krátkodobé a dlhodobé pevnostné charakteristiky nových tkaných geotextílií z výroby podniku Kordárna Velká n/V. Bol urobený podrobný návrh a pripravovala sa realizácia vystužených násypov na diaľnici D1-D47 v úseku Tučapy-Vyškov. V dôsledku posunu trasy diaľnice zo zosuvného na stabilné územie nebol návrh vystuženého násypu realizovaný.

V štátnej výskumnej úlohe N 01-526-808-01 sa dokončili rozpracované metodiky dimenzovania geodrénov a vystužených násypových telies. Výsledkom boli typové listy vystužených násypov. Vykonalo sa technicko-ekonomické posúdenie navrhovaných a realizovaných stavieb s geosyntetikou v období 1984-1987.

Jedným z mimoriadne dôležitých výsledkov práce s geosyntetikou za celé uvedené obdobie bolo vypracovanie celoštátnej normy ČSN 73 3040, čo bola prvá norma s náplňou geosyntetiky, [16]. V ČR bola norma zrušená, no na Slovensku sa podarilo normu uchovať a 3x ju revidovať. Dnes má čiastočne odlišný názov, je platná a slúži aj ako technický podklad najmä pre projektantov a v rezortných predpisoch, [17]. Svedčí to o tom, že charakter a obsah tejto normy je stále aktuálny a potrebný.

Systematický a intenzívny výskum na pôde VÚIS v oblasti geosyntetiky a aktívna spolupráca všetkých zainteresovaných výskumných, výrobných, projekčných, investorských a realizačných podnikov pôsobiach v stavebníctve skončili v roku 1989. Symbolicky sa to uskutočnilo aj publikovaním a prezentovaním výsledkov výskumu realizovaného na VÚIS Bratislava na 2. konferencii so zahraničnými prednášateľmi „Využitie geotextílií a geomembrán v stavebníctve“, konanej v Bratislave, kde mal VÚIS Bratislava odbornú garanciu.

3 Aktivity v rokoch 1989 - 1996

Približne po štvorročnej prestávke začala spolupráca so slovenskými výrobcami geosyntetiky. Spolupráca s firmou Tatraľan Kežmarok spočívala v overovaní vlastností ich výrobkov, a to geotextílií (Tatratex), drenážnych geokompozitov (predovšetkým Terradren) a georohoží (VHVD) a v hľadaní možností ich použitia v stavebníctve. Vypracovali sa metodiky návrhu týchto výrobkov vo funkcii oddeľovača, filtra, drénu a na protieróziu ochranu pre projektantov a aplikačné manuály pre zhotoviteľov.

Začali sa práce na vývoji slovenskej geosyntetickej ílovej zábrany (GCL) s názvom Tatrabent. Je to geokompozit, ktorý sa skladá zo sypkej minerálnej náplne a dvoch netkaným geotextílií slúžiacich ako obal geokompozitu. Účelom náplne je, aby po kontakte s kvapalinou zväčšila dostatočne svoj objem tak, aby sa vytvorila nepriepustná vrstva. GCL má v konštrukcii funkciu bariéry. Najskôr sa hľadal vhodný slovenský bentonit a zisťovali sa charakteristiky potrebné na funkciu bariéry, a to sorpcia vody a napučivosť náplne a následne priepustnosť vody a plynov celého geokompozitu, obr.14, [18]. V následnej etape sa stanovil metodický postup na aplikácie GCL v skládkach odpadov, spolupracovalo sa pri tvorbe slovenských noriem na skládky odpadov a zákona o odpadoch v časti o tesnení dna a uzatváraní skládok, [19].

V roku 1995 sme sa vrátili k vystuženým násypom, keď vo vysokom násype na železničnej trati Kozárovce-Lužianky vznikol pri Žíranoch katastrofický zosun a trať bola vyradená z prevádzky. Na návrhu rekonštrukcie násypu spolupracovalo niekoľko špecialistov. Výsledný návrh obsahoval pieskové drény v podloží, geobunkovú štruktúru Tensar s výškou 1,0 m v základovej škáre násypu a vystuženie samotného železničného násypu geosyntetikou, obr.15. Bolo to prvé

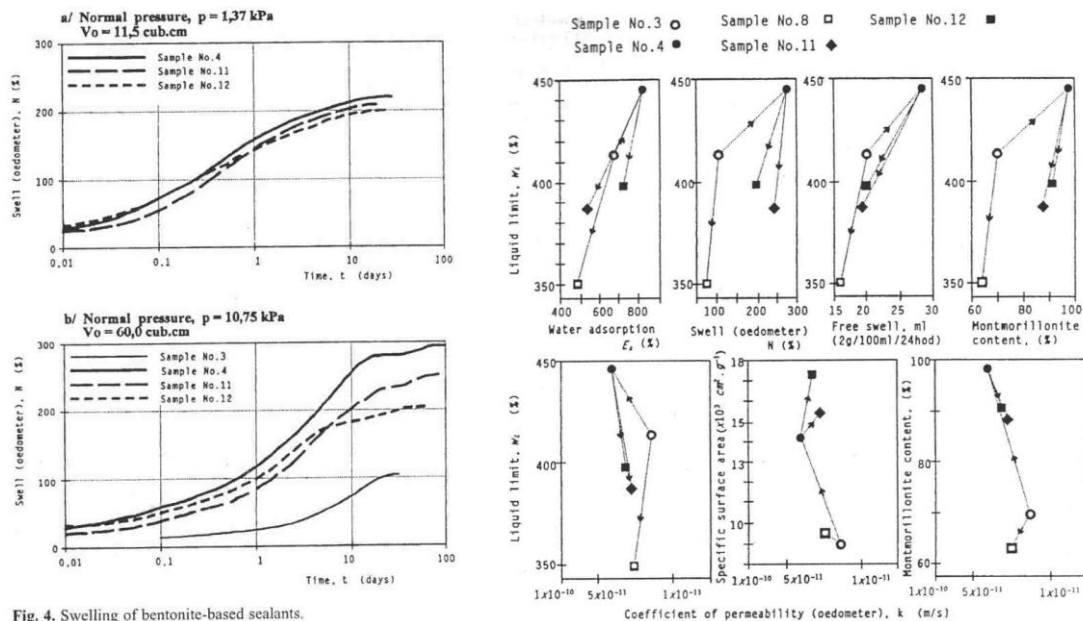
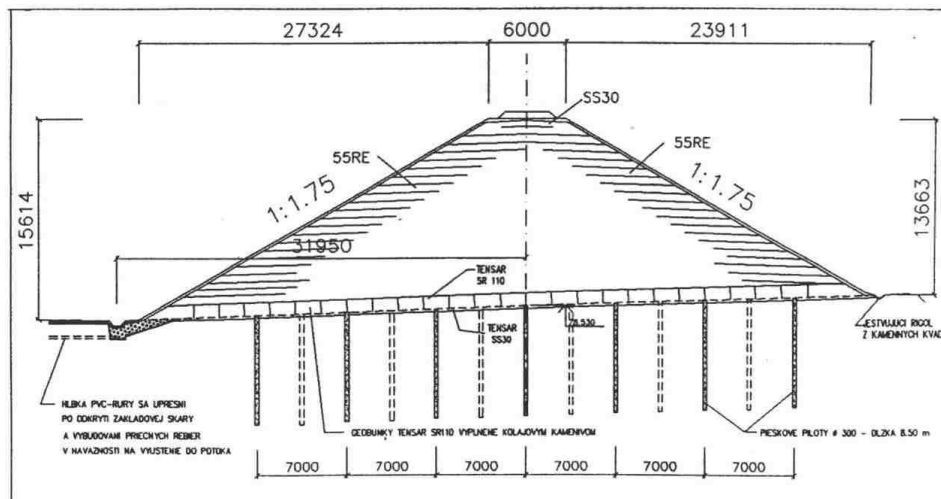


Fig. 4. Swelling of bentonite-based sealants.

Obr.14 Charakteristiky bentonitov do GCL.

Fig.14 Bentonite characteristics to GCL.

použitie tuhých jednoosových monolitických HDPE geomreží Tensor na Slovensku, [20].



Obr.15 Rekonštrukcia porušeného železničného násypu v Žirany.

Fig.15 Reconstruction of damaged railway embankment in Žirany.

4 Aktivity od roku 1997

Nová etapa aktivít spojených s geosyntetikou začala v roku 1997 po založení spoločnosti Tectum-Geosynthetic s.r.o. Hlavnou náplňou odbornej práce boli tuhé monolitické HDPE a PP geomreže a ich aplikácia v stavebných konštrukciách na Slovensku, najmä vo vystužených horninových konštrukciách (VHK).

Na začiatku to bolo vytváranie povedomia odbornej aj laickej verejnosti o geosyntetike a o jej možnostiach. Najskôr sme sami museli študovať zahraničné informácie a dokumenty, aby sme dobehli niekoľkoročnú medzeru, ktorá tu vznikla. Mimoriadne dobrým zdrojom informácií bola medzinárodná geosyntetická spoločnosť (IGS), jej dokumenty, členovia a odborné geosyntetické akcie, ktoré táto spoločnosť podporovala a organizovala. Zúčastnili sme sa už 1. európskej konferencii Eurogeo 1 v Maastrichte v roku 1996, po čom nasledovala účasť na

6. medzinárodnej konferencii v Atlante v roku 1998. Odvtedy sme sa zúčastňovali všetkých významných konferencií o geosyntetike v Bologni, Nice, Mníchove, Fukuoke, Soule, Cancune, Jokohame, Edinburgu, Portlande, Valencii a Berlíne, až do roku 2014. Na niektorých týchto konferenciách sme prezentovali skúsenosti zo Slovenska, napr. [21], [22], [23], [24], [25], [26]. V období od 1975 do 2018 sa publikovalo 194 článkov a príspevkov na konferenciách, seminároch a v odborných časopisoch, z toho 52 v zahraničí.

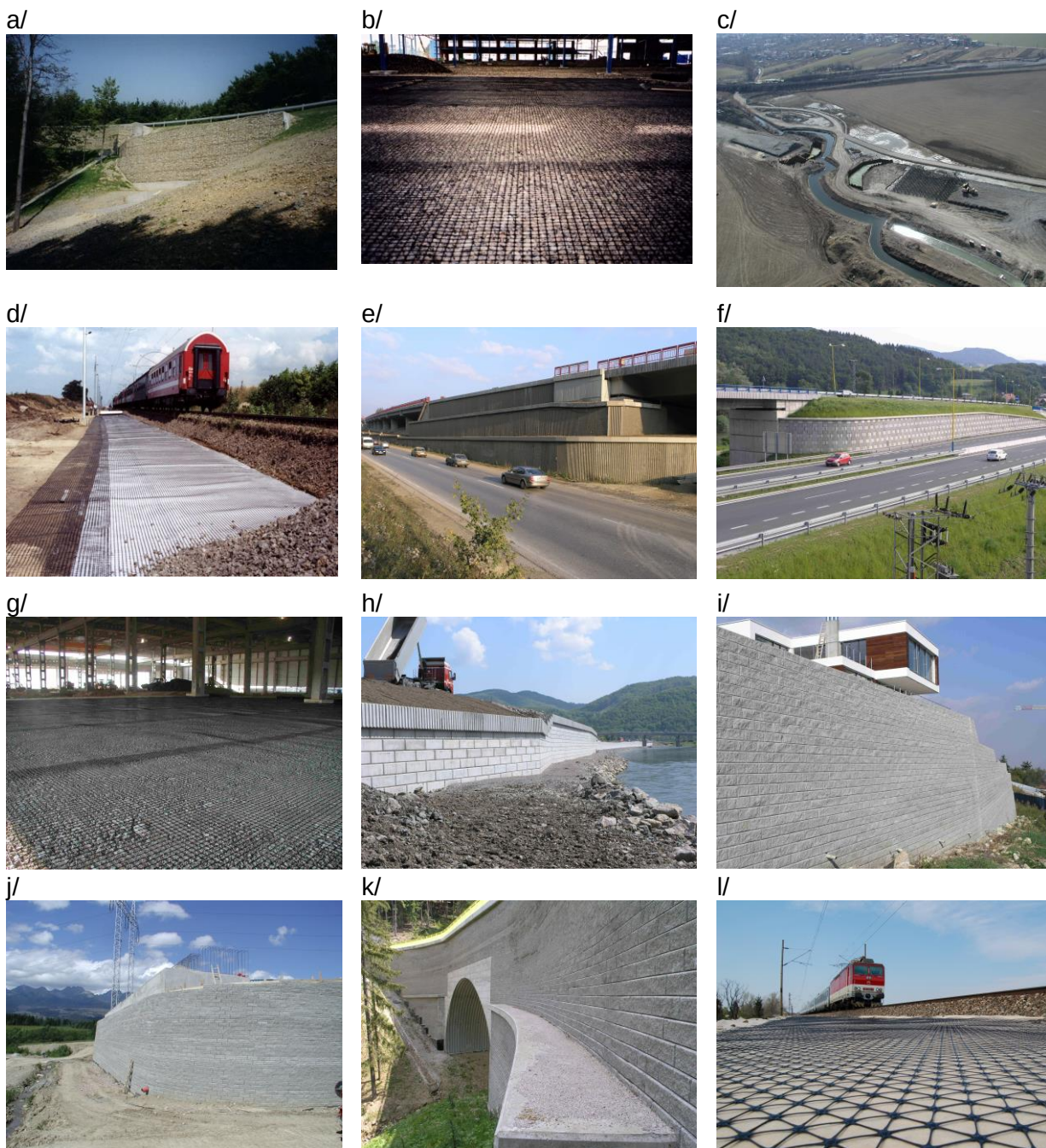
Bola snaha priniesť na Slovensko získané aktuálne zahraničné skúsenosti a vedomosti. Najskôr sa tvorila spolupráca s univerzitami, a to Stavebnou fakultou STU v Bratislave, Prírodovedeckou fakultou UK v Bratislave, Stavebnou fakultou ŽU v Žiline, Stavebnou fakultou TU v Košiciach, Lesníckou fakultou TU vo Zvolene a Technickou fakultou SPU v Nitre. Neskôr to bola spolupráca so Slovenskou komorou stavebných inžinierov a jej členmi. Informácie sa postupne prenášali na projektantov do všetkých významných projekčných firiem a k aktívnym individuálnym projektantom.

Postupne sa podarilo poskytnúť niekoľkým odvážnym projektantom dostatočne dôveryhodné, preukazné a povzbudivé informácie o vhodnosti a použiteľnosti geomreží vo VHK. Vďaka vzájomnej spolupráci pri výpočtoch, dimenzovaní a tvorbe projektovej dokumentácie, sa VHK dostali do prvých projektov dopravných stavieb. Medzi projektantov-pionierov, ktorí sa zaslúžili o prvé aplikácie VHK s tuhými geomrežami na Slovensku patria Ing. L.Bača, CSc., Ing.J.Guoth, Ing.L.Turinič, Ing.B.Vrábel, PhD. a Ing.I.Chylo. Keďže dovtedy neboli na Slovensku k dispozícii tuhé geomreže, tak všetky aplikácie uvedené v tab.2 možno považovať za prvé aplikácie. V tabuľke sa nachádzajú len tie najvýznamnejšie, tj. prvé dátumom realizácie, významom alebo rozsahom aplikácie. Na obr.16 sú niektoré z nich.

Tab. 2 Prehľad prvých VHK s tuhými monolitickými geomrežami na Slovensku.
Tab. 2 List of the first applications of VHK (Reinforced Earth Structures) with rigid monolithic geogrids in Slovakia.

Realizácia	Konštrukčný systém	Lokalita, opis	Obr.16
1997-8	Geodoska-Ž	Žel. trať Melčice-Zlatovce, rekonštrukcia podvalového podlažia.	
1997-8	Geomur-G	Pezinská Baba, cesta II/503, rekonštrukcia porušeného násypu.	a/
1997	Geodoska-N	R1 Šoporňa-Báb, založenie rozširovaného cestného násypu pri rieke Váh.	
1997	Geodoska-PK	Bratislava, Popradská-Vrakunská, rekonštrukcia podkladových vrstiev mestskej komunikácie.	
1999	Geomur-B	Nováky, cesta I/9 (I/50), rekonštrukcia mostu ponad železniciu, štyri oporné múry v nájazdových rampách k mostu.	
2000	Malacky	Úprava podlažia pod podlahou priemyselnej haly.	b/
2002-3	Geobunková štruktúra	Šenkvice. Modernizácia žel. trate Bratislava Rača-Trnava. Geobunková štruktúra Tensar v základovej škáre násypu.	c/
2000-7	Geodoska-Ž	Modernizácia trate Bratislava Rača-Trnava. Úprava podvalového podlažia na celom úseku.	d/
2000-5	Geomur-P	D1 Ladce-Sverepec, jedno-, dvoj- a trojstupňové oporné múry v diaľničnom telese v údolí Sverepeckého potoka.	e/
2001-3	Geomur-KP	R1 Nová Baňa, dva oporné múry s telese rýchlostnej cesty.	f/
2004	Geodoska-LTP	Trnava, PSA Peugeot, viacvrstvá geodoska na hlavách betónových pilót pod podlahou lisovne.	g/
2005	Geomur-SP	R1, Žarnovica, tri oporné múry v telese rýchlostnej cesty pri rieke Váh	h/
2007-9	Geomur-TW1	Bratislava, Koliba, úprava okraja pozemkov okolo viacerých rodinných domov.	i/
2007	Geomur-TW1	D1 Važec, vystužená mostná opora (VMO) diaľničného mosta.	j/
2007-8	Geomur-TW1	Nové spojenie Kysúc a Oravy, cesta II/520, dva múry v telese cesty spolu s tubosiderom.	k/
2008	Geomur-TX	Geodosky s geomrežami TriAx v podvalovom podlaží, pod podlahou haly, základmi budovy, komunikáciou.	l/

V tab.2 sa uvádzajú konštrukčné systémy GEODOSKA® a GEOMUR®. Sú to ochranné známky, prihlásené v roku 1999. GEODOSKA® je stabilizovaná podkladová vrstva (SPV) zo sypkého materiálu obmedzenej hrúbky s jednou alebo niekoľkými vrstvami tuhej nevýstužnej šesťuholníkovej monolitickéj PP geomreže s primárnou funkciou stabilizátora. Líši sa od vystuženej podkladovej vrstvy (VPV) alebo podkladovej vrstvy s geosyntetikou (PVsG). GEOMUR® je vystužený oporný múr (VOM), kde je v zásype plošná výstuž z tuhých jednoosových monolitických HDPE geomreží typ RE alebo UX. Prípona k ochrannej známke označuje v prípade Geodosky typ konštrukcie, napr. Geodotka-Ž je umiestnená v železničnom podvalovom podloží. V prípade Geomuru prípona označuje typ lícového opevnenia, napr. Geomur-P je betónový prefabrikát na plnú výšku, alebo Geomur-G má na líci gabiony.



Obr.16 Realizované VHK na Slovensku, podľa tab.2.
Fig.16 Realized VHK in Slovakia, according to table 2.

Naučili sme sa dimenzovať vystužené alebo stabilizované podkladové vrstvy pod statickým a dynamickým zaťažením položené na málo únosné podložie alebo na pilóty, jednostupňové alebo viacstupňové vystužené oporné múry s rôznym typom lícového opevnenia, vystužené mostné opory (veľmi náročná konštrukcia), vystužené strmé svahy, vystužené násypy, vysokú geobunkovú štruktúru, drenážne geokompozity v drenážnych systémoch, geodrény v podloží násypov, protieróznú ochranu „suchých“ a „mokrých“ svahov, geosyntetické zábrany.

Podarilo sa aplikovať geosyntetiku a konštrukcie s geosyntetikou vo všetkých typoch stavieb, napr. dopravné stavby (železnice, diaľnice, rýchlostné komunikácie cesty I., II. III. tr., miestne komunikácie, tunely, atď.), výrobné a skladovacie haly, obytné budovy, rodinné domy, skládky odpadov, vodohospodárske stavby, atď. Niektoré zo stavieb boli z celosvetového alebo európskeho hľadiska výnimočné. Bol to trojstupňový Geomur-P v telese diaľnice D1 v lokalite Sverepec (projektant Ing.L.Turinič), ktorý mal celkovú výšku 16,5 m a bol svojho času najvyšší múr vystužený tuhými monolitickými jednoosovými HDPE geomrežami na svete. Druhou významnou aplikáciou boli dva Geomury-TW1 na novej ceste II/520 z Kysúc na Oravu (projektant Ing.L.Bača, CSc.) s max. výškou 20,2 m postavené v hlbokom horskom údolí, v zákrute a v kombinácii s veľkopriemerovým tubosiderom.

Posledné obdobie je venované overovaniu a analýze dlhodobých vlastností, najmä odolnosti a trvanlivosti, zváraných a pletených kovových sietí a výrobkov z nich (gabiony, dielce) použitých v trvalých VHK, [27].

Významným výsledkom aktivít s geosyntetikou v danom období bola práca a spolupráca pri tvorbe firemných a rezortných dokumentov a národných noriem:

- STN 73 3040 Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky na stavebné účely. Základné ustanovenia a technické požiadavky, SÚTN, 1998, revízia
- STN 73 3041 Horninové konštrukcie vystužené geosyntetikou. Technické požiadavky, SÚTN, 1999, prvé vydanie,
- TKP časť 31 Zvláštne zemné konštrukcie, MDPT SR, 2009, revízia,
- Manuály, M01 Návrh vystužených oporných konštrukcií, M02 Geosyntetika v konštrukčných vrstvách telesa železničného spodku a pozemných komunikácií, M03 Geosyntetika v telese železničného spodku a pozemnej komunikácie a v ich podloží, Reming Consult,a.s., 2014-2017,
- Predpis ŽSR TS 4 Železničný spodok, Príloha 9 Použitie geosyntetiky v telese železničného spodku, Príloha 10 Použitie geosyntetiky v konštrukčných vrstvách telesa železničného spodku, Príloha 11 Použitie geosyntetiky vo vystužených oporných konštrukciách v vystužených strmých svahoch, 2015-2018, revízia.

5 Záver

V článku sa prezentujú predovšetkým osobné skúsenosti a aktivity autora v oblasti výskumu, vývoja, dimenzovania a použitia geosyntetiky na Slovensku od osemdesiatych rokov minulého storočia. Za uvedené obdobie sa podarilo dostať do povedomia odborníkov aj laikov pojmy geosyntetika, geotextílie, geomreže, georohože, geomembrány, atď., a presadilo sa ich praktické použitie s rôznou funkciou v rôznych stavebných konštrukciách v takom rozsahu, že dnes sú geosyntetické výrobky takmer na každej stavbe. Treba však starostlivo odlišovať výrobky, ku ktorým sa môžeme správať ako ku komodite, pretože ich môže použiť aj laik bez technických vedomostí do jednoduchých a dočasných konštrukcií (napr. geotextílie vyrobené z odpadov), od výrobkov vyrobených zo 100% prvotných surovín (polymérov) bez podielu odpadu PCM a PIM, ktoré vyžadujú technické znalosti a zodpovednosť, pretože sa majú použiť v trvalých konštrukciách, ktoré môžu v prípade poruchy spôsobiť ekonomické škody, ohroziť zdravie a ľudské životy.

Súčasnú aktivitu pri vývoji nových geosyntetických výrobkov, tvorbe nových skúšobných a aplikačných noriem, hľadaní nových výpočtových postupov a možností použitia výrobkov a pri matematickom a fyzikálnom modelovaní dávajú nádej, že geosyntetika sa bude naďalej intenzívne rozvíjať.

Literatúra

- [1] F.Schlosser, H.Vidal, "La terre armée", *Bulletin LCPC*, No.41, 1969.
- [2] R.Baslik, „Geosyntetika v roku 2016“, *Inžinierske stavby*, č.4, s.30-33, 2016.
- [3] STN 73 3041 „Horninové konštrukcie vystužené geosyntetikou“, *SÚTN*, s.40, 2013.
- [4] TKP č.31 „Zvláštne zemné konštrukcie“, *MDVRR SR*, s.54, 2014.
- [5] P.M.Petrík, "Oporné steny kotvené do vystuženej zeminy", *Inžinierske stavby*, č.11, s.510-519, 1976.
- [6] Štátna výskumná úloha P 12-526-078/03 Vystužená zemina, *VÚIS Bratislava*, 1978.
- [7] P.M.Petrík, „Development of stresses in reinforcement and subgrade of a reinforced soil slab“, *1st Int. Conf. on the use of Fabrics in Geotechnics*, Paris, pp.151-154, 1977.
- [8] R.Baslik, „Veľkopokus využitia syntetických textílií pri stavbe staveniskových ciest“, *Ročenka VÚIS*, s.85-90, 1977.
- [9] R.Baslik, „Pevnostní parametry geotextílií použitelných v silničním stavitelství“, *Seminář Zakládání silničního tělesa na neúnosných podložích*, Praha, s.125-134, 1978.
- [10] Štátna výskumná úloha P 12-526-262-03.3 Stavba vystužených násypov na neúnosnom podloží, *VÚIS Bratislava*, 1980.
- [11] P.M.Petrík, R.Baslik, „Design of geotextiles reinforcing embankments with reference to long-term loading“, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.7, Nos. 1 & 2, pp. 71-79, 1988.
- [12] R.Baslik, „Vystužené cestné násypy“, *Kandidátska dizertačná práca*, Bratislava, s.182, 1987.
- [13] Štátna výskumná úloha S 12-526-056/03.3 "Vlastnosti nových hmôt pre zemné konštrukcie", *VÚIS Bratislava*, 1980.
- [14] Oborová vývojová úloha G-321-104, subdodávka pre Dopravní stavby Olomouc, "Projektové podklady pre zavedenie syntetických zvislých drénov do praxe", *VÚIS Bratislava*, 1984.
- [15] R.Baslik, P.M.Petrík, S.Holický, „Syntetické zvislé drény a výstužná geotextília v návrhu cestného násypu na málo únosnom podloží“, *Zakládání staveb Brno*, s. 188-193, 1986.
- [16] ČSN 73 3040 „Geotextílie v stavebných konštrukciách. Základné ustanovenia“, *SÚTN Bratislava*, 1988.
- [17] STN 73 3040 „Geosyntetika. Základné ustanovenia a technické požiadavky“, *SÚTN Bratislava*, s.16, 2013.
- [18] I.Janotka, J.Frankovská, R.Baslik, V.Streško, "Bentonite-based materials for environmental protection", *Geologica Carpathica – series Clays*, Vol.5, No.1-2, Bratislava, pp. 43-48, 1996.
- [19] R.Baslik, I. Janotka, „The use of GCLs for landfills in Slovakia - Geotechnical and legislative requirements“, *1st EGC Eurogeo 1*, Maastricht, pp.829-835, 1996.
- [20] M.Slivovský, Ľ.Turinič, R.Baslik, "Rekonštrukcia násypu na železničnej trati Kozárovce – Lužianky, 24. *Konf. Zakládání staveb Brno*, s. 32-37, 1996.
- [21] L.Bača, R.Baslik, „The use of stiff geogrids to build the reinforced soil walls for Slovak roads“, *2nd EGC Eurogeo 2000*, Bologna, Vol.1, pp.121-124, 2000.
- [22] L.Ižvolt, Ľ.Turinič, R.Baslik, „Geogrid reinforced subgrade instead of traditional solutions in the railway track foundation“, *Geosynthetics Conference 2001*, Portland, pp.23-36, 2001.
- [23] R.Baslik, M.Matys, L.Turinic, „Recommendations for the application of geosynthetics in a railway network modernisation project in Slovakia“, *Int. Symp. On Earth Reinforcement Kyushu 2001*, Fukuoka, Vol.1, pp.3-6, 2001.
- [24] M.Matys, R.Baslik, „Study of interlocking effect by the push test“, *3rd Asian Regional Conf. on Geosynthetics GeoAsia 2004*, Seoul, pp.341-348, 2004.
- [25] P.Turcek, L.Turinic, R.Baslik, "Highway three-tier surface geogrid reinforced wall", *8ICG*, Yokohama, Vol.3, pp.949-952, 2006.
- [26] C.G.Jenner, L.Turinic, R.Baslik, "Use of cellular geocell mattresses as embankment foundation“, *Int. Conf. on Foundations*, Dundee, paper No.115, pp.1369-1378, 2008.
- [27] R.Baslik, E.Vašík, „Požiadavky na geosyntetiku a iné materiály do zemných konštrukcií“, *13. Slovenská geotechnická konf. Aktuálne geotechnické riešenia a ich verifikácia*, Bratislava, s.38-49, 2017.