



59. ÉVFOLYAM
3. SZÁM

KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI SZEMLE

2009. MÁRCIUS

FELELŐS KIADÓ:
Kerékgyártó Attila mb. főigazgató

FELELŐS SZERKESZTŐ:
Dr. Koren Csaba

SZERKESZTŐK:
Fischer Szabolcs
Dr. Gulyás András
Dr. Petőcz Mária
Rétháti András

CÍMLAPFOTÓ
ÉS A BORÍTÓ 2. OLDALÁN:
Árvízvédekezés a Tiszán

KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI SZEMLE
Alapította a Közlekedéstudományi
Egyesület.
A közlekedésépítési szakterület
mérnöki és tudományos havi lapja.

HUNGARIAN REVUE OF
TRANSPORT INFRASTRUCTURE
INDEX: 163/832/1/2008
HU ISSN 5060-6222

KIADJA:
Közlekedésfejlesztési
Koordinációs Központ
1024 Budapest, Lövőház u. 39.

SZERKESZTŐSÉG:
Széchenyi István Egyetem,
UNIVERSITAS-Győr Nonprofit Kft.
9026 Győr, Egyetem tér 1.
Telefon: 96 503 452
Fax: 96 503 451
E-mail: koren@sze.hu, petocz@sze.hu

DESIGN, NYOMDAI MUNKA,
HIRDETÉSEK, ELŐFIZETÉS:

Press GT Kft.
1134 Budapest, Üteg u. 49.
Telefon: 349-6135
Fax: 452-0270;
E-mail: info@pressgt.hu
Internet: www.pressgt.hu
Lapigazgató: Hollauer Tibor
Hirdetési igazgató: Mező Gizi

A cikkekben szereplő megállapítások és adatok a szerzők véleményét és ismereteit fejezik ki és nem feltétlenül azonosak a szerkesztők véleményével és ismereteivel.

TARTALOM

LAZÁNYI ISTVÁN Árvízvédelmi gátak suvadása elleni védekezés – versenyfutás az idővel	1
DR. MECSI JÓZSEF Speciális vízvezető rendszer építése egy főút stabilizálására	8
DR. PUSZTAI JÓZSEF Autópályák földműveinek süllyedésmérési tapasztalatai	12
VARGA GABRIELLA – CZAP ZOLTÁN – DR. MAHLER ANDRÁS Bevágási rézsűk tartós stabilitása	17
DR. NAGY LÁSZLÓ Áteresztőképességi együttható összehasonlító vizsgálata	22
SOOS PÁL Rendkívüli tömörségű homok laboratóriumi vizsgálata	27
PROF. CHRISTO CHRISTOW Kísérleti matematika a geomechanikában	32
BESSE LÁSZLÓ – HAMARNÉ SZABÓ MÁRIA – SZÓKE GYULA Újrahasznosítási technológiák helye és szerepe a hazai közúthálózaton	36

ÁRVÍZVÉDELMI GÁTAK SUVADÁSA ELLENI VÉDEKEZÉS – VERSENYFUTÁS AZ IDŐVEL¹

LAZÁNYI ISTVÁN²

A Tisza és mellékfolyói árvízvédelmi töltésein az 1998–2006. évek közti időszak rendkívüli árvizei miatt bekövetkezett rézsúvadások elemzése sok geotechnikai tanulsággal szolgált a mozgások okainak és mechanizmusának a megismerésében. Ezekkel a kérdésekkel számos vizsgálóbizottsági jelentés és tanulmány foglalkozott. Ebben a cikkben nem elsősorban a rézsúcsúszások okait vizsgáljuk, hanem inkább azt, hogy a már bekövetkezett (megindult) mozgást követően a lesuvadt, illetve „talpon maradt” tömegek hogyan viselkednek, s adnak-e esélyt hatékony közbeavatkozásra, vagyis a töltésszakadás megelőzésére. Két jellegzetes árvízi szituációt vizsgálunk: az egyik a Felső-Tiszára jellemző hirtelen lefutású magas árvíz hatása, a másik a Tisza középső és alsó szakaszára jellemző tartós magas árvizek hatása. Természetesen „közbenső” körülmények is gyakoriak lehetnek, de vizsgálatunk tárgyát tekintve az említett két szélső eset elemzése látszik célszerűnek.

1. A TARPAI TÖLTÉSSZAKADÁS A FELSŐ-TISZÁN

A Tisza Tivadar–Tarpa közötti jobb parti töltésén a 2001. márciusi rendkívüli árvíz okozott szakadást két helyen is. Először az 54+650 tkm, illetve 55+350 tkm szelvényében jelezték március 6-án 13 órakor, majd 14:30 órakor a gátszakadásokat, amelyek helye a szakadás utáni pontos felmérések alapján az 54+235–54+345 tkm, illetve 55+340–55+485 tkm közötti szelvényszámokra módosult. Így az első szakadás szélessége 110 m, a másodiké 145 m volt.

A töltésszakadás részletes elemzését a Felső-Tisza-vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság kiadásában készült „A 2001. márciusi felső-tiszai árvíz” c. könyv tartalmazza. Az árhullámképet és levonulási időket vizsgálva megállapítható, hogy rendkívül heves volt az áradás intenzitása: március 4-én 8 és 10 óra között 48 cm/óra. Tivadarnál a tetőzést megelőző három nap alatt 12,0 m vízszintemelkedést észleltek. Ez a gyors emelkedés nem csak a védekezésre való felkészülést nehezítette, hanem döntő fontosságú volt a suvadást előidéző körülmények létrehozásában is.

A gátszakadással is érintett töltésszakaszon a tarpai elkészült töltésfejlesztés vége és Tivadar között 2700 m hosszban a vízszintemelkedéssel lépést tartva kiépült a nyúlgát, ami végül 40-50 cm-es vizet tartott. A töltésszakadások környezetében március 6-án 5 és 8 óra között voltak az első megcsúszások, majd 11 órától gyors egymásutánban 2,5 óra alatt 16 töltéssuvadás keletkezett, s a második töltésszakadás térségében egy 200 m hosszú szakaszon egy óra alatt öt suvadás alakult ki. A helyszínen lévő árvízvédelmi osztagok (ÁBKSZ, FETIVIZIG, ÉDUVIZIG) azonnal megkezdték a suvadások megfogását a csúszólap alsó élének megtámasztásával, de a közel függőleges oldalfalak bordás megtámasztására már nem volt idő, mert bekövetkezett a gátszakadás.

Az 54+650 tkm-nél egy 25 m széles, a töltéskorona közepétől induló, a töltéslábig tartó suvadásnál a töltés hirtelen 5,0 m szélességben 1,5 m mélységben megroskadt és átszakadt. A kiszakadt nyílást a víz gyorsan mélyítette és szélesítette, elzárására esély sem volt. Az 55+350 tkm-ben két egymáshoz 15 m-re lévő suvadásnál egyszerre következett be a töltéstest teljes állékonyságvesztése, s a víz először két, egyenként 5–6 m széles nyíláson áramlott ki, ami rövid idő alatt eggyé teljesedett. Március 6-án este a szakadások szélessége 60-70 m volt, ami később 110, illetve 140 m-re növekedett.

SUVADÁS ÉS SÁRFOLYÁS

A mentett oldali rézsűn sorozatosan bekövetkezett suvadások mechanizmusa a következőképpen rekonstruálható.

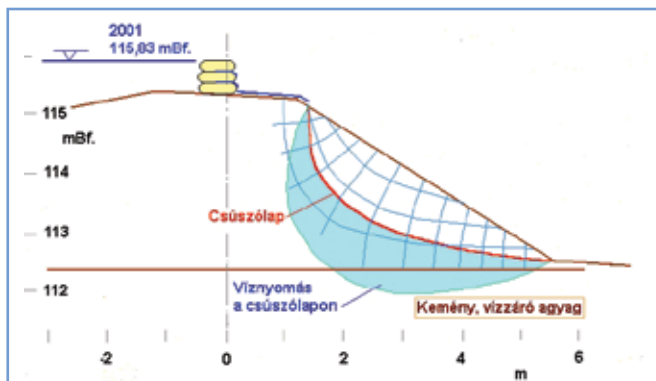
A felső-tiszai fővédvonalnak ez a szakasza már korábban ismert volt az agyagból épült töltések száradás okozta krónikus repedettségéről. A jelenséget behatóan vizsgálták az 1990-es évek végén és ennek nyomán indították el a töltésmagasítási és erősítési munkákat 1998-ban. Ezek a munkák azonban a 2001-i árvíz idejére még nem érték el azt a töltésszakaszt, ahol töltésszakadás bekövetkezett. Itt megmaradt a repedések időjárástól függően váltakozó megnyílása, majd összezáródása miatti szerkezetes töltéstest, agyag létére illuzórikus vízzárósággal, valójában vízfellevő/vízvezető tulajdonsággal. A 2001. évi árvíz megelőző csapadékos időszakban (mintegy 60 mm csapadék március 3–4. között) a mentett oldali támasztótest részben már telítődhetett. Az így bejutott vízmennyiséget a fellazult töltésanyag képes volt még háromfázisú állapotban, kapillaritás révén tárolni, anélkül, hogy vízvivárgás indult volna meg.

Kritikus helyzet akkor állt elő, amikor az árvízszint a homokzsákból épült nyúlgát felső szintjét is megközelítette, illetve helyenként és időnként néhány cm-rel meg is haladta azt. Így részben a töltéskorona alatti fellazult zónában közlekedő víz, részben a homokzsákok között átszivárgó vagy időszakosan esetleg azok fölött átfolyó víz következtében a töltéspadkán összefüggő vízborítás, vízteher alakult ki, amely potenciáláramlás létrejöttéhez szükséges feltételeket teremtett meg a mentett oldali támasztótestben. Ezt az állapotot, a támasztótestben kialakuló szivárgási hálózatot, az 1. ábra szemlélteti. A töltéstestben jelentős pórusvíznyomások ébrednek, egy potenciális csúszólapon pedig a diagramon vázolt víznyomások lépnek fel, aminek a hatására a földtömeg egyensúlyát veszítve lesuvad. Ezt az esetet a szakirodalom (Kézdi, 1979) záporhatás néven ismeri. A töltéstest lesuvadt és sárfolyássá alakult része a 2. ábrán látható.

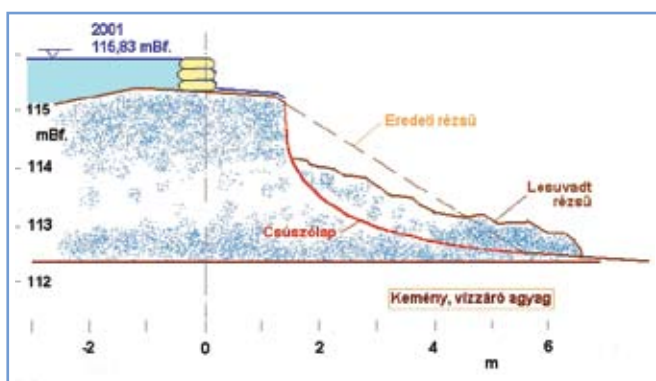
Az előbbi magyarázatot számos megfigyelés támasztja alá: – A mentett oldali töltésrészű hosszú szakaszokon – így pl. az 54+500 és az 55+000 tkm-szelvények között – végig felpuhult, kihasadós jeleit mutatta, még mielőtt a kritikus állapot bekövetkezett volna.

¹ A cikk a 2008. szeptember 23-24-i Dr. Kézdi Árpád Emlékkonferencia kiadványában megjelent tanulmány rövidített változata

² Okleveles mérnök, ny. egyetemi docens, BME Geotechnika Tanszék, e-mail: lazanyi27@t-online.hu



1. ábra: Telített állapot és szivárgás létrejötte a mentett oldali támasztótestben



2. ábra: A töltéstest lesuvadt és sárfolyássá alakult része

- A suvadások rendre sorozatosan következtek be, amint a kialakulásukhoz szükséges hidraulikai feltételek létrejöttek. A lecsúszott tömeg alakja, kiterjedése a suvás tipikus jeleit hordozza.
- Amint a csúszás lezajlott, vagyis a kritikus hidraulikai állapot megszűnt, a mozgás lényegében megállt (legfeljebb a legyezőszerűen szétterülő alsó része kúszott tovább sárfolyás alakjában). Új ideiglenes egyensúlyi állapot jött létre, amikor is a lecsúszott tömeg némi támasztó hatást fejtett ki. Ez az állapot – a későbbi szakadások helyének kivételével – tartósan megőrződött és még az árvíz levonulását követően is megfigyelhető volt.

Történtek kísérletek a védekező osztagok részéről a suvadások azonnali stabilizálására, ezek azonban elsősorban a sárfolyás kifejlődésének a megakadályozását segíthették, a megmaradt csonka töltés eredeti állékonyságának a helyreállítására gyakorlatilag nem volt esélyük – már csak az idő rövidsége miatt sem.

GÁTSZAKADÁS

A rézsúsuvaszt követő helyzetet a 2. ábra szemlélteti. A töltést a mentett oldalon mintegy 1,0-1,5 m magasságban a csúszólapon közel függőleges felülete határolja, ez alatt az omladék nyújt némi megtámasztást. A töltéstestben telített zónák maradtak vissza, részben a korona alatt, részben az alsó határoló agyagréteg felszíne felett. A telítettség mértékét a rajzokon pontszórásos árnyékolás jelzi. A töltésszakadás nagyon hirtelen, a függőleges határolás csonka töltéstest tömbös elmozdulásával jött létre, a sorozatos és olykor a koronába is belemetsződő suvadásokkal leginkább meggyöngyített szakaszokon, valószínűleg több ok

együttes hatására. Ezek között a szerkezetes töltéstestben, esetleg hézagokban kialakuló víznyomást, valamint a közel függőleges földfalnak a roskadását lehet megjelölni. A töltésnek először a felső része szakadt át 5-6 m szélességben, majd a nyílás fokozatosan mélyült és bővült, elzárására esély sem volt.

Az átömlő víztömeg csak magát a töltéstestet rombolta szét és mosta el, a kemény alapréteg ellenállt, és kisebb kimosódások árán viszonylag épen maradt, kopolya – egy rövidebb szakaszt kivéve – nem képződött.

KÖVETKEZTETÉS

A mentett oldali később lesuvadt földtömeg nem a töltésen keresztüli szivárgás, hanem felülről történt elárasztás miatt került olyan hidraulikai állapotba, melynek hatására hirtelen „záporhatás” néven ismert rézsúmozgás jött létre. A lesuvadt földtömeg pedig gyakorlatilag folyós állapotba került, nem maradt akkora viszkózus ellenállása, mely a maradék, még ép töltéstestnek akár csak ideiglenes megtámasztásához elegendő lett volna. Így hatékony védelmi közbeavatkozásnak semmi esélye nem maradt.

2. TARTÓS MAGAS ÁRVÍZSZINT, A LESUVADT TÖMEG LASSÚ, KÚSZÁSSZERŰ MOZGÁSA

Az előzőekben bemutatott suvási esettel szemben a Tisza alsó és középső szakaszán a 2000–2006. közötti nagy árvizek alatt olyan töltéssuadások alakultak ki, melyek a lesuvadt töltésanyag kedvező, lassú kúszásszerű mozgása révén lehetővé tették a „maradék” töltéstest legalább ideiglenes állékonyságának a biztosítását a védekezés ideje alatt, így megelőzve a töltésszakadást. A következőkben két ilyen jellegzetes esetet mutatunk be. A töltéstest anyaga mindkét esetben térfogatváltozó, repedezésre hajlamos kővér és közepes agyag volt.

2.1. RÉZSÚSUVASDÁS A TISZA JOBB PARTI TÖLTÉSÉN NAGYKÖRŰ-KŐTELEK TÉRSÉGÉBEN, A 2000. ÉVI TARTÓS, MAGAS ÁRVÍZ ALATT

A 2000. évi nagyon elhúzódnó, minden korábbinál magasabb tavaszi árvíz a Tisza árvízvédelmi töltésein teremtett kritikus állékonysági helyzetet. Az első jeleket (szivárgás és hosszirányú elválási repedések a rézsú alsó szakaszán és a padkákon) követően haladéktalanul elkezdődtek a védekezési műveletek hagyományos homokzsák-bordák alkalmazásával. E suvás fő jellemzője az volt, hogy a kihasasodó, majd repedések mentén elvált földtömeg folyamatos, de viszonylag lassú kúszással mozgott tovább, a rézsú magasabb részein egyre hátráló elválási repedéseket okozva, melyek végül a töltéskoronáig hátrálva a töltés teljes állékonyságvesztésével fenyegettek. A súlyos helyzetben is kedvező körülménynek bizonyult, hogy a kúszó talajtömegnek maradt akkora drénezetlen nyírószilárdsága, amely a mozgást kellően lelassította ahhoz, hogy jól szervezett beavatkozással egy stabil/mobil állapotot fenn lehetett tartani mindaddig, míg az apadásnak köszönhetően a veszély el nem háruult.

A védekezés alatti megfigyelésekből jól megismerhető volt az ilyen suadások természete, a közreható tényezők szerepe és a beavatkozás esélye. Példaképpen az egyik legnagyobb, a Tiszasúly térségében a jobboldali töltés mentett oldali támasztótestében bekövetkezett suvás esetét mutatjuk be, de a csatlakozó töltésszakaszokon számos helyen alakult ki hasonló helyzet.

Padkás mentett oldali töltésrézsúról volt szó. A padkán és az alatta lévő rézsún mutatózó átázottság és erőteljes vízszivárgás miatt a töltésláb előtt széles mezőben homokzsák-bordás megtámasztást

alkalmaztak. A védekezés ekkor még nem volt – nem lehetett – teljes értékű: a megmozdult tömeg lassú kúszása folytatódott, amit a bordák elhelyezéséhez a rézsúre fektetett, fakarókkal rögzített geotextília-lepelnek a karók közti vonszolódása jól érzékeltet (3. ábra).



3. ábra: Kúszó talajtömeg által elvonszolódt geotextília

További mozgás a karókat is kidöntötte (4. ábra), fokozatosan a rézsú felső szakasza is megmozdult, hosszanti karéjos elválási repedések jelentek meg rajta, melyek végül a töltéskoronába is belevágtak (5. ábra). E közben a bordákat fokozatosan magasztították, végül a koronaél magasságáig, és ily módon sikerült a korona alatti tömböt megtámasztani és a mozgás továbbterjedését megakadályozni. A jó időben bekövetkezett apadásnak köszönhetően a töltésszakadás közvetlen veszélye végül is elhárult. Hangsúlyozni kell e védekezési mód dinamikus jellegét: a kúszó tömeg kedvező viselkedése – lassú kúszása – esélyt adott ugyan hatékony védekezésre, de a siker a jól szervezett és kellő tempóban végrehajtott védekezésnek volt köszönhető (szemben az előzőekben ismertetett tarpai esettel, ahol a védekezésnek semmi esélye nem volt).

2. CSONGRÁD, NAGYRÉTI TÖLTÉS SUVADÁSA A 2006. TAVASZI ÁRVÍZ ALATT

Az előző esethez hasonló suvadásos töltésromlások fordultak elő a 2006. tavaszi rendkívüli magasságú és tartósságú árvíz idején a Hármas-Körös töltésein. Ezek közül a legkritikusabbat, a Csongrád, nagyréti (0+502–0+604 és 0+716–0+771 tkm között) jobb



4. ábra: A homokzsák-megtámasztás ellenére a kúszó tömeg tovább mozog



5. ábra: A fokozatos mozgás miatt a csúszás karéja a koronába „harap”

parti töltés mentett oldali rézsújén bekövetkezett suvadást ismertetjük. A suvadás következtében a gát védőképessége megszűnt, így szükségessé vált a teljes 0+000–2+000 tkm közötti töltésszakasz egységes irányelvek szerinti helyreállítása, illetve erősítése.

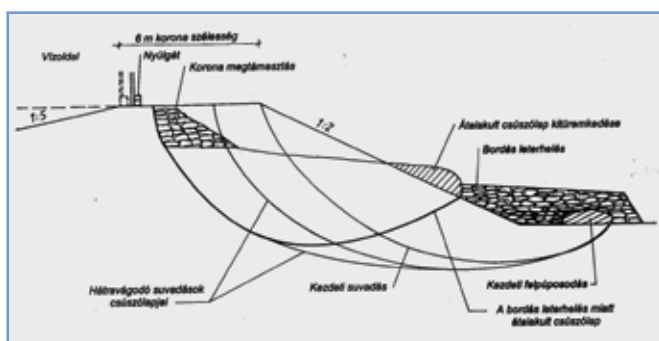
A káreset tipikusnak tekinthető, amennyiben beleilleszkedik a Tisza és a Hármas-Körös összefolyása környezetében ugyanebben az időszakban bekövetkezett hasonló jellegű töltéskárosodások sorozatába. Mégis különös figyelmet érdemel elsősorban a 0+500 tkm és a 0+700 tkm szelvényben történt töltéssuvadás, egyrészt méreteinél, valamint az árvízvédelmi gát veszélyeztettségének mértékénél fogva, másrészt a – végül is sikeresen alkalmazott – védekezési műveletek hatékonyságának megítélését tekintve.

A két suvadás nagy erőket kötött le, egyhetes védekezéssel sikerült azokat lokalizálni. A suvadások geometriai viszonyait, a beépített védelmi anyagokat az 1. táblázat mutatja.

A SUVADÁS ISMERTETÉSE

Mindkét szelvényben a mozgás a vízállás tetőzése közelében alakult ki, két nap különbséggel, a vizsgált szakasz legmélyebb pontjánál, holtág-keresztvezetésben. A mentett oldalon a szorítótöltéssel visszaduzzasztott lefolyástalan területen a gáttal párhuzamosan, mintegy 30 méter szélességben ~80 cm vízborítás volt. A mozgások mérete, a kialakulás körülménye alapján arra lehetett következtetni, hogy a környező, meg nem mozgult szakaszok is veszélyes határegyensúlyi állapot közelében voltak.

A 0+500 tkm-szelvényben kialakult nagyobbik suvadás a mentett oldali koronaélből indult ki, az elmozdult földtömeg merev testként csúszott le kör vagy körhöz közel eső csúszólap mentén (6. ábra). A kezdeti 35 méter hosszú suvadás a 11 napos védekezés végére csaknem 100 méteres hosszban állapodott meg. A suvadás nagy sebességgel indult meg (ld. 1. táblázat), és fokozatosan rágódott hátra a vízoldal felé, végül mélyen belemetszve a töltéskoronába is.



6. ábra: Egymást követő suvadások kialakulása

1. táblázat: A suvadások jellemző adatai

Hely		Nagyrét	
Folyó		Hármas-Körös jobb part	
Szelvény		0+500	0+700
Töltésmagasság		5,4 m	5,2 m
Koronaszélesség		6 m	6 m
Vízoldali rézsúhajlás		1:5	1:5
Mentett oldali rézsúhajlás		1:2	1:2
Padka		nincs	nincs
Magassági hiány		0,4 m	0,4 m
Holtágkeresztelés		IGEN	NEM
Mentett oldalon tározódott víz		IGEN	IGEN
Hossz (m)	kezdeti állapotban	35	33
	végso állapotban	99	55
Felgyűrődés helye a lábtól		max. 5 m	max. 4 m
Mozgás maximális sebessége		24 cm/óra	2 cm/óra
Maximális függőleges elmozdulás		3,5	2,0-2,5
Első csúszólap felső kimetsződése		Mentett oldali koronaél	
Beépített anyag	konténerzsák (db)	750	190
	homokzsák (db)	875 000	160 000
	ballon (db)	760	410
Bordák száma (db)		22	15
Védekezés	megkezdése	ápr. 21.	ápr. 23.
	a mozgás megállt	ápr. 27.	ápr. 25.
	befejezése	máj. 1.	máj. 1.
	időtartama	11 nap	9 nap

A SUVADÁS MECHANIZMUSA

A töltésben részben az agyag közé ékelődött átmeneti talajokban, részben az agyagban lévő szinguláris helyeken mint a történelmi töltésbővítések kontúrjain, valamint az atmoszférikus hatásokra előregedett külső kéregben megindult szivárgás elérte a mentett oldali padka rézsúját. A hosszan tartó és magas vízállás miatt túlterheltté vált gátban permanens szivárgás alakult ki. A mentett oldali rézsúlábnál a töltés anyaga, valamint az altalaj felső, laza agyagrétege átázott, nyírószilárdsága kritikus értékre csökkent, a mozgással szembeni ellenállása megszűnt. Előbb a töltésláb előtt felpúposodás alakult ki, majd a mentett oldali rézsú megmozdult, és progresszív töréssel egy alámetsző csúszólap mentén lesuvadt.

Az elsődleges mozgás a suvadás világos jegyeit mutatja: felül, a koronaél közelében induló karéjos elválás, a megmozdult földtömeg lépcsős lezökkenése, kissé hátradülő felszínnel. A suvadás talpánál pedig megfigyelhető volt a rézsú kihasasodása és a megmozdult anyag feltüremkedése.

A felszíni jelekből, a megmozdult tömeg alakjából, méreteiből arra lehet következtetni, hogy egy viszonylag sekély mélységben alámetsző, inkább lapos, torzult felületen, mintsem mélyre lehatoló köríves csúszólapon jöhetett létre a mozgás. A későbbi végelesemes állékonyságszámítások is ezt a feltevést látszanak alátámasztani.

A 0+500 szelvényben már az első mozgás karéja is kissé belemetszett a töltés koronájába. A védekezési munkák (homokzsák-bordás részleges megtámasztással) nyomában megindultak, de ezt követően is kifejlődtek hátráló, a koronába egyre jobban bevágódó hosszanti repedések, illetve elválások. Ezek másodlagos jelenségek. A „maradék”, csupán a már lecsúszott földtömeggel ideiglenesen megtámasztott sérült töltéstestben az első szakadólap mögött újabb tömbös elválások alakultak ki (7. ábra). De ezek – legalábbis eleinte – nem rotációs, hanem vízszintes mozgást mutattak, a repedések hasadékká nyíltak, majd az elvált tömbök merev testként mintegy bebuktak a suvadásba. A lépcsős lezökkenés csak később következett be.

Jellemző, hogy ezek az elvált tömbök ideig-óráig viszonylag stabilak maradtak, akár relatív mozgások megfigyelésére alkalmas mérési pontokat is el lehetett helyezni rajtuk, míg végül aztán az általános mozgás fokozódásával leomlottak. A védekezésben



7. ábra: Másodlagos tömbös elválások a töltéskoronán (0+500 tkm)

jól bevált stratégiának bizonyult, hogy e tömbösen elváló tömeg állékonyságát homokzsák-bordák folyamatos emelésével biztosítsák és így előzzék meg a töltés átszakadását.

E védekezési mód hatékonysága és megbízhatósága erősen vitatott. Az „Árvízvédekezés a gyakorlatban” című könyv szerint „A megcsúszott rész felső részére rakott homokzsák jelentősen rontja az állékonyságot. Elhelyezése értelmetlen, a beavatkozás hibás, azonnal elbontandó!” Ennél az árvíznél több helyen is volt ilyen beavatkozás, a 0+500 szelvényben pedig kényszerítő és azonnal végrehajtandó beavatkozásként merült fel a függőlegesen maradt földfal megtámasztása, a töltésszakadás közvetlen veszélyének megelőzése végett. Érdeemes tehát ezt a védekezési módot alaposabban elemezni. A szakzsargon szerint ez a beavatkozás röviden mint a „csúszólappal terhelése” jellemezhető. Ha a csúszólappal felső kímetsződése közelébe homokzsákokat helyezünk, akkor ez a suvadás erőjátékában a mozgást elősegítő erőket növeli. Ahhoz, hogy az egyensúly helyreálljon, a töltés lábánál lévő leterhelő tömeget (a forgató nyomatékok kiegyenlítése végett) mintegy 2,5–3,0-szoros tömeggel kell terhelni, ahhoz képest, mint amit a „csúszólappal terhelésre” felhordtunk. Az amúgy is szorult helyzetű, a beavatkozáskor anyagihiánnyal küzdő árvízvédekezésben ez 3,5–4,0-szeres „veszteséget” jelenthet.

ÁLLÉKONYSÁG A VÉDEKEZÉSI MUNKÁK KÖZBEN

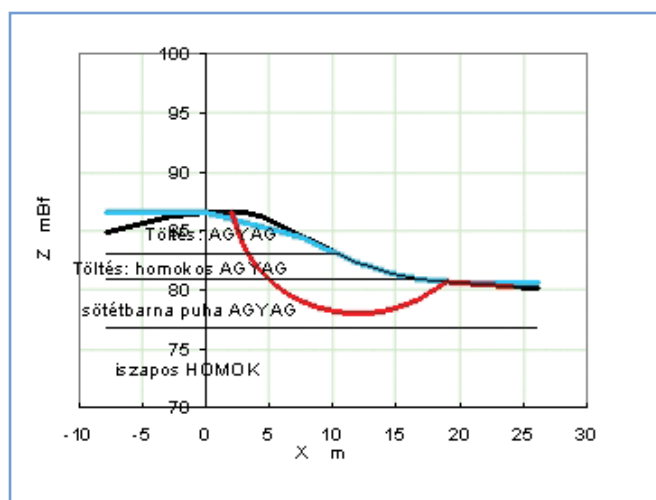
A védekezési lépések előbbi riportszerű ismertetéséből megítélhető, mennyire kritikus helyzetben – a töltés átszakadásának közvetlen veszélyével számolva – kellett a védekezési munkákat végezni. Ebből a szempontból különös figyelmet érdemel a lesuvadt tömeg viselkedése, valamint – a „csúszólappal terhelése” kényszerű műveletét is magában foglaló – védelmi beavatkozás valódi hatékonysága.

Ennek illusztrálására és magyarázatára egy elvi jellegű állékonyságvizsgálat-sorozatot végeztünk, melynek egyes lépéseit a 8. ábrán mutatjuk be. Abból indultunk ki, hogy a suvadás valóságos csúszólappal részben a védekezés közbeni megfigyelésekből, részben a helyreállítást megelőző feltárásból kellő megbízhatósággal ismert. Így megállapítható volt, hogy

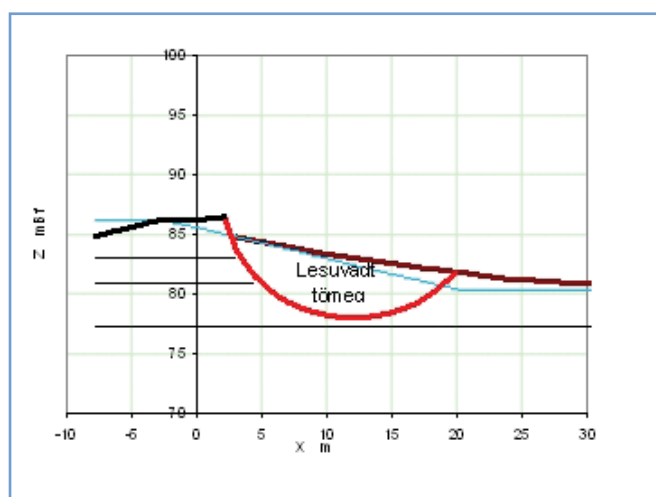
- az elmozdult földtömeg csak sekély mélységben, a 0+500 szelvénynél 2,0–2,5 m, a 0+700 szelvénynél ~1,5 mélyen hatolhatott be az altalajba,
- a felső részénél függőleges érintővel indult csúszólappal csaknem kétharmada az altalajban futott, tehát az altalaj nyírószilárdságvesztésének jelentős szerepe volt a suvadás kialakulásában.
- a kör, vagy körhöz közeli csúszólappal sugara 8,5–11,0 méter között változhatott,
- a csúszólappalok nem léptek ki az agyagrétegekből (a töltés alja és az altalaj felső rétegei agyagból vannak).

A suvadás előtti állapot vizsgálatát a 8.a. ábra mutatja. A csúszólappal helyzete az árvíz alatti megfigyelésekből, valamint a helyreállításkor végzett feltárásból közelítő pontossággal azonosítható volt. Kerestük a $[\Phi, c]$ nyírószilárdsági paramétereknek az értékeit, amelyek mellett a felvett csúszólappal a suvadás éppen bekövetkezhetett ($FS=1$). E paraméterekkel számítva a biztonsági tényező tehát a feltételezésnek megfelelően $FS=1$ -re adódott. A további számításokban az így nyert fizikai paramétereket alkalmaztuk.

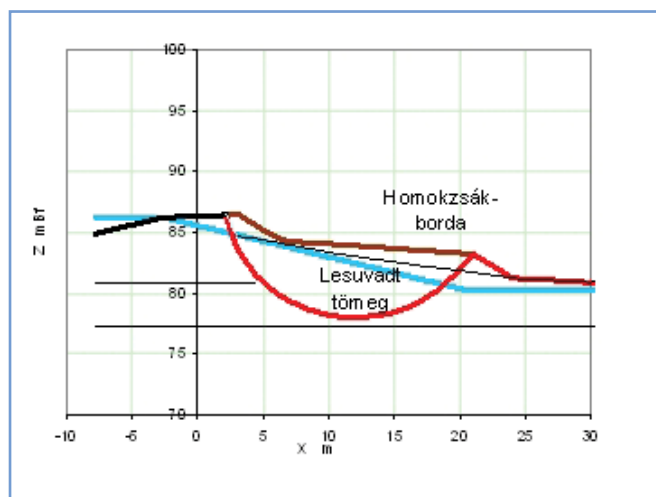
Másodikként a közvetlenül a suvadás utáni helyzetet vizsgáltuk (8.b. ábra). Ekkor sajátos egyensúlyi állapot jön létre: a lesuvadt tömeg kedvezőbb geometriája miatt a töltés fő tömegének állékonysága valamelyest javul. A töltéskorona közelében megtámasztás nélkül maradt, közel függőleges határolású tömb vi-



8. ábra: Állékonyság a védekezés alatt
a) A mentett oldali részű suvadása



8. ábra: Állékonyság a védekezés alatt
b) Az omladék megtámasztó hatása



8. ábra: Állékonyság a védekezés alatt
c) A homokzsák-bordás leterhelés megtámasztó hatása

szont továbbra is kritikus helyzetű, és a lesuvadt tömeg lassú lefelé mozgása következtében előbb-utóbb állékonyságát veszve merev testként bebukik (vö. a csúszás mechanizmusával kapcsolatban leírtakkal).

Az épen maradt töltésrész biztonsági tényezője a számítások szerint $FS = 1,18$ értékre javul. (A lesuvadt tömeg folytatódó mozgása miatt a helyzet természetesen fokozatosan romlik, és hátráló csúszólapon újabb másodlagos suvadást hoz létre. Épp' ennek a folyamatnak a megállítását vagy legalábbis lassítását eredményezheti a szükséges méretű és időben végrehajtott homokzsákcsúszás leterhelés kedvező hatása.)

A lesuvadt tömegre nézve feltételezhető, hogy az éppen az egyensúly határállapotában van ($FS = 1$), és sűrű viszkózus tömeghez hasonlóan tovább csúszik lefelé. Ebből a feltételből kiindulva e mozgó tömeg drénezetlen nyírószilárdsága (~ viszkózus ellenállása) a számítások szerint

$$\tau_v = c_v \text{ kN/m}^2 \text{ értékre becsülhető.}$$

Végezetül a homokzsákcsúszásból + ballonokból kialakított leterhelés hatását vizsgáltuk (8.c. ábra). A töltés épen maradt főtömegének állékonysága jelentősen javult, becsülhetően $FS = 1,44$ értékre. Mivel pedig a védekezés folyamán sikerült a bordás megtámasztás szintjét egészen a koronaszintig emelni (l. 7. ábra), végül a töltés meredek falú, merev felső tömbjének az ideiglenes állékonyságát is sikerült megeremteni. Ugyanakkor a még mozgásra hajlamos lesuvadt tömeg helyzete is fokozatosan stabilizálódott, a biztonsági tényezője $FS = 1,27$ értékre adódott.

A bemutatott számítással nyert biztonsági tényező értékei csak tájékoztató jellegűek, de világosan igazolják azt a tendenciát, hogyan lehet időben végrehajtott, céltudatos védekezéssel a töltés állékonyságát ideiglenesen megeremteni és a közvetlen töltésszakadás veszélyét elhárítani.

3. KÖVETKEZTETÉSEK, A VÉDEKEZÉS ESÉLYEI

A cikkben esettanulmányokhoz fűződően azt a nagyon is gyakorlati kérdést vizsgáltuk: az árvízvédelmi töltéseken mentett oldali részűin előforduló gyakori és jellegzetes suvadások esetén közvetlenül a stabilitás megszűnte (a suvadás kialakulása) utáni időszakban hogyan viselkedik a megmozdult, illetve a „maradék” töltéstömeg, milyen dinamikus egyensúlyi helyzetek jöhetnek létre, és főleg azt, van-e esély hatékony védelmi beavatkozásra és a töltésszakadás megelőzésére.

A suvadást kiváltó okok, a mozgás jellege és időbeli lefolyása, a megmozdult (és helyben maradt) tömegek viselkedése és kezelhetősége, vagyis a védekezés esélye főleg a következő körülményektől függ:

- az árvíz magassága és tartóssága,
- a töltés méretei, rézsűhajlái, homogén vagy szerkezetes volta,
- a koronán átbukó víznek vagy a töltésben kialakuló szivárgásnak van-e szerepe a suvadás létrejöttében,
- a töltés anyaga, a lesuvadt tömeg hajlamos-e sárfolyássá alakulni, vagy elegendő maradék nyírószilárdsága (viszkózus ellenállása) révén viszonylag lassú mozgást végez-e,
- sikerül-e olyan védekezési beavatkozást és stratégiát alkalmazni, mellyel a védekezés ideje alatt fenntartható a megmozdult tömegek dinamikus egyensúlya és megakadályozható a töltés átszakadása.

A Felső-Tisza jobb parti töltésén 2001 márciusában Tarpa körzetében nagyon gyors vízszintemelkedést követően bekövetkezett sorozatos suvadások mutatnak példát az olyan helyzetre, amelyben a töltéskoronán átbukó víz az előzőleg csapadékosság miatt telített anyagú mentett oldali támasztótestben kritikus hidraulikai állapotot hozott

létre, a bekövetkezett suvadás anyaga azonnal sárfolyássá alakult át, és semmi esélyt nem hagyott megelőző intézkedésekre, sem a megmozdult tömeg stabilizálását célzó beavatkozásra, így a töltésszakadás menthetetlenül bekövetkezett.

A Tisza és mellékfolyói árvízvédelmi töltésein a 2000–2006 közötti időszak rendkívüli magasságú és tartósságú árvizei alatt megindult suvadási folyamatokat a lesuvadt tömeg viszonylag lassú mozgásának és az idejében alkalmazott, átgondolt stratégiának és összehangoltan végrehajtott beavatkozásoknak köszönhetően sikerült stabilizálni és a töltésszakadást elhárítani. A védekezés módja a hagyományos mentett oldali homokzsák-bordás megtámasztás volt (olykor súlyosabb megtámasztó elemek, mint big-bag zsákok, vagy ballonok felhasználásával).

Anélkül, hogy a geotechnika szorosan vett feladataitól távolabb eső területekre merészkednénk, helyénvalónak érezzük a következő megjegyzéseket. Az előzőekben előadottakból kitűnik, sokszor milyen nehezen felismerhető jelenségek közt kell döntéseket hozni, és esetleg az sem egyértelmű, vajon valamely intézkedés javítja vagy rontja-e az állékonysági viszonyokat. Mindenesetre a védekezés közben szerzett tapasztalatok és a beavatkozások utólagos elemzése több, korábban eléggé fel nem tárt vagy vitatott kérdést tisztázott, melyek a jövő védekezési munkáiban alkalmazhatók. Az is világossá vált azonban, hogy ha elvben adottak is a védekezés fizikai feltételei, a siker mindenkor nem csak a szükséges anyagok, eszközök, infrastruktúra rendelkezésre állásától függ, hanem nagyrészt a humán faktortól: szakértelemtől, munkaerőtől és szervezéstől is, különösen pedig attól, elegendő-e az idő ahhoz, hogy a védelmi intézkedéseket hatékonyan végrehajthassák. Az elmúlt magas árvizes védekezési munkák „heroikus” erőfeszítéseinek köszönhető sikeres védekezés óriási károktól mentette meg az országot, de sajnos nem nyújt feltétlen garanciát a jövőbeni, akár az eddigieknél is súlyosabb helyzetben követendő védekezés sikerére. A hatékonyabb megoldást – legalábbis a töltések biztonságát illetően – a következő intézkedésekben látjuk, melyeket a jelenlegi töltés helyreállítási és megerősítési munkáin már alkalmaznak is:

- meg kell szüntetni a magassági hiányokat és biztonságos rézsűhajlásokat kell alkalmazni,
- a lesuvadt tömeget el kell távolítani és a helyén a mentett oldali támasztótestet alkalmas, lehetőleg vízáteresztőbb anyagból, kellően tömörítve helyre kell állítani,
- új vagy megerősítendő töltések tervezésénél törekedni kell a földgátak tervezésekor követendő modern elvek alkalmazására, így pl.
- a víz felőli oldalon vízzáró agyagéket és vízzáró testet kell építeni, mind a töltésen keresztül, mind a töltés alatt fenyegető káros szivárgás mérséklésére,
- a töltéstestben függőleges szivárgó beépítésével kell gondoskodni arról, hogy a mentett oldali támasztótestben káros szivárgás ne alakulhasson ki.

Mint ahogy a bemutatott esetekből is látszik a suvadáshoz különböző geotechnikai folyamatok vezetnek. Nehéz megmondani, hogy egy folyamat végén kialakul-e gátszakadás. Ezen folyamatok becsléséhez segítenek a megbízhatóságon alapuló számítások, melyek fejlődésével az árvízvédelmi gátak tönkremeneteli valószínűségének meghatározása egyre pontosabb képet nyújt a valóságos veszélyek súlyosságáról.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] A 2001. márciusi felső-tiszai árvíz. Felső-Tisza-vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság. Nyíregyháza, 2004.
- [2] Kézdi Á.: Talajmechanika II. Negyedik kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
- [3] Lazányi I.: A töltésszakadások geotechnikai okai, In Az 1998. évi árvíz. Vízügyi Közlemények különszám, 3. kötet, Budapest, 2003.

[4] Lazányi I.: Telített talajok – Pórusvíznyomás, In Árvízvédekezés a gyakorlatban. Szerk. Nagy L., Szilávik L., Környezetvédelmi- és Vízügyi Minisztérium Vízügyi Hivatala, Budapest, 2004.

[5] Lazányi I., Nagy L.: 2006. évi tiszai árvíz utáni helyreállítás. A 10.05 árvízvédelmi szakasz Hármaskörös jobb part 0+000–2+000 tkm közötti szakasz átfogó geotechnikai vizsgálata. Geotechnikai szakvélemény, 2006.

[6] Lazányi I., Nagy L. és Takács A.: Csongrád nagyréti suvadások geotechnikai vizsgálata, Vízügyi Közlemények, különszám, megjelenés alatt.

[7] Nagy L.: A mentett oldali rézsú csúszása Tarpa mellett, In Az 1998. évi árvíz. Vízügyi Közlemények külön szám, 1. kötet, pp. 193–205, 2003.

[8] Nagy L.: Védekezés rézsúcsúszás ellen, In Árvízvédekezés a gyakorlatban. Szerk. Nagy L., Szilávik L., Környezetvédelmi- és Vízügyi Minisztérium Vízügyi Hivatala, Budapest, 2004.

[9] Nagy L.: Védekezés az árvédelmi gátak suvadására ellen. Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, Budapest, Innova-Print Kft. Nyomda, ISBN 978-963-87073-9-0, 2007.

[10] Nagy L. (2008): Hydraulic failure probability of a dike cross section, Periodica Polytechnica, megjelenés alatt.

[11] Nagy L., Lazányi I.: Szelevényi suvadás geotechnikai vizsgálata, Vízügyi Közlemények különszám, megjelenés alatt.

SUMMARY

STRUGGLE WITH SLIDES OF FLOOD-PROTECTION DIKES: A RACE AGAINST TIME

In Hungary, the water levels of the river Tisza show volatile changes. Sometimes very high levels can be observed for a longer time. These lasting floods are very dangerous for the stability of dikes. The paper describes some examples of the last decade where failures occurred. Possibilities and measures to prevent or to control slides are described with special emphasis on the severe local conditions and the shortage of time in these situations.

AIPCR 2008–2011

Az AIPCR Útügyi Világszövetség négyéves periódusokban szervezi munkáját. A 2008-2011 közötti időszakban Magyarországot a táblázatban szereplő személyek képviselik az egyes munkabizottságokban. Az AIPCR Magyar Nemzeti Bi-

zottság elnöke, Szalay Béla és a bizottsági képviselők 2008. évi munkájukról 2009. január 16-án beszámolót tartottak. Ezen részt vett Csepi Lajos, az AIPCR-ben Magyarországot képviselő Első Delegátus is.

Bizottság		Magyar tag
Jele	Neve	
A stratégiai téma: a közúti rendszer fenntarthatósága		
A1	A környezet megővése	Hunyadi Dóra (BME)
A2	A közutak beruházásainak finanszírozása, irányítása és szerződésbe adása	Kedves Miklós (KTI), Dr. Orosz Csaba (BME)*
A3	A közúti rendszer gazdasági és társadalmi fejlesztése	Török Ádám (KTI), Siposs Árpád (KKK) *
A4	Vidéki közúti rendszerek és a városközi területek elérhetősége	–
B stratégiai téma: a szolgáltatások feltételeinek javítása		
B1	Az útügyi igazgatás jó irányítása	Kerékgyártó Attila (KKK), Tóth Zoltán (KKK)
B2	Közúti hálózatok üzemeltetése	Simon Attila (KKK), Tomaschek Tamás (ÁAK), Dr. Lindenbach Ágnes (Interut 21)*
B3	Városi területek mobilitásának javítása	Dr. Makó Emese (SZE), Dr. Kisgyörgy Lajos (BME)
B4	Árufuvarozás és intermodalitás	Farkas Balázs (MK), Dr. Pálfalvi József (KTI)*
B5	Téli útszolgálat	Ercsey Gábor (MK)
C stratégiai téma: a közúti rendszer biztonsága		
C1	Biztonságosabb közúti infrastruktúra	Dr. Koren Csaba (SZE), Tárucz László (Reformút)*
C2	Biztonságosabb üzemeltetés	Mocsári Tibor (KKK), Dr. Holló Péter (KTI)*
C3	A működtetési kockázat kezelése a hazai és nemzetközi utak üzemeltetésében	Kamarás Csilla (NKH)
C4	Közúti alagutak üzemeltetése	Dr. György Pál (CONSULTANT)*
D stratégiai téma: a közúti infrastruktúra minősége		
D1	A közúti infrastruktúra vagyon kezelése	Dr. Bardóczky Viktor (KKK)
D2a	Útburkolatok / Útfelületek jellemzői	Forrainé Hernádi Veronika (KKK)
D2b	Útburkolatok / Hajlékony és félmerev burkolatok	Pethő László (BME), Dr. Gulyás András (MK)*
D2c	Útburkolatok / Betonburkolatok	Dr. Karsainé Lukács Katalin (KTI)
D3	Közúti hidak	Karkus János (Via Pontis), Kolozsi Gyula (Via Pontis)*
D4	Geotechnika és burkolat nélküli utak	–
Egyéb bizottság		
CTERM	Terminológia és fordítás	Szirányi Balázs (KKK)

*levelező tag

SPECIÁLIS VÍZELVEZETŐ RENDSZER ÉPÍTÉSE EGY FŐÚT STABILIZÁLÁSÁRA

MECSI JÓZSEF¹

1. BEVEZETÉS

A 67-es főút Kaposvár–Szigetvár közötti szakaszán, Simonfa község határában, 1982-ben az út korrekcióját készítették el. A me-redek szakaszon kapaszkodósávot építettek, a vegyesszelvényű utat a bevágási oldal felé bővítették.

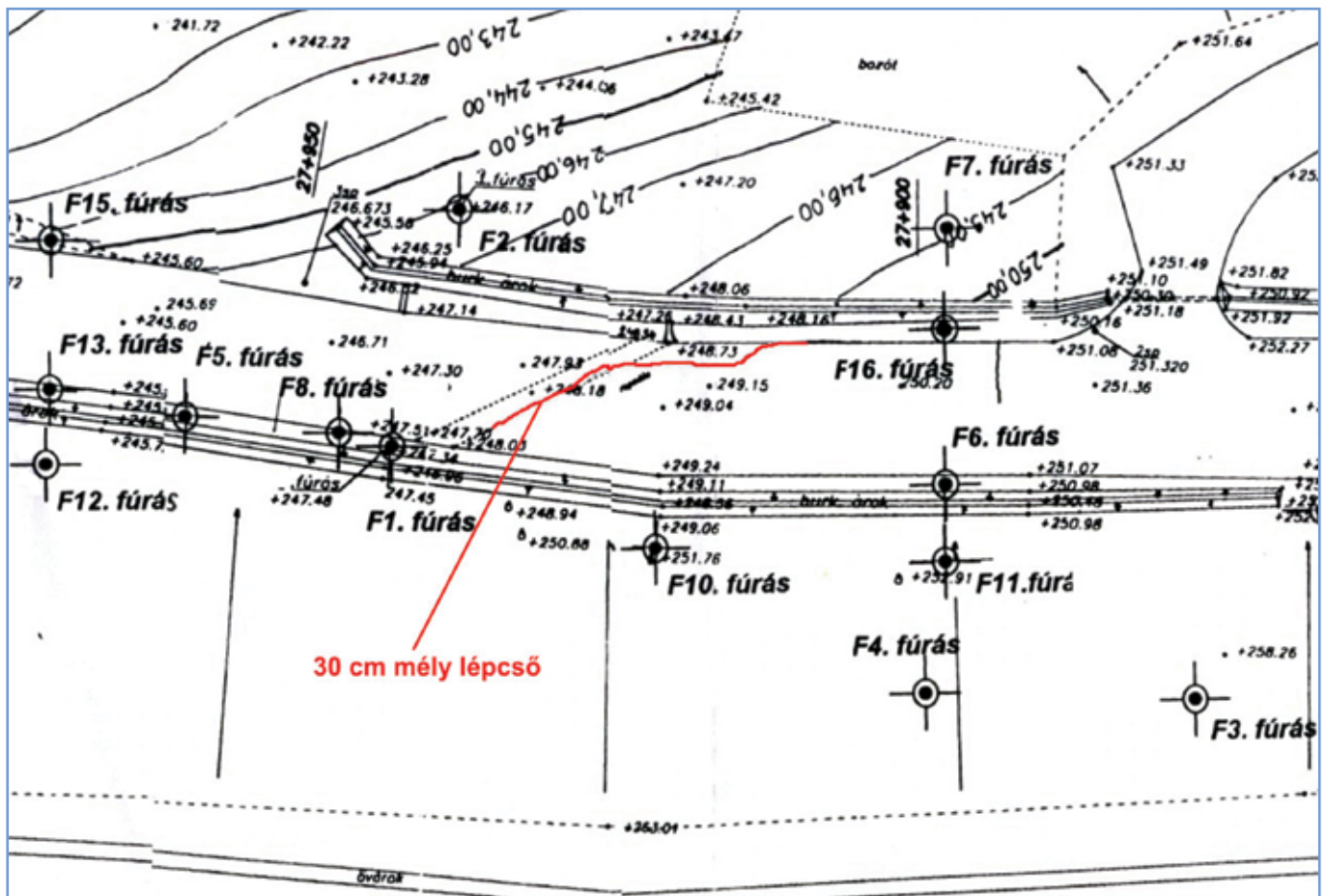
1988 júniusában az útburkolaton keresztirányú repedéssel 10-15 cm-es lépcső alakult ki. 1991-ben a kijavított burkolaton már 30-35 cm függőleges és 3-5 cm vízszintes mozgás történt.

Helyreállításként 120 m hosszban talajcserét készítettek, de az elkészült talajcsere után sem szűnt meg a süllyedés, ismét jelentkezett a burkolat repedése, jellegében azonosan, de a korábbi repedéshez képest eltolódva. Jelentős mértékű burkolatsüllyedés alakult ki, az út használata veszélyessé vált.

Az út burkolatának használhatóvá tétele érdekében az útburkolat alatti talaj cseréjére került sor, jól tömöríthető murvaanyagból. A cél az volt, hogy a mozgásokra engedékenyebb, ne lépcsőszerű töréssel károsodó burkolat alakuljon ki.

A mozgások felgyorsulására utaló jeleket 1998 júniusában észlelték, a süllyedések igen radikálisan növekedtek, az útburkolatnál további 25-30 cm-es „lépcső” alakult ki. A süllyedési lépcső helyét az 1. ábra mutatja be. Későbbiekben végzett feltárások szerint az útburkolat vastagsága azt mutatta, hogy hosszabb idő alatt összességében mintegy 1,2-1,3 m süllyedés alakult ki, amit az évek során aszfalttal pótoltak. (2. ábra)

Részletes vizsgálatokra került sor, geodéziai mérésekre, a kibontott burkolatnál helyszíni talajfeltáró fúrásokra és szondázásokra. A talajvizsgálatok, kiegészítve a korábbi vizsgálatok tapasztalatai-



1. ábra: Az útburkolati süllyedés kialakulásának helye a mintegy 15 m mély bevágásban

¹ Okleveles építőmérnök, egyetemi tanár, Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Kar, e-mail: mecsi@pmmk.pte.hu

val adalékot szolgáltatnak a kedvezőtlen és ismétlődő károsító folyamat megértéséhez és a hatékonyabb védelem megtalálásához.



2. ábra: Aszfalttal pótolótt útburkolati süllyedés. A fényképfelvétel nem a teljes burkolatsüllyedési javításról készült

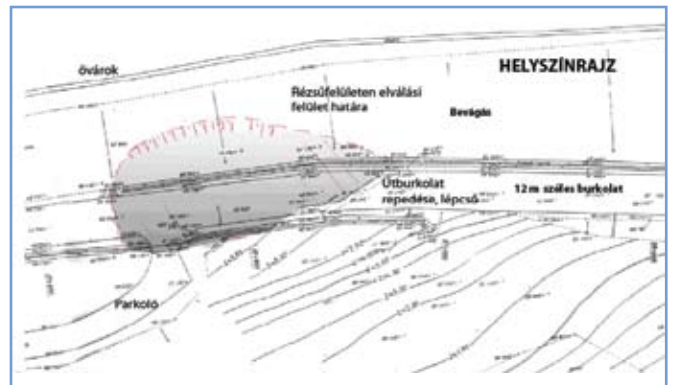
2. AZ ÚTBURKOLATI KÁROSÍTÓ HATÁS VIZSGÁLATA

A terület morfológiailag kedvezőtlen adottságú. A szintvonalas térkép igen fontos tanulságokkal szolgál, már korábban is a területen mélyedést, horhos kialakulásának helyét valószínűsíti, ami kapcsolódik a vízgyűjtő völgyhöz, az út völgyi oldali lejtőjét pedig a turistatérkép – bizonyára nem alaptalanul „csurgó lejtő” – nek nevezte el. (3. ábra)

A rézsűfelületeken folyamatos rézsűelválások vonala volt kivehető, ezeken a helyeken fellazult, növényzethiányos részek rajzolata volt látható. A rézsűelválásoknál igen jelentős mértékű volt a rézsűhajlás törése. A 4. ábrán helyszínrajzban jelöltük be a nagyobb talajtömeg mozgásának kezdetére utaló elválások vonalát. A rézsűfelület geodéziailag felmért alakja is jelezte a bemozdult talajtömeg határait.



3. ábra: A károsodott útszakasz helye, domborzati viszonyai a turistatérkép alapján



4. ábra: A károsodott útszakasz helyszínrajza a potenciális elmozduló talajtömeg határaival, a helyszínrajzilag ferdeirányú, függőleges „lépcső” kialakulásával

A terület bevágási szelvényében és az út alatt lösz eredetű talajok vannak. A bevágási oldalon a geológiai kialakulásra az ún. „dobostortás szerkezet” a jellemző, azaz réteges kialakítású, a homoklisztes iszaprétegekre vörösbarna keményebb agyagok települtek. Az agyagrétegek nem jelentős rétegvastagságúak (0,8-1,0 m), de tömör állapotúak, szinte vízzáróak.

A problémát az agyagrétegek maradó zsugorodása, repedése jelenti, mert kialakulhatnak függőleges repedések és vízjáratok, amik a felszíni vizeket el és levezetik, így nagy víznyomások keletkezhetnek.

Kedvezőtlen volt a sokéves száraz periódus a talajokra, mert a zsugorodás is repedésekhez vezethetett, továbbá hogy a bevágás feletti részen az erdőt kiirtották, helyette szántót alakítottak ki, ami a talajtömeg eltérő, és kedvezőtlen vízháztartásához vezetett.

A rézsűoldalba telepített fúrások homogén víztartalom-eloszlást mutattak, közel azonos talajtömörséget jeleztek.

A 12-14 m mély bevágás talpánál a dombfelőli oldal fúrás-szelvényében érdekes képet mutatott a talaj szemmegoszlásának változása. Míg a tipikus talaj szemmegoszlására jellemző a nagy iszap- és homokliszt-tartalom, addig érezhetően a talaj „átalakult” homokká, azáltal hogy a nagyon finom szemcsefrakciók kimosódtak a viszonylag nagyobb „homokváz” közül. Ez a folyamat azt eredményezi, hogy a talaj egyre inkább vízáteresztővé és vízszállítóvá válik. Ugyanakkor viszont az út másik, völgy felőli oldalán átázott igen puha lágy iszap-sóványagyag réteg a talaj „elagyagosodását” jelzi.

Ezen a területen lévő vízkedvelő növényzet az állandó vízutánpótlás lehetőségét valószínűsítette. A lerakódás, az elagyagosodás, az állandó vízzel való telítettség akadályt jelent, hogy a víz a talajból a legrövidebb úton kijuthasson, s a folyamat az idők folyamán elfajulhat, egyre kedvezőtlenebb lehet. Míg az út belső részén a finomszemcsék kimosódása miatt a talaj vízvezető és víztartó homokká alakul, addig a völgyfelőli oldalon a finomszemcsék bemosódása miatt vízzáró és víztartó dugó alakulhat ki, s a nagyobb víznyomások miatt időszakonként sárfolyás jellegben erodálódik.

A völgyfelőli oldalon a lerakódás instabil anyagú. A laboratóriumi vizsgálatok során megállapítható volt, hogy a talaj könnyen „lebegő” állapotba kerül víz hatására. A talaj megfolyósodásához, a folyási határt meghaladó víztartalomhoz az út forgalmából adódó dinamikus hatás is közrejátszott.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a károsodott területen a burkolatszint alatt 5 m mélységben volt egy jelentősebb mélyedés, melynek felszínét kővér agyagréteg adja, és völgyirányba lejt. Ez földalatti vízgyűjtőként működik, a repedések kialakulásának helyéhez közel az agyagfelület rendkívül meredek volt, amit a szondázási vizsgálatok mutattak.

A mélyedés alján igen-igen puha folyós állapotú talajt tártunk fel, aminek hidraulikai stabilitása minimális. Teljesen vízzel telített, a víztartalma a folyási határt elérte illetve kismértékben meg is haladta. Érdekes volt a vizsgálataink során, hogy az ebből a rétegből vett talajminták jelentős térfogatváltozó tulajdonságúak voltak, a lineáris zsugorodás értéke $\epsilon=8,9\%$ volt. A dinamikus szondázás ebben a rétegben ellenállást nem jelzett, a szondaszár a saját súlya alatt a talajba hatolt nagyobb mélységig, mivel ezek a talajok instabilak, megfolyósodnak és mintegy elfolynak az útburkolat alól. Ez a magyarázata a radikális süllyedéseknek, rogyásoknak.

A nagy víznyomás a kialakult víz alatti medrekben a folyós talajokat kipréselheti az út alól. A vizsgált talajrétegződés és a morfológiai tulajdonság, továbbá a kedvezőtlen megfolyósodó talajállapot igen nagy veszélyt jelentett az út állapotára. A nagyobb talajtömeg bemozdulásának reális lehetősége miatt sürgős beavatkozásra volt szükség.

Ehhez hasonló összetett problémák nem egyedi jelenségek. Hasonló problémákat ismertettek lengyel szakértők is. A Simonfa térségében tapasztalt mozgásokhoz szinte kísértetiesen hasonló mozgást mutattak be nemzetközi konferenciákon. Prof. Kazimierz Ukleja elmondása szerint Lengyelországban közel 20 hasonló károsodási esetet figyeltek meg [1]. A süllyedések nagyságrendje elérte az 1,2-1,5 m-t. A mozgások megállítása egy bizonyos idő után szinte lehetetlen.

Összefoglalva a vizsgálatok eredményeit megállapítható, hogy a károsodott útszakaszon az alapvető problémát két károsító egymással összefüggő folyamat jelenti:

- filtrációs stabilitásvesztés
- talajtömeg egyensúlyának állapotromlása.

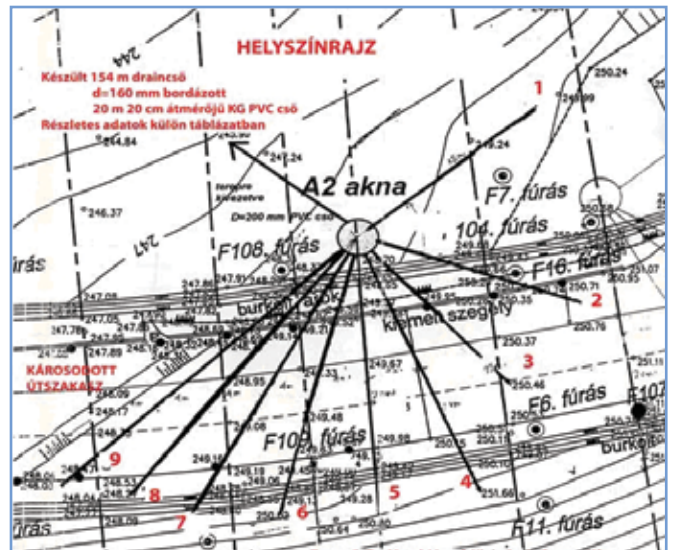
A filtrációs állapotvesztés alapvetően a kimosódási és a megfolyósodási folyamatokat jelenti, az időszakos és alapvetően rövid időtartamra terjedő nyomásnövekedés hatására bekövetkező szemcsemozgásokat. A talaj kimosódása miatti szemszerkezetváltozás megfolyósodási folyamatokat indukál. A talaj állapotváltozása, kedvezőtlen helyen és mértékben való megfolyósodása ugyanakkor igen jelentős mértékben hatással van a teljes talajtömeg állékonyosságára is. Kijelölhető annak a talajtömegnek a térbeli határa, ami potenciális lecsúszási veszélyt jelent, illetve lassú mozgást eredményez.

A fokozatosan romló filtrációs állapotváltozáshoz fokozatosan csökkenő biztonságú talajtömeg-egyensúlyi állapot is tartozik, ezért a műszaki beavatkozások elkerülhetetlenek.

3. A TERVEZÉS ALAPVETŐ SZEMPONTJAI

Alapvető kérdésként vetődnek fel a következők:

- Döntő mértékben a talajtömeg stabilizálását kell biztosítani, a stabilitást növelni és a kimosódási folyamat elfajulását megállítani. *Ehhez a legfontosabb, hogy megakadályozzuk, hogy nagyobb víznyomások alakulhassanak ki.* A feladat tehát nem az, hogy szivárgót építsünk *mindenáron*, hiszen nem tartós és állandó vízvezetésre van szükség, mivel a *károsító hatás igen rövid időtartamú és intenzív.* A *károsító hatás alapvetően csak*



5. ábra: A tervezett vízvezető rendszer helyszínrajzi tervvázlata. (Mégvalósult 1998 októberében)



6. ábra: A vízvezető rendszer építése szakaszosan toldott acélcsövekkel és fúrással, majd a 200 mm-es acélcsöbe befűzött, 160 mm átmérőjű bordázott dréncsővel kialakított, 16–24 m hosszú vízvezető csövekkel

az igen nagy intenzitású és jelentős vízmennyiséget eredményező csapadék közvetlen hatására alakul ki. A kimosódási jelenségek lüktetésszerűen jönnek létre. Az a feladat, hogy olyan műszaki beavatkozásokat készítsünk, ami megakadályozza, hogy a talajba kerülő víz a keményebb agyagréteg felszíne közelében a talajt folyós állapotba hozza, illetve tartósan elárasztva, felpuhítva tartsa.

- Figyelembe kellett venni, hogy a vizsgált útszakasz állapota igen veszélyes, a potenciálisan nagyobb kiterjedésű talajtömeg megcsúszásának lehetősége fennállt. A károsító folyamat el-fajuló jellegű, a folyamat önmagát gerjeszti. Ennek megfelelően nem volt lehetőség arra, hogy a bevágási oldalon még időlegesen is megbontsuk a földtömeget árok kialakításával és szivárgó építésével.
- Kedvező stabilitás szempontjából a megtámasztó földtömeg a völgyi oldalnál, de ennek a stabilitása bizonytalan volt, így ezt a *megtámasztó hatást növelni kellett*, a nyírási ellenállás fokozásával.
- A kiegészítő beavatkozásokkal, szabályozásokkal a lehető legkisebb mértékűre kellett csökkenteni a károsodott terület vízterhelését. Például a magasabb úttestről és parkolóterületekről a csapadékvizet a lehető leggyorsabban el kell vezetni a befogadóba. Állandóan karban kell tartani az árkokat stb.

4. A TERVEZETT VÍZELVEZETŐ RENDSZER

Ezen alapelvek figyelembevételével javasoltuk a víztelenítés, víz-elvezetés megoldását. Javasoltuk utólagos vízelvezető rendszer kiépítését. A vízelvezető rendszer építése indítóaknából fúrt-sajtott eljárással készült. Összesen három aknát építettek 3 m átmérővel. Minden aknában, a bevágási oldal felé helyszínráizig legyező alakban, több sugárirányú vízgyűjtő dréncövet épített be a kivitelező. A völgyfelőli oldalra 1%-os lejtéssel, az aknában időszakosan felgyülemelő vizet 20 cm átmérőjű csővel vezette ki távolabb az aknától a stabil völgyoldalra. Az aknák talpmélysége 3,5-4,5 m volt.

A dréncövek talajba juttatása után a későbbi ellenőrzés biztosítására betonaknát építettek ki a dúcolt munkagödörbe. A kialakított aknák jellemző tervét az 5. ábra mutatja be, míg a munkafolyamatot a 6. ábra szemlélteti.

5. TAPASZTALATOK

A kiépült víztelenítő rendszerrel az volt a cél, hogy olyan kedvező talajstabilizálási folyamatokat indítsunk el, mely az igen veszélyesen megindult, fokozatosan elfajuló mozgásokat lelassítja. Egyértelmű volt az is, hogy az útpálya alatt kialakult vízszállító árok/völgy hatását lokális csápokkal erőteljesen mérsékelni lehet, de teljesen megszüntetni nem.

A víztelenítéssel a függőleges értelmű mozgások először növekedtek, mert a talajban lévő vizet elvezettük, így az út forgalmának az útburkolati egyenetlenségek hibái és az alacsonyabb járműsebességek miatti talaj-igénybevétele igen felfokozott mértékű lett, valamint a vízzel telített talaj tehetetlenségi csillapító hatása is kevésbé érvényesült. Ugyanakkor viszont a tömörödéssel a talaj állapota fokozatosan javult, egy jó teherviselő és egyre kevésbé összenyomódó talaj alakul ki.

A talajszondázások azt mutatták, hogy az útburkolat alatti talaj jelentősen és fokozottan tömörödött. A talaj tömörségének változásából adódó hatás miatt időben elhúzódó kisebb mértékű süllyedés az altalaj állapotjavulásának a hatásából alakult ki. A vízelvezető rendszer közel tízéves hatékony működése és a megszünt károsodások azt mutatják, hogy a tervezés és a kivitelezés során megfelelő módszert alkalmaztunk.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] Kazimierz Ukleja, Janusz Ukleja: Stabilization of road body in a slope failure. Wrocław Technical University, Geotechnical Engineering for transportation infrastructure, Proceedings of the twelfth European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical engineering, Amsterdam 7–10. June 1999.

[2] Mecsi J. (2000): New draining technology to prevent the development of landslides. Anuarul Geological Romaniei. Bucuresti, 2000. Vol.72. ISSN 1453-357X pp. 52–55.

SUMMARY

CONSTRUCTION OF A SPECIAL DRAINAGE SYSTEM FOR STABILISING A MAIN ROAD

An alignment correction has been made in 1982 on a hilly main road widened in a cut. Up to 1998 on the pavement vertical steps of 15-30 cm size occurred. According to analysis made in 1998 damages were caused by more than one effect. The free flowing of ground water was hindered and the water pressure increased washing out fines. The solution has been the construction of a special drainage system including sinks at the valley side and drilled drain pipes covered with geotextile. The compactness and stability of the soil under the pavement have been increased. As the drainage system proved to be effective, according to many years experience, damages have been ceased.

BETONBURKOLATOK SZERKEZETI VISELKEDÉSE MOZGÓ TERHELÉS ALATT

STRUCTURAL RESPONSE OF CONCRETE PAVEMENTS UNDER MOVING TRUCK LOADS

M. Y. DARESTANI, D. P. THAMBIRATNAM, A. NATAATMADJA, D. BAWEJA

JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING VOL. 133., 2007. 12. PP. 670–676. Á:10. T:2. H:15.

A betonburkolatok statikus terhelés alatti viselkedése jól ismert, de a kutatók még keveset tudnak a dinamikus terhelés hatásairól. A statikus és dinamikus terhelés hatásait összehasonlítva a korábbi szakmai eredmények alapján nem volt egyértelműen eldönthető, hogy melyik esetben nagyobb a táblák behajlása. Ausztrália Queensland államában ezért az egyetem és egy betongyártó cég együttműködésével egy valós léptékű kísérleti műszerezett betonpályán végeztek vizsgálatokat. A 32 m hosszú, 5,1 m széles és 25 cm vastag kísérleti betonpályán két hagyományos és két acélhálalóval megerősített betonburkolatú szakasz épült. A hézagokban átkötő vasakat alkalmaztak. A teljes műszerezettség a pályában 120 elektronikus feszültségmérő cellából és 15 lineáris nyúlásmérőből állt. A dinamikus terheléseket 5 és 55 km/óra sebességhatárok között végezték egy 48 tonna össztömegű 1+2+3 tengelyelrendezésű nyerges tehergépkocsival. A statikus terhelésekkel összehasonlított mérési eredmé-

nyekből meghatározták a dinamikus erősítés tényezőjét, melynek értéke 55% és 313% között alakult. Ezután háromdimenziós véges elemes modellezést végeztek ANSYS alapon 50 km/óra áthaladási sebességet feltételezve. A dinamikus modell eredményei a hasonló tényleges sebesség mellett mért behajlásokkal jó egyezést mutattak. A betonburkolatok dinamikus viselkedésének elemzése azért fontos, mert a dinamikus terhelések következtében nagyobb feszültségek keletkeznek, és nagyobb behajlás jön létre, ami a burkolat korábbi leromlásához vezet. Megállapították, hogy az átkötő vasak elhelyezése befolyásolja a tábla behajlását, a mérések szerint legkedvezőbb a vastagság középvonalától kissé feljebb elhelyezni azokat. A kifejlesztett véges elemes modell további kutatásokra is alkalmas a betonburkolatok viselkedésének területén.

G. A.

AUTÓPÁLYÁK FÖLDMŰVEINEK SÜLLYEDÉSMÉRÉSI TAPASZTALATAI¹

DR. PUSZTAI JÓZSEF²

1. BEVEZETÉS

Az elmúlt négy év hazai autópálya-építési tapasztalatai alapján megállapítható, hogy az egyre rövidebb kivitelezési idők miatt mind fontosabb az autópálya-töltések alakváltozásainak pontosabb előrebecslése és a süllyedések alakulásának a nyomon követése, mely alapján a szükséges beavatkozások elvégezhetők.

A közutak kiviteli terveihez készített talajmechanikai feltárások és talajvizsgálati jelentések az éppen érvényben lévő üti mőszaki előírásoknak (Szepesházi et al., 2002, 2006) megfelelően készülnek.

Az elmúlt időszakban áttanulmányozott – autópályákhoz készített – talajvizsgálati jelentések (geotechnikai szakvélemények) tapasztalatai alapján megállapítható, hogy azok szinte mindegyike kis számban, vagy egyáltalán nem tartalmaz a töltések süllyedésvizsgálataihoz szükséges paramétereket, a feltárások mélységei pedig nem elégségesek a számítások elvégzéséhez. Ennek oka vélhetőleg a tervezési időszakban rendelkezésre álló, korlátozott adottságokra (drága és időigényes feltárások és laboratóriumi vizsgálatok) vezethető vissza. A geotechnikai tervezők mindezek ellenére a tapasztalataik alapján, a hivatkozott előírásnak megfelelően közölnek becsléseket a töltések várható süllyedéseire és konszolidációjára vonatkozóan.

Az autópályák kivitelezésének megkezdését követően, az építési határidők betartása és a geotechnikai kockázatok csökkentése érdekében számos kiegészítő feltárás – nagyobb számban in situ vizsgálat – készült (annak gyorsasága és alacsonyabb költsége miatt) a süllyedések alakulásának pontosabb becslése céljából is. Jellemzően a magas (~ 6–12 m), illetve a kedvezőtlen altalajokra épített töltéseknél végeztek süllyedést, melyek alapján a süllyedések lefolyása és a szükséges utólagos beavatkozások eldönthetők voltak.

Az in situ vizsgálatok és a süllyedésmérések adatai alapján számítások készültek (back analysis), melyek eredményeként az altalaj összenyomódásának számításához szükséges paraméter (E_{oed}) és az in situ (CPTU) vizsgálati adat (q_c) közötti empirikus összefüggés lett megállapítva, továbbá a feltárások szükséges mélységére vonatkozóan született javaslat. A tapasztalati összefüggések az eddig feldolgozott adatok alapján készültek, melyek a most folyamatban lévő autópálya-építések mérési eredményeinek értékelését követően további pontosításra kerülnek.

2. KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Nagyszámú vizsgálatok eredményei alapján meglehetősen jól kimutatott tény, hogy nincs általános érvényű összefüggés, csupán a területileg azonos talajok talajfizikai jellemzői és a CPTU-szondázások eredményei között állapítható meg korreláció (Demers

and Leroueil, 2002). Ezért helyi összefüggések kidolgozása szükséges, hogy minél megbízhatóbb becsléseket lehessen végezni.

Korai kutatásokat Hollandiában végeztek, hogy meghatározzák az ödométeres modulus (E_{oed}) és a CPT-vizsgálat során mért csúcscellenállás (q_c) közötti összefüggést. Buisman (1940) elméleti úton a következő összefüggést vezette le laza szemcsés talajok esetére:

$$E_{oed} = 1,5 \cdot q_c \quad (1)$$

Kötött talajoknál Kerisel (1969), Sanglerat et al. (1972) és még sokan mások, a 1,5-es szorzó helyett α_m együttható bevezetését javasolták a lineáris összefüggésbe, melynek értéke a talajtípustól függ. Ennek megfelelően az általános összefüggés a következők szerint fejezhető ki:

$$E_{oed} = \alpha_m \cdot q_c \quad (2)$$

Sanglerat et al. (1972) átfogó összefoglalást készített α_m értékeire vonatkozóan, különböző talajtípusok és csúcscellenállási adatok (q_c) figyelembevételével. Az összegzést 600 CPT-szondázás adatai alapján végezte el, melyeket Francia- és Spanyolországban készítettek. A megvizsgált talajok jelentős része kis- és nagy-plaszticitású agyag (CL, CH) volt, de jelentős számban tartalmazott szerves agyagokat (OH), tőzeget (Pt), homokot is. A feldolgozott adatok összegzése az 1. táblázatban látható.

1. táblázat: Az α_m együtthatók értékei (Sanglerat, 1972), ahol w a természetes víztartalom

Kritérium, MPa	α_m [1]	Talajtípus
$q_c < 0,7$	3,0 – 8,0	Kisplaszticitású agyag (CL)
$0,7 < q_c < 2,0$	2,0 – 5,0	
$2,0 < q_c$	1,0 – 2,5	
$q_c < 2,0$	3,0 – 6,0	Kisplaszticitású iszap (ML)
$2,0 < q_c$	1,0 – 2,0	
$q_c < 2,0$	2,0 – 6,0	Nagyplaszticitású iszap és agyag (MH, CH)
$2,0 < q_c$	1,0 – 2,0	
$q_c < 1,2$	2 – 8	Szerves iszap (OL)
$q_c < 0,7$	1,5 – 4,0	Tőzeg és szerves agyag (Pt, OH)
$50 < w < 100$		
$100 < w < 200$		
$200 < w$	0,4 – 1,0	
$2,0 < q_c < 3,0$	2,0 – 4,0	Mészkö (Chalk)
$3,0 < q_c$	1,5 – 3,0	
$q_c < 5,0$	2,0	Homok
$10,0 < q_c$	1,5	

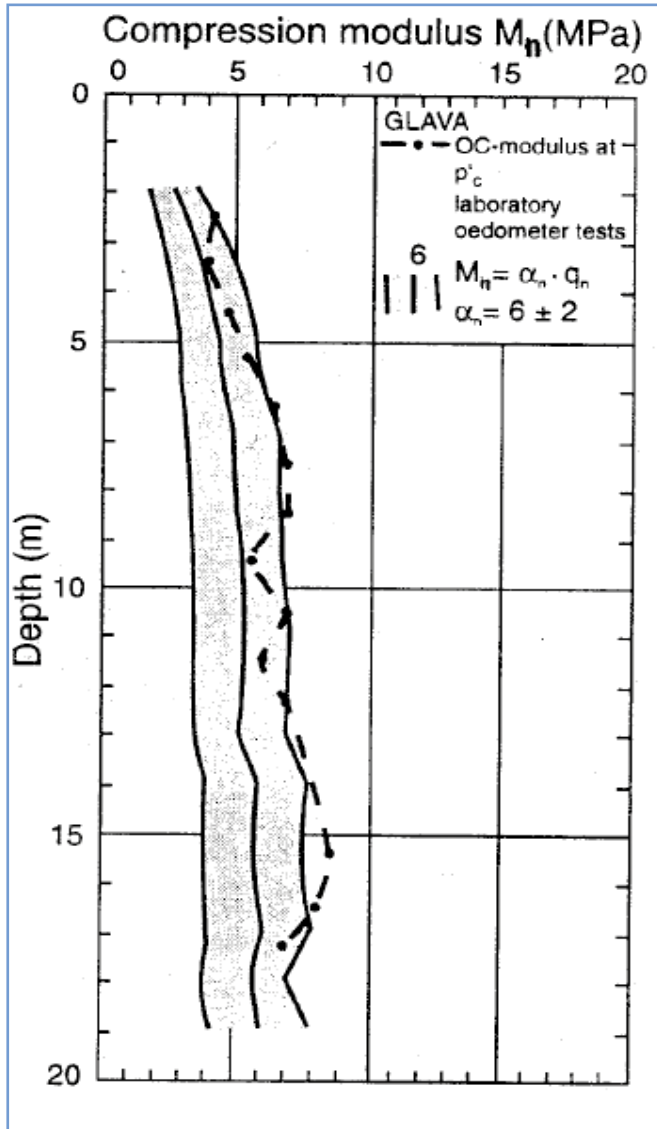
Senneset et al. (1989) a már hivatkozott lineáris összefüggést (2) a teljes (korrigált) csúcscellenállás (q_t) és a csúcs szintjénél, a penetrációs vizsgálat előtt ható teljes függőleges feszültség (σ_v) figyelembevételével fejezte ki:

¹ A cikk megjelent a 2008. szeptember 23-24-i Dr. Kézdi Árpád Emlékkonferencia kiadványában

² Okleveles építőmérnök, egyetemi docens, BME Geotechnika Tanszék, e-mail: pusztai@geoforce.hu

$$E_{oed} = M_n = \alpha_n \cdot (q_t - q_{v0}) \quad (3)$$

Túlkonzolidált agyagok esetén $\alpha_n = 5-15$ közötti, míg normálisan konszolidált agyagok esetén $\alpha_n = 4-8$ közötti értéket javasol felvenni (1. ábra).



1. ábra: M_n összehasonlítása Glava agyag esetén (Senneset et al., 1989)

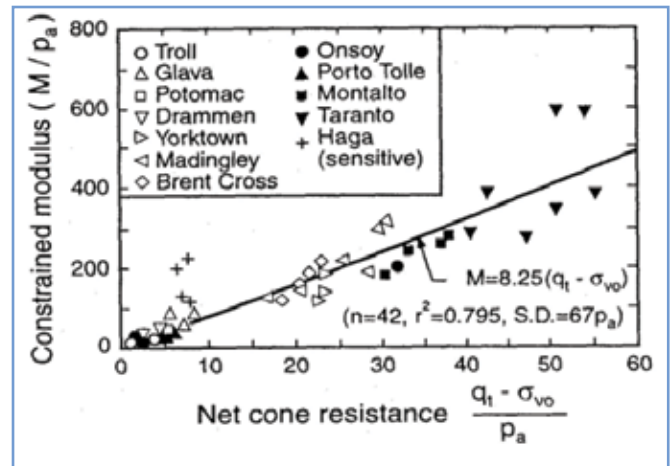
Kulhawy és Mayne (1990) a világ számos országában elvégzett vizsgálatok eredményeit dolgozták fel és az alábbi, általános összefüggést javasolták (2. ábra):

$$E_{oed} = 8,25 \cdot (q_t - \sigma_{v0}) \quad (4)$$

Abu-Farsakh (2003) tanulmányában meglehetősen jó összefüggést talált a laboratóriumi vizsgálati eredmények és a CPTU mérési adatok között. Tanulmányában néhány általánosan használt korrelációs modellt értékelt a kapott mérési adatok alapján és egyszerű, lineáris összefüggést javasolt az ödométeres modulus (E_{oed}) és a teljes (korrigált) csúcsellenállás (q_t) között louisianai talajok esetén:

$$E_{oed} = 3,15 \cdot q_t \quad (5)$$

A fejezet elején említetteknek megfelelően a közölt összefüggések sok esetben jó eredményt adnak, azonban a szerzők óvatosságra intenek.



2. ábra: Összefüggés q_t és E_{oed} között (Kulhawy és Mayne, 1990)

3. VIZSGÁLATI MÓDSZER

A helyszíni süllyedésmérésekből visszszámításra kerültek az al-talajviszonyok és a töltésgeometria ismeretében az átlagos ödométeres (E_{oed}) modulusok értékei, melyek a CPTU-szondázások során mért átlagos csúcsellenállások értékével (q_t) lettek összehasonlítva.

VIZSGÁLT TALAJOK

A rendelkezésre álló adatok közül az M6 autópálya Érd–Dunaújváros közötti szakasz mérési eredményei lettek feldolgozva, mely adatok a most átadásra került M7 autópálya Balatonkeresztúr–Nagykanizsa közötti és az M0 útgyűrű 42+200–59+800 km-szelvények, valamint az M6 autópálya további szakaszainak mérési eredményeivel kerülnek kiegészítésre a későbbiekben.

Az M6 autópálya Érd–Dunaújváros közötti szakasz rendelkezésre álló helyszíni mérési adatai közül azok kerültek feldolgozásra, melyek homogén, vagy közel homogén talajrétegződést (legalább 80%-ban azonos típusú talajokat) mutattak, hogy az α_m együttható pontosabban meghatározható legyen az egyes talajrétegek esetén. A helyszíni adottságoknak megfelelően agyag- és iszapos homokliszt talajok adatai kerültek feldolgozásra.

SÜLLYEDÉSMÉRÉSEK

A töltések süllyedésmérését minden esetben az útügyi műszaki előírásnak (Baksay et al., 2000) megfelelően végezték el, a közlekedőedények törvényén alapuló mérési módszerrel.

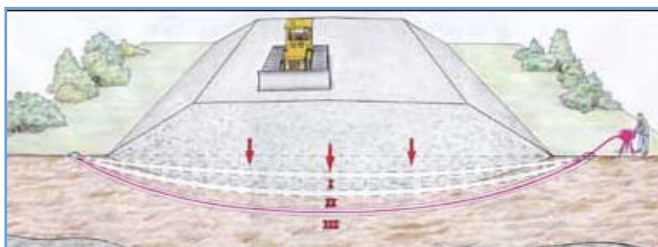
A mérésekhez felhasznált műszer a Consoil típusú mérőberendezés volt. (3. ábra) A süllyedésmérések során közvetlenül a töltéstest alá beépített flexibilis cső – mely együtt mozdul el az összenyomódó talajjal – alakváltozását mérik a kezdeti referencia értékhez (nullmérés) képest (4. ábra, Copyright 1996 by Consoil AB).

Az egyes mérések alkalmával a csőben végigvezetett hidraulikus szonda méterenként regisztrálja a szonda alaponthoz viszonyított helyzetét, mely alapján a relatív és abszolút süllyedések meghatározhatók.

Egy tipikus mérési adatsort az 5. ábra szemléltet. Az ábra felső részén az aktuális töltésmagasság, míg az alsó részen a süllyedés-



3. ábra: Consoil típusú mérőberendezés



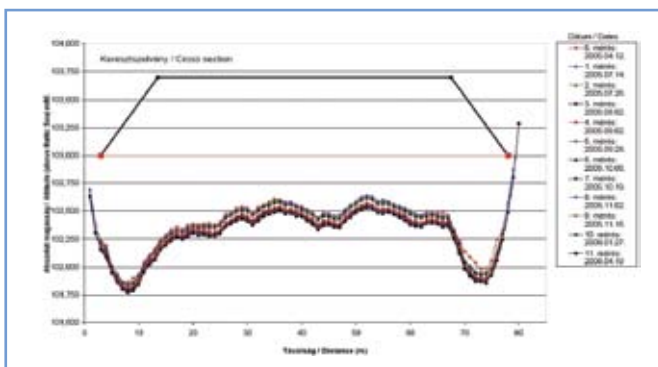
4. ábra: Süllyedésmérés a gyakorlatban

mérő cső – méterenkénti pontokban regisztrált – abszolút elmozdulási értékei láthatók.

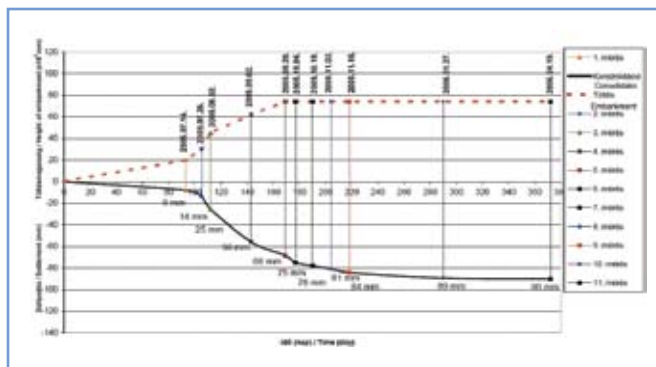
A pontosabb mérések elvégzése érdekében a gyári műszer szondájának érzékenysége fejlesztésre került, melynek eredményeként a mérési pontosság ± 3 mm lett a korábbi ± 5 mm-rel szemben. Ez 40%-kal pontosabb méréseket eredményezett.

A süllyedésmérések adataiból elkészültek a töltésepítési ütemnek megfelelő konszolidációs görbék is, melynek tipikus eredményét a 6. ábra szemlélteti. Az ábra felső részén a töltésepítési ütem, az alsó részén pedig a konszolidációs görbe látható.

A konszolidációs görbék süllyedési értékei a teljes koronaszélességben mért süllyedési értékek átlagaként és az itt mért maximális süllyedések alapján kerültek feldolgozásra. Az elemzések során a maximális süllyedési értékek adatai lettek figyelembe véve a jobb egyezés és a könnyebb kezelhetőség miatt.



5. ábra: Abszolút süllyedések ábrája – 23+750 (H2) (A töltés ábrázolása nem méretarányos.)



6. ábra: Konszolidációs görbe – 23+750 (H2) a töltés tengelyében vizsgálva.

SZONDÁZÁSI ADATOK

Vonalas műtárgyak magas töltéseihez a hatályos útügyi előírások értelmében ritkán készül kellő mélységű feltárás. Ennek oka, hogy az ÚT 2-1.222 a feltárások minimális mélységét töltések esetén úgy írja elő, hogy a felderítés terepszinttől számított mélysége általában ne legyen kevesebb a töltésmagasságnál és 6 m-nél, mely azonban a töltések süllyedésszámításhoz szükséges határmélységet általában nem éri el.

Az itt elvégzett számításokhoz olyan CPTU-szondázási adatok kerültek felhasználásra, melyek mindegyike elérte a határmélységet. Természetesen ez nagymértékben lecsökkentette a vizsgálható helyek számát, melyek szinte csak a műtárgyak hídfőinek környezetére korlátozódtak. A feldolgozott szondázási adatok mindegyike legfeljebb 50 m-re volt a süllyedésmérési helyektől.

ÖDOMÉTERES MODULUS MEGHATÁROZÁSA

Az alkalmazott módszer az ún. „back analysis”, melyhez a németországi fejlesztésű GGU szoftvercsalád süllyedésszámítási programja (GGU-Settle) lett felhasználva. A szoftver lehetőséget ad az altalajviszonyok és a terhelés térbeli modellezésére. Ennek megfelelően minden esetben 100 m hosszúságú töltésszakasz került megvizsgálásra, a tényleges töltésgeometria és altalajviszonyok mellett.

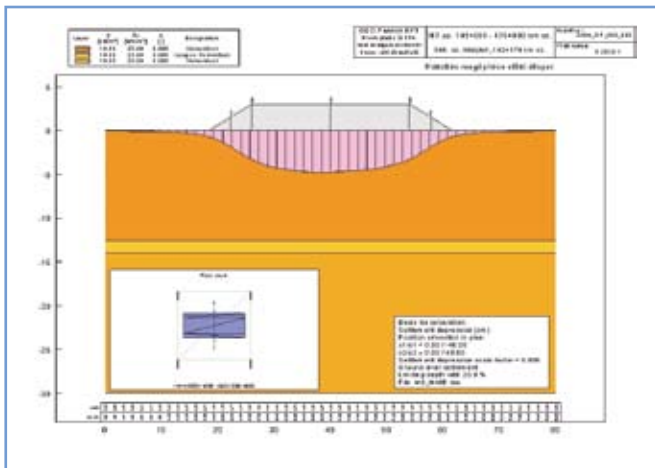
A kvázi homogén talajokból álló altalajok és töltésgeometria (terhelés) ismeretében kerültek kiszámításra a határmélységek, a már említett program segítségével. (Az elemzések során csak olyan helyszínek kerültek megvizsgálásra, ahol a határmélységig ismertek voltak a CPTU-szondázási adatok.)

A határmélység figyelembevétele a 20%-os feszültségszétterjedés alapján történt, addig a mélységig, amíg a töltéstest többletterheléséből származó függőleges feszültség el nem éri a hatékony függőleges feszültség értékének 20%-át.

A modellezés során a talajrétegek átlagos ödométeres modulusa a rétegen belüli átlagos q_c csúcsellenállások arányában lett figyelembe véve, és a számítások addig ismétlődtek, míg a mért süllyedésekkel azonos értékek nem adódtak.

A fenti számításoknak megfelelően lettek meghatározva az öszszetartozó ödométeres modulusok (E_{oed}) és szonda-csúcsellenállások (q_c) átlagos értékei.

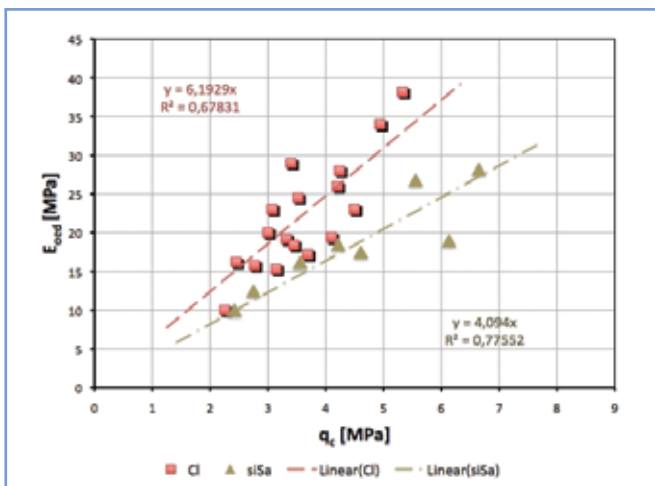
A GGU-szoftver egy tipikus számítási eredményét (metszetét) a 7. ábra szemlélteti.



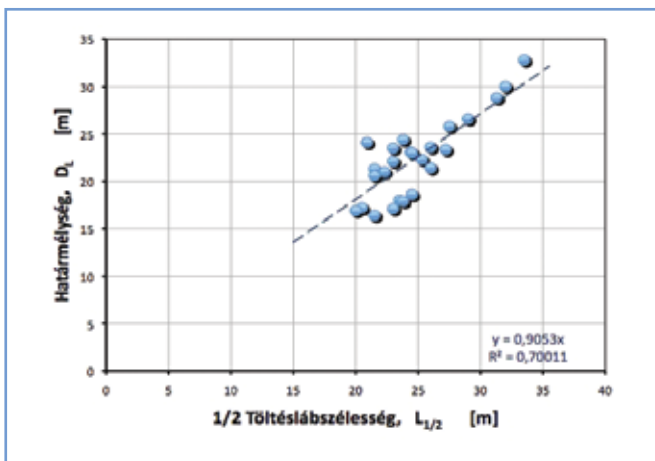
7. ábra: Süllyedésszámítási modell (GGU-Settle)

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az M6 autópálya Érd-Dunaújváros közötti szakaszán összesen 25 helyszínek az adatai kerültek feldolgozásra, melyből 17 eset-



8. ábra: Összefüggés q_c és E_{oed} között



9. ábra: Összefüggés D_L és $L_{1/2}$ között

ben agyag, 8 esetben pedig iszapos homokliszt volt a jellemző talajréteg.

A vizsgálati eredmények értékelése alapján a helyszíni mérési eredményekből visszszámolt ödométeres modulusok (E_{oed}) és a mért CPTU-csúcsellenállások (q_c) átlagos értékei között az alábbi lineáris összefüggés állapítható meg (8. ábra):

– agyagok esetén:
$$E_{oed} = 6,2 \cdot q_c (R^2 = 0,67) \quad (6)$$

– iszapos homoklisztok esetén:
$$E_{oed} = 4,1 \cdot q_c (R^2 = 0,77) \quad (7)$$

A határmélységek (D_L) és a töltéslábszélességek felének ($L_{1/2}$) adatait feldolgozva a következő összefüggés adható meg (9. ábra):

$$E_{oed} = 0,9 \cdot L_{1/2} (R^2 = 0,70) \quad (8)$$

5. ÖSSZEFOGLALÁS, JAVASLATOK

Az ödométeres modulus in situ mérések alapján történő empirikus meghatározását számos kutató vizsgálta a világban. Jelen cikk az elmúlt évek során Magyarországon mért és feldolgozott adatok alapján levont lineáris összefüggéseket közli az ödométeres modulus meghatározására vonatkozóan, agyag- és iszapos homokliszt talajok esetén:

– agyagtalajok: $E_{oed} = 6,2 q_c$ [MPa]

– iszapos homokliszt: $E_{oed} = 4,1 q_c$ [MPa]

A töltések süllyedésszámításához szükséges feltárások minimálisan szükséges mélységeit feldolgozva, javasolt a vonatkozó útügyi műszaki előírás feltárásokra vonatkozó pontjának módosítása a következők szerint: a feltárások terepszinttől számított mélysége általában ne legyen kevesebb a töltésláb szélességének felénél, illetve 12 m-nél.

Az elmúlt időszak és a jelenlegi infrastruktúra-fejlesztéseknek köszönhetően a mérési adatok tovább bővülnek, melynek megfelelően azok feldolgozása és értékelése folytatódik.

Jelölések:

- CPT – statikus penetrációs vizsgálat
- CPTU – pórusvíznyomás-méréses statikus penetrációs vizsgálat
- q_c [MPa] – CPTU-vizsgálat során mért csúcsellenállás
- q_t [MPa] – CPTU-vizsgálat során mért adatokból számított teljes (korrigált) feszültség
- f_s [kPa] – CPTU-vizsgálat során mért fajlagos köpenysúrlódás
- R_f [%] – súrlódási viszonyszám: f_s/q_c
- u [MPa] – CPTU-vizsgálat során mért penetrációs pórusvíznyomás
- D_L [m] – határmélység
- E_{oed} [MPa] – ödométeres modulus
- $L_{1/2}$ [m] – töltéslábszélesség fele
- OCR – túlkonzolidáltsági viszonyszám
- w [%] – természetes állapotú talaj víztartalma
- σ_{v0} [MPa] – CPTU-vizsgálat során a szondacsúcs szintjénél, a penetrációs vizsgálat előtt ható teljes függőleges feszültség

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Abu-Farsakh, M.Y., Evaluation of consolidation characteristics of cohesive soils from piezocone penetration test, LTRC project No. 00-3GT, Louisiana Transportation Research Centre, 2003.
- [2] Buisman, A. S. K., Groundmechanica, Waltman, Delft, The Netherlands, 1940.
- [3] Baksay, J. et al., ÚT 2-3.104 Közúti töltéssüllyedések mérése útügyi műszaki előírás, Magyar Útügyi Társaság, Budapest 2000.
- [4] Demers, D., Leroueil, S., Evaluation of preconsolidation pressure and the overconsolidation ratio from piezocone tests of clay deposit in Quebec, Canadian Geotechnical Journal 39, 2002, pp. 174–192.
- [5] Kerisel, J. Adam, M., Charge limite d'un pieu en milieu argileux et limoneux, Proc. International Soil Mechanics Foundation Engineering, 7th, Mexico, 1969, pp.131–139.
- [6] Kulhawy, F.H. and P.W. Mayne, Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design, Report EPRI EL-6800, Electric Power Research Institute, Palo Alto, Calif., 1990, pp. 306.
- [7] Sanglerat, G., The Penetrometer and Soil Exploration, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, 1972, 488 p.
- [8] Senneset, K., R. Sandven, and N. Janbu, Evaluation of Soil Parameters from Piezocone Tests, Transportation Research Record 1235, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C, 1989, pp. 24–37.

[9] Szepesházi, R. et al., ÚT 2-1.222 Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai útügyi műszaki előírás, Magyar Útügyi Társaság, Budapest 2002, 2006.

SUMMARY

SETTLEMENT MEASUREMENT EXPERIENCES ON THE EARTHWORKS OF HUNGARIAN MOTORWAYS

The experiences of recent Hungarian motorway construction projects firmly underline the necessity of more precise forecast of motorway embankment deformations and the monitoring of settlement characteristics. After outlining the findings of international researches regarding the empirical determination of oedometer modulus from in-situ measurements, this article presents linear connections for the determination of the modulus in clay and muddy rock-flour soils. The average values of oedometer modulus (E_{oed}) were back-calculated from the in-situ settlements measurements with the consideration of subsoil conditions and the embankment geometry, which were then compared with the values of the average tip resistance (q_c) measured during the CPTU soundings. The results also justified a modification proposal of the clause of the relevant technical regulation referring to the minimal exploration depth.

KÖZÚTI ÚTHASZNÁLÓI IDŐKÖLTSÉG ÉRTÉKELÉSE

HIGHWAY USER TRAVEL TIME EVALUATION

R. B. COROTIS

JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING VOL. 133., 2007. 12. P. 663–669. Á.-. T:1. H:29.

A megújuló közúthálózaton az utazási idő csökkentése fontos társadalmi előnyt jelent. Az idő költség-értékét felhasználják a költség-hason elemzésekben és a teljes életciklusra vonatkozó gazdasági vizsgálatokban. Hagyományosan az utazási idő értékét a bérköltségek alapján állapították meg, azonban ez napjainkban már nem egyértelműen kedvező. Az idő komplex társadalmi-gazdasági értékeléséből célszerű kiindulni, ami új megközelítést igényel. Az emberek időfelhasználása és az utazási időhöz való viszonyulása az újabb kutatások szerint megváltozott. Az utazási idő mérséklődéséből eredő időnyereséget nem munkára, hanem általában szabadidős tevékenységekre fordítják. Hasonlóképpen az utazási idő növekedése miatt nem a munkára fordított idő csökken, hanem a szabadidő rövidül meg. A munkaidő és az alvásidő közel állandó voltát feltételezve tehát logikusan az utazási időkölség értékének kiszámítása

a szabadidő felhasználás értéke alapján lehetséges. A cikk a számítás kiindulásaként a lakásüzemeltetési és -fenntartási szolgáltatások költségét javasolja, melyek igénybevétele növeli az egyén szabadidejét. Ezen szolgáltatásokra fordított összeg ugyan függ az egyéni jövedelem szintjétől, de a szolgáltatások költségszintjének aránya relatív módon azonos. A szabadidő alapú utazási időérték számítás azért is kedvezőbb, mert a kiinduló adatok szórása kisebb. Az elemzések szerint a különbség a lakásüzemeltetési és -fenntartási szolgáltatások költségszintjében kétszeres, míg a munkajövedelmekben akár tízszeres eltérés is fennállhat. Az utazási idő költségként való figyelembevételekor indokolt a regionális eltérések számításba vétele. A távlati elemzések során célszerű a gazdasági diszkontráta helyett az alacsonyabb társadalmi diszkontráta (fejlett országok esetén évi 1-2%) használata.

G. A.

BEVÁGÁSI RÉZSŰK TARTÓS STABILITÁSA¹

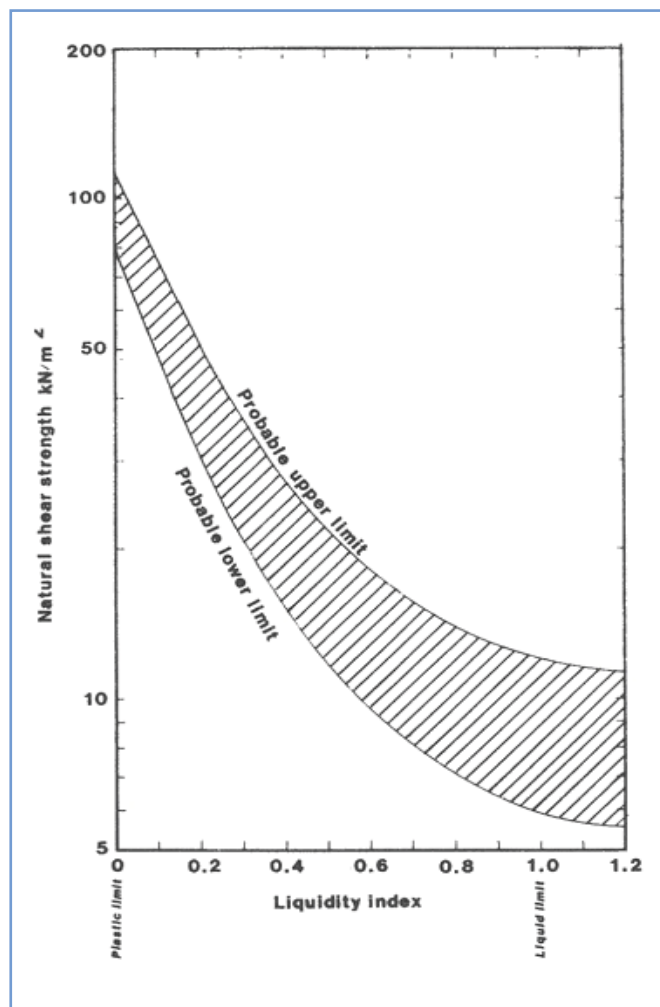
VARGA GABRIELLA² – CZAP ZOLTÁN³ – DR. MAHLER ANDRÁS⁴

1. BEVEZETÉS

Régóta közismert a nemzetközi geotechnikai gyakorlatban, hogy más tervezési-méretezési módszer alkalmazása szükséges a kötött talajokban készülő bevágási rézsűk rövid idejű illetve tartós stabilitásának biztosításához. Sajnos Magyarországon a kettős tervezés alkalmazása nem képezi részét a gyakorlatnak. Tanulmányunkban a kötött talajok rövid és hosszú távon eltérő viselkedésének okaival, a számításba vétel fontosságával és lehetőségeivel szeretnénk foglalkozni.

2. KÖTÖTT TALAJOK NYÍRÓSZILÁRDSÁGÁNAK VÁLTOZÁSA A VÍZTARTALOM FÜGGVÉNYÉBEN

A szakirodalomból jól ismert tény, hogy a kötött talajok (ide értve az iszapot, és a különböző plaszticitású agyagokat) nyírószilárd-

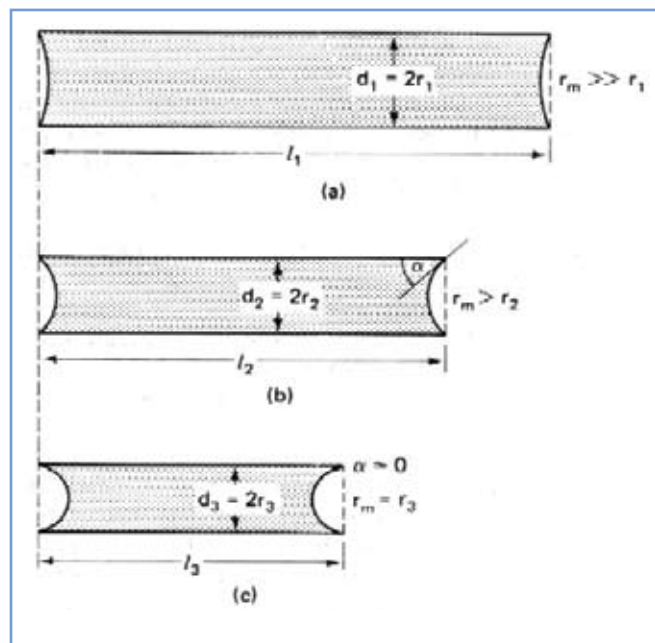


1. ábra: Kötött talajok várható nyírószilárdságának értéke a folyási index függvényében

sága jelentősen függ a víztartalmuktól ([1], 1. ábra). A folyási és a sodrási (plasztikus) határ közötti víztartalom-értékek hatását nem is kívánjuk részletesebben tárgyalni.

3. A SZÍVÁS HATÁSA A NYÍRÓSZILÁRDSÁGRA

A plasztikus határnál kisebb víztartalmak esetén a kötött talajok nyírószilárdságának változását a kapilláris hatásokkal magyarázhatjuk ([10], 2. ábra).



2. ábra: A hajszálcsövek és a meniszkusz változása

Teltettnek tekinthetjük a rugalmas hajszálcsövet nagyon kicsi szívásokkal és nagy meniszkusz sugarakkal (a). Ez a cső egy vízréteg két szemcse között, telített, a plasztikus határon lévő agyagban (a meniszkuszok ekkor csak a talaj határainál léteznek).

Ha az agyag (a cső) száradhat (b), a víztelenítés el fog távolítani egy kevés vizet a csőből, ami abban növeli a szívást, amely csökkenti a cső hosszát és átmérőjét (összehúzza az agyagszemcséket). A meniszkusz sugarai szintén csökkennek, hogy egyensúlyozzák a szívást. Mindazonáltal ekkor a sugár még mindig kisebb, mint a cső sugara.

Állandó szárítással a meniszkusz sugarak és a cső mérete csökkenni fog, mindaddig, amíg a sugarak egyenlők lesznek a cső-sugárral (c). Ez képviseli a maximális szívást, ami fenntartható a csőben, és ekkor éri el az agyag a zsugorodási határát.

Ha a szárítás folytatódik ezen az állapoton is túl, a meniszkusz vissza fog húzódni a csőbe, közben a szívás állandó marad. Az

¹ A cikk megjelent a 2008. szeptember 23-24-i Dr. Kézdi Árpád Emlékkonferencia kiadványában

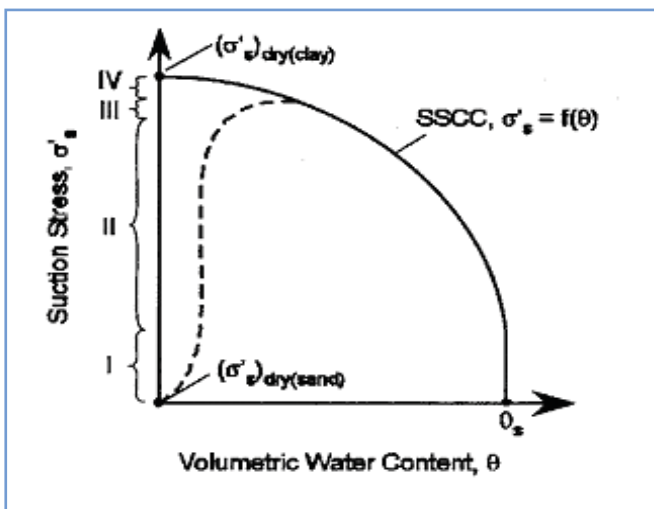
² Okleveles építőmérnök, tanársegéd, BME Geotechnika Tanszék, e-mail: gvarga@mail.bme.hu

³ Okleveles építőmérnök, mestertanár, BME Geotechnika Tanszék, e-mail: zczap@mail.bme.hu

⁴ Okleveles építőmérnök, adjunktus, BME Geotechnika Tanszék, e-mail: mahler@mail.bme.hu

agyag nem fog tovább zsugorodni, de a telítettség tovább csökken, a visszahúzódó meniszkusz levegőt szív be a talajba. Porózus közegeknél ezt nevezik levegőbelépési pontnak (AEV). Ez a folyamat hasonló a szíváshoz, de ezen az úton tovább csökken az anyag telítettsége.

A zsugorodási határon túl szárítva a talajokat, a vízben uralkodó húzófeszültség a szemcsék között nyomóerőt okoz, s ez a nyírószilárdság növelésével jár együtt [3]. A SSCC (szívás–feszültség görbe) létezését és viselkedését alátámasztja az irodalomban nagy számban található sokféle talajtípusra vonatkozó telítetlen nyírószilárdsági adat. A szívás–feszültség görbe (3. ábra) jellemzőit és egy, a meghatározására szolgáló módszert mutat be: [6]. A kísérleti bizonyítékok alapján állítják, hogy a Mohr–Coulomb-törés és a kritikus állapot is jól leírható az SSCC fogalom által.



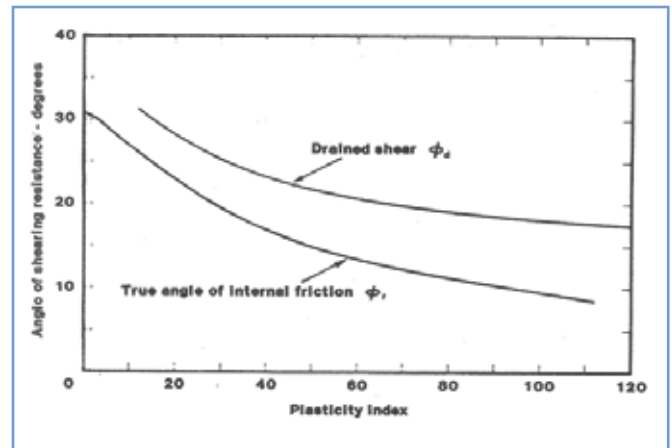
3. ábra: Összefüggés a víztartalom és a hatékony feszültség között

A vízmozgás lehetőségének függvényében a talajok tönkremenetelkor-elnyíródáskor más-más viselkedést mutatnak [3]:

- Zárt rendszer esetében, a kezdetben terheletlen talajból a normál- és a nyírófeszültségek felhordása során a fölös pórusvíz nem tud eltávozni. Ha a talaj vízzel telített, akkor a törést okozó deviátor-feszültség értéke független lesz attól, hogy a talaj milyen nagy hidrosztatikus feszültség alatt állott. A talaj térfogata ekkor csak elenyésző mértékben változik; a talaj úgy viselkedik, mint a tökéletesen képlékeny testek, vagyis a nyírószilárdság értéke konstans, a teljes normál-feszültség értékétől független.
- Nyílt rendszerben a fölös pórusvíz a talajrétegből mindig el tud távozni, így pórusvíznyomás nem lép fel. Agyagok esetén a rendszer csak akkor tekinthető nyíltnak, ha a terhelés nagyon lassan megy végbe, s a konszolidáció a feszültségváltozásokat követni tudja. Hatékony feszültségek esetén normálisan konszolidált agyagoknál a kohézió nulla, ha pedig a talaj előterhelt, túlkonszolidált, annak nagyságától függő kohézió jelentkezik.

Megfelelő kísérlettel (azonos hézagtenyező mellett eltörve egy normálisan és egy túlkonszolidált mintát), meghatározható a valódi (reziduális) súrlódási szög és kohézió értéke. A talajok hatékony, illetve reziduális (valódi) súrlódási szöge a plaszticitásuk (agyagásvány-tartalmuk) függvénye ([1], 4. ábra).

A kötött talajok kohéziója valójában a nyírás alakváltozás közben (amikor a talaj átgyúródik), annak hatására a pórusvízben fellépő szívás eredménye [8]. Drénezetlen nyírásnál, kritikus állapotban, a hatékony feszültség állandó, és a talaj szilárdsága is állandó



4. ábra: Kötött talajok drénezett, illetve reziduális (valódi) súrlódási szöge

marad, mert a kritikus állapotban levő talaj súrlódási szögének értéke folyás alatt nem változik. Átgyúrt puha talajban a kicsi agyagszemcsék és vegyi kötések szívást okoznak. A feszültségek egyensúlya miatt a szívás a pórusokban megegyezik a részecskék közötti pozitív hatékony feszültséggel, ezért az átgyúrt képlékeny agyagban a

$$(\text{látszólagos kohézió}) = (\text{szívás}) * (\text{súrlódás})$$

4. BEVÁGÁSOK STABILITÁSÁNAK IDŐBELI VÁLTOZÁSA

Az előző fejezet szerint tehát a kötött talajok viselkedése lényegesen különbözik a szerint, hogy a víztartalmuk szempontjából zárt, vagy nyílt rendszert alkotnak. A magyar tervezési gyakorlatban sajnos nem alkalmazzák ezt a kettős számítási módszert, amely különösen bevágások méretezésénél lenne igen fontos [9].

Amikor agyagban bevágást készítenek, a pórusvíznyomás bármely pontban részben a talajvízszint helyzetétől függ, de jelentős mértékben a földkiemelés alatt az agyag belsejében bekövetkező feszültségváltozásoktól is. Az idő folyamán mindazonáltal ezek a pórusvíznyomások az agyagon keresztül fokozatosan kiegyenlítődnek, amíg végül mindenhol hidrosztatikus egyensúlyba kerülnek a talajvízzel. Ez az az állapot, amelyet hosszú távú viselkedésként ismerünk, szemben a rövid távú vagy az építés befejezéséskori állapottal.

Minden természetes lejtő a hosszú távú stabilitás állapotában van, de a bevágások esetén több hónap vagy év szükséges ennek eléréséhez; az idő, ami ehhez kell, főleg az agyag áteresztőképességétől függ. Figyelemre méltó, hogy az elnyíródás során a túlkonszolidált agyagok hajlanak az expanzióra, különösen a nyírószilárdsági csúcs elérése után. Más országokban lényegesen nagyobb súlyt fektetnek a tartósságra, pl. [2].

A túlkonszolidált kohéziós talajok nagyon kemények, iszapból és változó plaszticitású agyagból állnak. Ezek a talajok közel függőleges falban is megállnak korlátozott ideig, de a vízszintes feszültségek csökkenése repedések keletkezéséhez vezet, és gyorsan suvadást okozhat. Ezekben a talajokban a rézsüket a reziduális belső súrlódási szögüknek megfelelően kellene tervezni, és 1:4–1:6 dőléssel kialakítani. Kohéziós talajok nyírószilárdsági paramétereit zavartalan talajmintákból, konszolidált, drénezetlen triaxiális kísérlettel, pórusvíznyomás-méréssel lehet meghatározni, ha a tervezett lejtő talaja telített, vagy lehet, hogy a jövőben telítetté válik. Az ezekből a tesztekől nyert hatékony nyírószil-

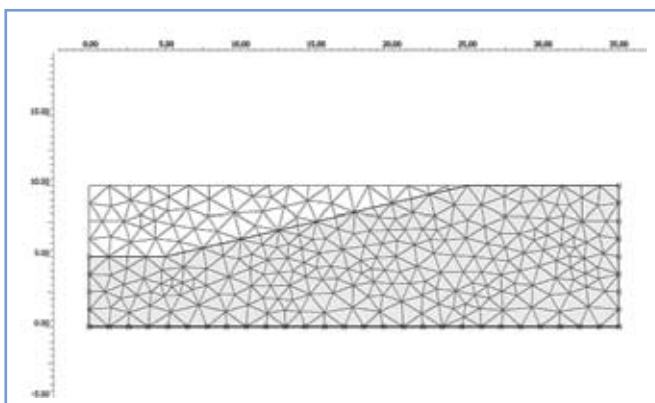
lárdsági paramétereket kell arra használni, hogy megtervezzük a bevágásokat és megvizsgáljuk azok hosszú távú állékonyságát. Konszolidálatlan, drénezetlen (UU) triaxiális kísérleteket vagy közvetlen nyírásokat használhatnak arra, hogy a rövid távú stabilitás elemzéséhez szerezzenek paramétereket, vagy ha elegendő a teljes feszültségek alapján történő tervezés. A szükséges kísérleteket a várható feszültségállapotnak és a becsült törési felületeknek megfelelően lehet elvégezni. Tudni kell, hogy azok a nyírószilárdsági paraméterek, amiket telítetlen kísérletekből szereztek, függenek attól a nedvességtartalomtól, aminél a kísérleteket végrehajtották. Ha a kérdéses talaj nedvességtartalma növekszik a jövőben, különösen, ha telítetté válhat, a nyírószilárdsága jelentősen csökkenhet. Ismételt közvetlen nyírásokat hajthatnak végre, hogy megállapítsák a megmaradt nyírószilárdsági paraméterek értékét suvadásos területeken. Reziduális szilárdsági paraméterek szükségesek bevágások tervezéséhez erősen túlkonszolidált talajoknál, mert a föld egy részének eltávolítása felszabadítja az abba bezárt feszültségeket, és lehetővé teszi az agyag jelentős deformációját.

Külső hatások (növényzet, csapadék, dinamikus hatások, földrengések) lényegesen módosíthatják az állékonyság időbeli változását.

[4]: A szivás csökkenése jelentős destabilizáló tényező, és az ebből származó labilis tömeg volt a forrásanyaga néhány nagyon súlyos hegyomlásnak. A növényzet növeli a felszíni talaj nyírószilárdságát, ami a gyökérmegerősítés miatt kohézióként vehető figyelembe. Ahol a talajvízszint mélyen van, ezek a lejtők lényegében stabilak. Mindazonáltal az esővíz beszívargása ezt a felszíni réteget egy közel telített állapotba hozhatja. Ha a telítettség határa elér egy mélységet ez alatt a gyökérszóna alatt, a veszteség a látszólagos kohézióból azt okozhatja, hogy a lejtő megcsúszik.

[5]: A földcsuszamlással szembeni stabilitás és a megelőző csapadék: lehet, hogy a megelőző csapadék a földcsuszamlással szembeni stabilitásra hat azáltal, hogy a szivást (negatív pórusvíznyomás) megszünteti, a növekvő pozitív pórusvíznyomás azután felgyorsítja a stabilitásvesztést. A megelőző csapadék hatása a földcsuszamlással szembeni ellenállásra szoros kapcsolatban van a lejtő áteresztőképességével és a magasságával.

[7]: A harminc és ötven év közé tehető visszatérési időszakú földrengések gyorsítják ezt a deformációt. Különösen a legerősebbek felelősek a földrengéseket követő földcsuszamlásokért, amit a rezgések hatására bekövetkező pórusvíznyomás-kiegyenlítődés okoz.



5. ábra: Homogén agyag, számítási modell

5. HOMOGEN AGYAGBAN KÉSZÜLT BEVÁGÁS STABILITÁSÁNAK VÉGES ELEMES ANALÍZISE

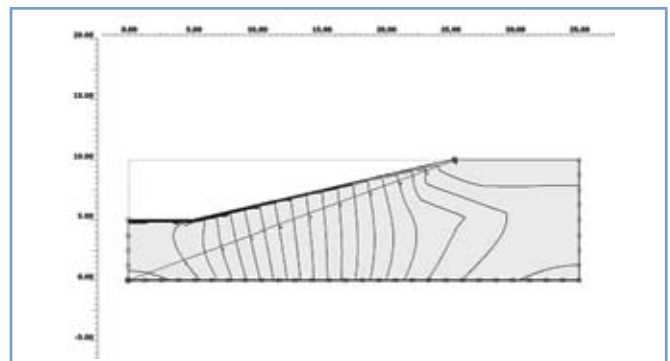
A numerikus modellkísérletekben megvizsgáltuk a zárt és a nyílt rendszerű pórusvíz figyelembevételének következményeit. Néhány esetre meghatároztuk (Plaxis V8.6 programmal) a pórusokban fellépő szivás hatását nyírási teherbírássá alakító valódi súrlódási szög, és a vele egyenértékű, a gyors vizsgálathoz rendelhető kohézió viszonyát.

A modell jellemzői (5. ábra):

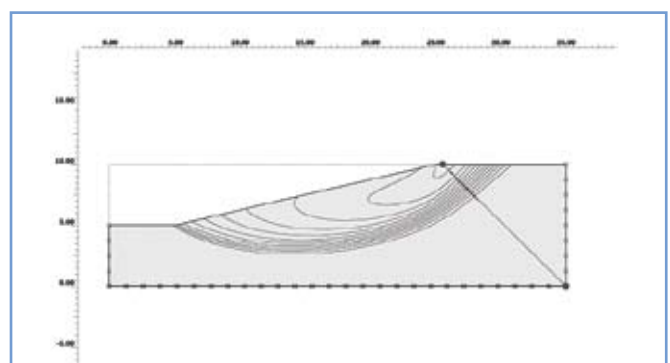
- Geometria:
 - o Rézsúmagasság: $h = 5 \text{ m}$
 - o Rézsúhajlás: 1:4 (14,04°)
- Talajparaméterek:
 - o Térfogatsúly: $\gamma_n = \gamma_t = 21 \text{ kN/m}^3$
 - o Áteresztőképesség: $k = 10^{-9} \text{ m/s} = 8,64 \cdot 10^{-5} \text{ m/nap}$
 - o Poisson tényező: $\nu = 0,35$
 - o Összenyomódási modulus: $E_s = 8 \text{ MPa}$

EREDMÉNYEK

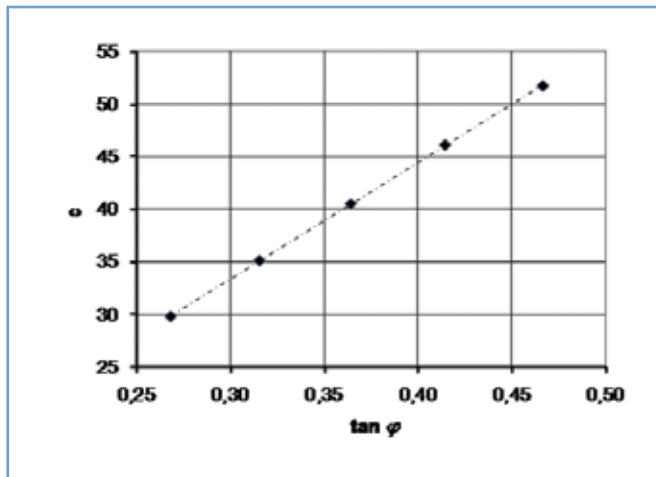
A 15, 17,5, 20, 22,5 és 25 fokos valódi súrlódási szög esetére határoztuk meg a talaj rövid távú biztonságát (zárt rendszer, drénezetlen modell). Ugyanezekre az értékekre kiszámoltuk a hosszú távú biztonságot is (nyílt rendszer, drénezett modell, illetve konszolidációszámítás, szürke mezők), és meghatároztuk a rövid távon azonos biztonságot nyújtó látszólagos kohézió (drénezetlen, gyors nyírószilárdság) értékét (teljes feszültségek, drénezett modell). A szivás (negatív pórusvíznyomás) a földkiemelés hatására esetét a 6. ábra mutatja be. A potenciális törési mechanizmust (zárt rendszer, drénezetlen modell, $\phi=20^\circ$) a 7. ábra szemlélteti. A látszólagos kohézió és a valódi súrlódási szög viszonyát a 8. ábra ábrázolja. A kapcsolat a szög tangense és a kohézió között lineáris.



6. ábra: Homogén talaj. Szivás a földkiemelés hatására



7. ábra: Homogén talaj. Potenciális törési mechanizmus

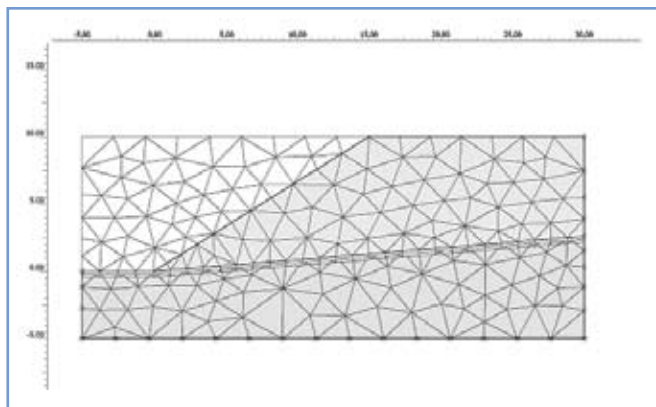


8. ábra: Homogén talaj. A valódi súrlódási szög és a látszólagos kohézió kapcsolata

6. RÉTEGCSÚSZÁS MODELLEZÉSE

Megvizsgáltuk azt az esetet is, amikor egy agyagréteg felett magas súrlódási szögű szemcsés talaj helyezkedik el. A geotechnikai modellt (határfelületi elemeket alkalmazva) a 9. ábra mutatja be.

- Geometriai adatok:
 - o A bevágás mélysége: 10 m
 - o A rézsű hajlása: 6/4 (33,7°)
 - o Az agyagréteg dőlése: 5°
- Talajjellemzők:
 - o Agyag
 - ⊙ Valódi súrlódási szög: 20°
 - o Szemcsés réteg
 - ⊙ Súrlódási szög: 40°
 - ⊙ Térfogatsúly: 18 kN/m³
 - ⊙ Összenyomódási modulus: 40 MPa



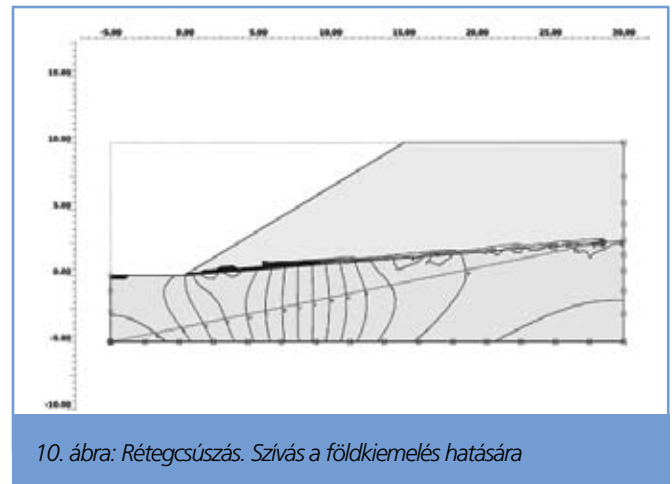
9. ábra: Rétegcúszás, véges elemes modell

A kiemelés hatására kialakuló pórusvízszívásokat a 10. ábra, a hosszú távú potenciális törési mechanizmust a 11. ábra szemlélteti.

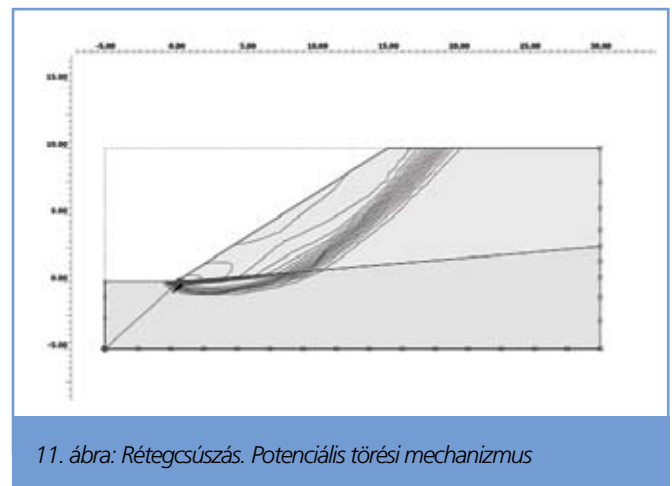
Az eredményül kapott biztonsági tényezők:

- Azonnali: $n=1,48$
- Hosszú távú: $n=1,17$

Az egyenértékű látszólagos kohézió: $c=48,4$ kPa



10. ábra: Rétegcúszás. Szívás a földkiemelés hatására



11. ábra: Rétegcúszás. Potenciális törési mechanizmus

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Kötött talajban épített bevágások esetén igen fontos lenne a rövid idejű és a tartós állapotra is elvégezni az állékonyságvizsgálatokat, ugyanis ez utóbbi esetben a biztonsági tényező lényegesen alacsonyabb lehet. A tartós állapot vizsgálata szükséges közben az agyagréteg felszínén történő tömbsúszások lehetőségénél is. A vizsgálat elmulasztása a bevágás építését követő néhány hónapon-éven belül komoly károsodásokhoz vezethet.

Ezen számítások elvégzéséhez meg kell határozni a kötött talajok valódi súrlódási szögét is, amely művelet nem szerepel a jelenlegi laboratóriumi feldolgozási gyakorlatban. A valódi (reziduális) súrlódási szög, és az előterhelésből (amely túlkonzolidációból és a földkiemelés hatásából származhat) keletkező szívás (negatív pórusvíznyomás) biztosítja a talaj látszólagos kohézióját, konszolidálatlan, gyors nyírószilárdságát. Ezt a nyírószilárdságot növelheti a gyökérzet hatása, de igen gyorsan leépítheti az átázás, vagy a dinamikus hatások.

Túlkonzolidált, alacsony víztartalmú (zsugorodási határ alatti) agyagokban a látszólagos kohézió lényegesen tovább fennmaradhat, mert a telítetlenség miatt a szívás lassabban épül le. Mindazonáltal az a tény, hogy a természetes rézsűk meglehetősen laposak, bizonyítja a fentiek helyességét.

1. táblázat: Eredmények homogén agyagban

Belső súrlódási szög ϕ , °	Kohézió c, kPa	Viselkedés	Biztonsági tényező
15	0,1	drénezetlen	1,91
15	0,1	drénezett	1,22
0	29,8	drénezett	1,91
17,5	0,1	drénezetlen	2,25
17,5	0,1	drénezett	1,41
0	35,1	drénezett	2,25
20	0,1	drénezetlen	2,60
20	0,1	drénezett	1,60
0	40,5	drénezett	2,60
22,5	0,1	drénezetlen	2,95
22,5	0,1	drénezett	1,78
0	46,1	drénezett	2,95
25	0,1	drénezetlen	3,31
25	0,1	drénezett	2,01
0	51,7	drénezett	3,31

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Carter, M., Bentley, S. P. (1991): Correlations of Soil Properties, Pentech Press
 [2] Geotechnical Design Manual, M 46-03; Soil Cut Design; Chapter 10-8; September 2005
 [3] Kézdi Á. (1972): Talajmechanika I. Tankönyvkiadó
 [4] Lacerda, W. A. (2007): Landslide initiation in saprolite and colluvium in southern Brazil: Field and laboratory observations. Geomorphology, Volume 87, Issue 3, 15 June 2007, pp. 104–119.

[5] Lan Hengxing, Zhou Chenghu, C. F. Lee, Wang Sijing & Wu Faquan (2003): Rainfall-induced landslide stability analysis in response to transient pore pressure. Science in China Ser. E Technological Sciences, Vol. 46, Supp. 52 68.

[6] Ning Lu, and William J. Likos (2006): Suction Stress Characteristic Curve for Unsaturated Soil. J. Geotech. and Geoenviron. Engrg., Volume 132, Issue 2, pp. 131–142.

[7] Picarelli, L., Uruioli, G., Mandolini, A., and Ramondini, M. (2006): Softening and instability of natural slopes in highly fissured plastic clay shales, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 529–539.

[8] Schofield, A. N. (1998): The „Mohr–Coulomb“ Error; Technical Report Number 305 of the Cambridge University Engineering Department, Division D Soil Mechanics Group, published on 27 January 1998.

[9] Skempton, A. W.: Long-term stability of clay slopes, Fourth Rankine Lecture, Geotechnique, 14, 77–101.

[10] Water In Soils: <http://www.up.ac.za:80/academic/civil/divisions/geotechnical/pgcourses/sgm782/themes/theme3/objectives3.html>

SUMMARY

DURABLE STABILITY OF CUT SLOPES

The paper is dedicated to the reasons of different short-term and long-term behaviour of cohesive soils, further the necessity and possibilities of the consideration of this phenomenon. The behaviour of cohesive soils depends largely on the fact whether they form a closed or open system regarding their water content. Numerical modelling experiments were performed in order to investigate both closed and open systems. The conclusion shows that in the case of cuttings in cohesive soils the stability analysis should be done for both short and long-term phases. For these calculations the real (residual) angle of friction shall be in any case determined as well, which operation is not (yet) included in the current laboratory practice.

HAJLÉKONY ÚTBURKOLATOK TÚLSÚLYOS JÁRMŰVEK MIATTI LEROMLÁSÁNAK ELEMZÉSE

DETERIORATION ANALYSIS OF FLEXIBLE PAVEMENTS UNDER OVERWEIGHT VEHICLES

J. M. SADEGHI, M. FATHALI

JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING VOL. 133., 2007. 11. PP. 625–633. Á:8. T:8. H:15.

A cikk a túlsúlyos járműveknek a hajlékony útburkolatok működési élettartamára gyakorolt hatásával foglalkozik. A kifejlesztett burkolatleromlási modell alapján kidolgoztak egy bírságszámítási módszert a túlsúlyos járművek számára. Érzékenységvizsgálatokat végeztek, hogy meghatározzák a túlsúlyos járművek hatására bekövetkező burkolatleromlást leginkább befolyásoló paramétereket. Kettő-, három- és öttengelyes járművek áthaladását elemezték. A leromlás mértéke függ az aszfalt rétegvastagságtól, az altalaj CBR-értékétől, a burkolat hőmérsékletétől, a léghőmérséklettől, valamint a járművek sebességétől. Foglalkoztak a teheráthaladások számával és az áthaladó terhelés nagyságával. A hajlékony burkolatok lerom-

lásának elemzéséből számíthatók a túlsúlyos járművek károsító tényezői, melyek a bírság alapját képezik. A bírság megállapításának kiindulópontja a leromlott burkolat felújítási költsége. A javasolt modell gyakorlati alkalmazhatóságát számpélda mutatja be. Iránban jelenleg a túlsúlyos járművek közlekedési bírsága a túlsúllyal egyenesen arányos. A leromlási hatás modellezése szerint ez a lineáris számítás a megengedett súlyhatár 20%-os túllépéséig megfelelő, azonban e felett a károsító hatás exponenciálisan növekszik. A bírságot tehát a jelentősebb túlsúlyok esetén növelni indokolt a modellszámítások eredményei alapján.

G. A.

ÁTERESZTŐKÉPESSÉGI EGYÜTTHATÓ ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA¹

DR. NAGY LÁSZLÓ²

Az áteresztőképesség és a hozzá tartozó fogalmak a talajmechanikában és a vízépítésben jól ismertek, azonban az áteresztőképességi együttható meghatározási módjára nincs általánosan elfogadott módszer. Jelen tanulmányban³ az áteresztőképességi együtthatóval kapcsolatban a gyakorlati ismereteket összefoglalva, a különböző mérési módszerek eredményei közötti eligazodást szeretném elősegíteni.

1. ÁTERESZTŐKÉPESSÉGI EGYÜTTHATÓ

Az áteresztőképességi együttható értéke a talaj összes jellemzője (azonosítási, állapot- és talajfizikai jellemzők) közül a legszélesebb határok között változik, a legpontatlanabbul határozható meg. Értéke több mint tíz nagyságrendnyi változást mutathat különböző talajoknál, de egy adott talaj esetén is nagyságrendnyi változásokat lehet tapasztalni a talaj mindenkor állapotának függvényében (hézagtényező, víztartalom, sűrűség stb.). A tervező a k tényező számértékét a gyakorlatban sok esetben táblázatokból veszi fel, ez az érték azonban a valóságban – különösen kötött talajoknál – akár több nagyságrenddel is eltérhet a valós értéktől. Ebből gyakran adódnak hibás számítások, ami miatt a tervezés irreálissá válhat.

Az áteresztőképességi együttható a szemcsés közegen (talajon) laminárisan áthaladó folyadék (víz) sebessége és a mozgást kiváltó (fenntartó) viszonyított energia-szintkülönbség (dh/dl) közötti lineáris arányosságot feltételező, sebesség dimeziójú mennyiség. A leírt

összefüggést fejezi ki a Darcy-törvény⁴. Homogén (termett) talajban az áteresztőképesség „fő” nagyságrendjét két mennyiség szabja meg:

- a szemcseátmérő és
- a repedezettség (másodlagos pórusok).

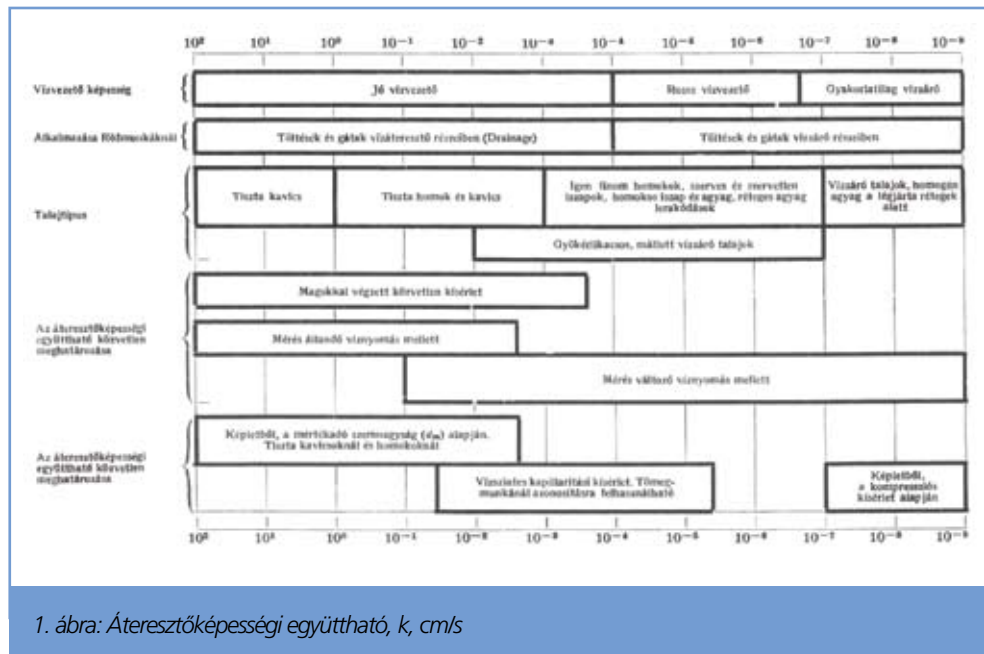
A még felsorolandók sem jelentéktelen hatásúak, ugyanakkor befolyásuk kisebb:

- a szemcsék alakja és irányultsága
- a hézagok mennyisége, kapcsolata
- a szívárgás kezdete előtti víztartalmi, ill. telítettségi viszonyok
- az átáramló folyadék (víz) tulajdonságai
- a hidraulikai körülmények (úm. hidraulikus esés, küszöbgradiens, Reynolds-szám, szívás)
- tranziens jelenségek (szemcsék vándorlása, ki- és bemosódása)

Heterogén (rétegzett) rendszerben a felsoroltakon kívül a k tényező értéke függ

- az egyes rétegektől külön-külön
- ezek esetleges anomáliáitól
- az áramlás irányától, illetve az áramlás irányának a rétegekhez viszonyított helyzetétől

Az áteresztőképességi együttható számértékeit és a javasolt mérési módszert az 1. ábra mutatja Kézdi (1962), ill. Casagrande (1938) alapján.



1. ábra: Áteresztőképességi együttható, k , cm/s

Tömörített rétegben determináló hatása a tömörített réteg anyaga és az aktuális tömörített állapotnak megfelelő homogén hézagtartalom. Hiába vízáróak valamely (mesterséges) agyagréteg egyedi elemei, ha azok rögzítettként alakotnak, s közöttük akadálytalanul mozoghat a víz. Másodlagos hatása lehet az összes eddig említett tényezőnek, főként a klimatikus hatásoknak kitett zónákban. A felszín közelében zsugorodási repedés, fagy okozta lazulás, vagy élőlények (növények, állatok) által kialakított járatok, üregek növelik az áteresztőképességi együttható értékét. Különösen fontosak ezek a repedések az időszakos vízterhelésnek kitett árvízvédelmi gátaknál, ahol kilométereken keresztül lehet-

¹ A cikk megjelent a 2008. szeptember 23-24-i Dr. Kézdi Árpád Emlékkonferencia kiadványában

² Okleveles építőmérnök, egyetemi adjunktus, BME Geotechnika Tanszék e-mail: lacinagy@mail.bme.hu

³ A áteresztőképességi együttható in situ meghatározásának gyakorlati szempontból történő összehasonlítása volt a célja a Vízügyi Alap által támogatott kutatásnak, az Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Központi Szervezetről. Ezen alkalmazott kutatás egy részének rövid összefoglalója a jelen közlemény.

⁴ Megjegyzések: Lamináris (vízszálas) csak a viszonylag lassú mozgás lehet. Ez akkor áll fenn, ha a dh/dl hányados kicsi, vagy ha a k eleve kicsiny, ill. ha a folyadék (erősen) viszkózus. (E három jellemző együttes hatása fejezhető ki az Re Reynolds-számmal.) A viszonyított energia-szintkülönbség: valamely (laminárisan mozgó) „vízrészecskének” a talajban megtett átlagos dl úthosszának és az ezen út két végpontján értelmezhető – vízszlopmagasság különbséggel kifejezett – dh energia-szintkülönbség hányadosaként adható meg. A k értékét – még „homogén” közeg esetén is – számos körülmény és adottság befolyásolhatja, ám mindezeket túl még térben és időben sem szükségszerűen állandó, mert változhat a kolmatáció, a szuffúzió, az esetleges szervesanyagtartalom-változás, továbbá oldódás, porlás (morzsalódás) stb. hatására is.

nek-vannak (zsugorodási) repedések a töltésben (Nagy 1994, 2006, 2007). Ezért nagy jelentőséggel bír a vízvezető járatok, a szivárgó sávok vagy repedések felderítése a vizet tartó földművekben.

Az Eurocode 7: Geotechnikai tervezés (MSZ EN 1997-2) 2. rész Talajfeltárás és talajvizsgálatok szabvány S melléklet S3. pontja kiemeli a telítettség szerepét: a telítettség egyes talajfajták esetében akár három nagyságrenddel is befolyásolhatja az átteresztőképességi együtthatót.

A talajok átteresztőképességi együtthatója tehát elég sok, különböző jellegű tényezőtől függhet. Ezért nem várható, hogy néhány egyszerű mennyiségre alapítva általános érvényű összefüggésekkel (képletekkel, vagy akár grafikonokkal) megadható legyen „*k*” számértéke. Ezen megfontolások alapján a különböző „világ-táblázatok” értékeinek használata nem javasolható. Senki sem garantálhatja, hogy az $I_p=30\%$ azonosítási jellemzővel rendelkező talaj átteresztőképességi együtthatója Kanadában is és Japánban is ugyanakkora legyen.

2. ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATOK KORÁBBI MEGÁLLAPÍTÁSAI

Az átteresztőképességi együttható meghatározásának módszerére magyar szabvány vagy műszaki irányelv nincs. Értéke helyszíni vagy laboratóriumi méréssel illetve közvetett úton számítással határozható meg.

Az átteresztőképességi együttható meghatározásánál Kézdi (1976) előnyben részesíti a laboratóriumi vizsgálatokat, a „*k*” tényező laboratóriumi meghatározása a következő módszerekkel lehetséges:

- állandó víznyomás mellett
- változó víznyomás mellett
- kapilláris átteresztőképességgel
- konszolidációs kísérlettel

A kútból történő szivattyúzást ajánlja Rózsa (1977) az átteresztőképességi együttható meghatározására, a laboratóriumi vizsgálattal szemben: „Az átteresztőképességi együttható szintén azok közé a fizikai jellemzők közé tartozik, amelyek laboratóriumi úton nem határozhatók meg kellő pontossággal. A *k* tényező 10–50-szeres pontossága is sok esetben megfelelő lenne, de a laboratóriumi vizsgálatokkal még ez sem érhető el.”

Az alapozás kézikönyve a helyszíni próbaszivattyúzást részesíti előnyben, nem utalva arra, hogy mit kell tenni talajvízszint feletti rétegekben. Az előzőekkel ellentétben Kovács (1972) könyvében a szemmegoszlási görbe alkalmazását javasolja: „A laboratóriumi és helyszíni vizsgálatoknak ... rövid ismertetése és kritikai értékelése alapján még egyszer hangsúlyozzuk, hogy az átteresztőképességi együttható, ... meghatározására általában a képletekből való számítás javasolható, nemcsak azért, mert ez a legegyszerűbb eljárás, hanem mert megbízhatósága is eléri, sőt a legtöbb esetben meghaladja az egyéb módszerekét. Csak akkor indokolt laboratóriumi vagy terepmérés elvégzése, ha a rétegnek valamilyen különleges települési adottságát kívánjuk jellemezni. Erre csak a zavartalan magminták laboratóriumi vizsgálata, a tökéletesített beszivárogtatási vizsgálatok vagy a több megfigyelőkút alkalmazásával végrehajtott próbaszivattyúzást ajánlható.”

A talajok elég nagy tábora kimarad így az átteresztőképességi együttható vizsgálatából, például azok, amelyek szemmegoszlásának meghatározására nincs megbízható módszerünk. A

fentiek alapján azt a megállapítást lehet tenni, hogy az átteresztőképességi együttható értékének meghatározásában nincs szakmai összhang.

Az Eurocode 7 szabvány mellékletének S3. pontja szerint a vizsgálati eredmények értékelésénél a következő szempontok szerint kell eljárni: „Négy, széles körben használatos módszer van az átteresztőképességi együttható (hidraulikus vezetőképesség) meghatározására:

- terepi vizsgálatok mint a próbaszivattyúzás és a fúrólukban végzett átteresztőképességi vizsgálatok
- a szemmegoszláson alapuló empirikus korrelációk,
- számítás ödométeres vizsgálatból,
- próbatestek laboratóriumi átteresztőképességi vizsgálata.”

Az Eurocode szerint homogén homokban az átteresztőképességi együttható ésszerű pontossággal becsülhető a szemmegoszlással való korrelációk alapján.

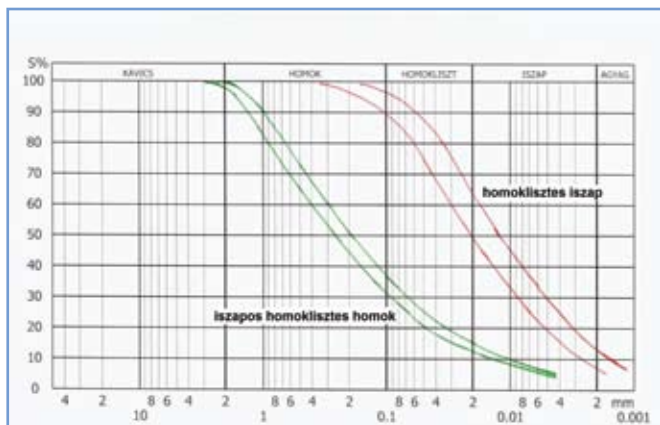
Az utóbbi 15-20 évben, a talajmechanika fejlődése során tendencia a helyszíni vizsgálatok terjedése. Így elkerüljük a többszöri mintakárosodást, aminek egyenes következménye, hogy az eredmények jobban tükrözik a helyi viszonyokat. Nemzetközileg elfogadott, hogy a helyszíni vizsgálatok pontosabb, a helyszínnek megfelelő értéket adnak. Felmerül a kérdés, hogy igaz-e ez a megállapítás az átteresztőképességi együttható meghatározására is?

3. A VIZSGÁLAT CÉLJA

Az irodalmi áttekintés alapján talán az a legfontosabb megállapítható eredmény, hogy nincs univerzálisan alkalmazható módszer, minden az átteresztőképességi együttható meghatározására használt módszernek megvan az érvényességi tartománya. A feladat ezen határok feltárása, megismerése azért, hogy a vizsgálatok célirányosan tervezhetők legyenek.

Átmeneti és finomszemcsés ásványos talajok átteresztőképességi együtthatójának meghatározására törekedtünk (finomhomoktól a homokliszten, iszapos homokliszten keresztül az iszapig). Kötött talajok „*k*” tényezőjének meghatározása külön problémakör, a pontos érték mérése első-sorban környezetvédelmi problémáknál (műszaki védelem vizsgálatánál) és a gátaknál fontos. A vizsgálat-sorozat végrehajtásánál a következő peremfeltételeket tételeztük fel a munka végrehajthatósága érdekében (Nagy 1993):

- Azokat a módszereket alkalmaztuk, melyek érvényességi tartománya a vizsgált talajféleségekre elvileg megfelelnek (nem foglalkozunk például a Luegon-vizsgálattal, a piezométeres átteresztőképességi együttható meghatározásával vagy az ödométeres kísérletből meghatározható átteresztőképességi együtthatóval).
- A vizsgálatoknál homogén izotróp rétegek voltak. A rétegek keletkezésekor a durvább és finomabb szemcsék periodikusan is leülepedhetnek (Galli, 1968), a látszólag homogén réteg is vízzáróbb és vízvezetőbb lencsék szövevényéből állhat.
- Nem tárgyaljuk réteghatáron kialakult szivárgási anomáliák lehetőségét.
- Figyelmen kívül hagytuk a felszín közeli, helyenként 0,6–0,8 m vastag talajrétegnek az atmoszferikus hatások és az emberi beavatkozás miatt megnövekedett vízvezető képességét.
- A vizsgálatokat olyan szakcég végezte, amelynek az adott műszer a tulajdonában volt.
- Az átteresztőképességi együtthatót a rétegek nagy részé-



2. ábra: Szemeloszlási vizsgálatok eredménye az 54+260 szelvényben

nél kevés számú vizsgálat alapján, viszonylag kisméretű talajmintán határozzák meg. A kapott értéket azonban helytelen lenne az egy-két vizsgált mintával reprezentált réteg teljes terjedelmére általánosítani.

4. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A finomszemcsés és átmeneti talajok áteresztőképességi együtthatójának mérése a helyszínen a következő módszerekkel történ:

- Menard-szonda alkalmazásával¹ függőleges fúrólukban vízszintes irányú áteresztőképességet lehet meghatározni. A talajba történő sugár irányú vízbehatolást egyrészt pakkerek, másrészt a mérőréz alatti és feletti vízbesajtolás teszi lehetővé.
- Khafagi-szondával² a talajba lejutatott szivárogtatófejen keresztül történő víznyelési módszer a Khafagi-féle áteresztőképességi együttható meghatározása. Az alkalmazott szivárogtatófej és kalibrált tartály méretének meghatározása a talajadottságok figyelembevételével történik.
- Szivattyúzás vagy víznyelés a talajvízállás függvényében egy illetve több furat kialakításával is történhet. A furatok elrendezését és méretét a talajadottságok figyelembevételével kell meghatározni. Jelentős hibaforrás lehet, ha a bélésű nem illeszkedik a furat talpához, ilyenkor nem csak a talpon szivárog be a talajba a víz, hanem meghatározhatatlan hosszúságú köpenyen át is.

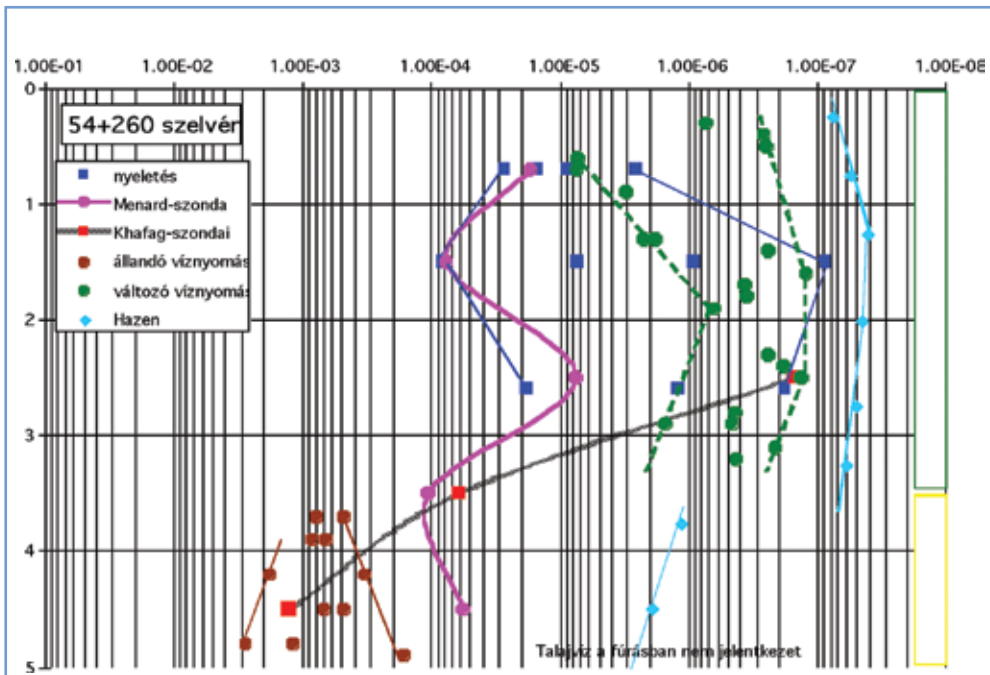
A laboratóriumi méréseknél az áteresztőképességi együttható függvényében alkalmazhatunk állandó és változó víznyomású készüléket.

A helyszíni mérések összehasonlítására, ellenőrzésére az áteresztőképességi együttható értékét közvetett módszerekkel (valamilyen más mért adatból, rendszerint a szemeloszlási görbe adataiból) is meghatároztuk. A közvetett módszereknél az alkalmazandó összefüggés módját különböző kutatók eltérő módon határozták meg (Nagy 2008a), a képleteket részben különböző állapotjelzőkkel is kombinálták. A módszerek közös jellemzője, hogy szerepel bennük a szemeloszlási görbe meghatározása, rendszerint a tíz tömegszázalékhoz tartozó szemcseátmérő (d_{10}) és ez az érték többnyire a második hatványon (Nagy 2008a). Jelen közleményben összehasonlításként a Hazen (1895) képlettel számolt eredményeket mutatjuk be a 3. ábrán, Lambe, Whitman (1969) kiterjesztése alapján.

5. VIZSGÁLATI HELYEK

A vizsgálatok öt helyen történtek, melyek közül jelen közleményben csak a Ráckeve közelébe eső, a Duna bal parti gátjának 54+260 szelvényben tapasztaltak szerepelnek. Az árvízvédelmi töltés lábától 10 méterre a mentett oldalon készültek a vizsgálatok. A feltáró fúrás alapján a következő rétegsor volt azonosítható:

- 0,0–3,4 m között sárga, sárgásszürke homoklisztes iszap, a réteg víztartalma alacsony ($7\% < w < 14\%$), nedves térfogatsűrűsége $\rho_n = 1,86 \text{ g/cm}^3$ körüli, a réteg viszonylag tömör. A szemeloszlási görbe szerint iszapfrakció 49–63%, homokliszt 32–43%. Az egyenlőtlenségi mutató értéke $U = 8,6–12,3$ (2. ábra).
- 3,4–5,0 m között szürke iszapos, homoklisztes homok, a jól gradált réteg víztartalma átlagosan 20%-nak vehető, nedves térfogatsűrűsége $\rho_n = 1,76 \text{ g/cm}^3$. Ez a réteg a felette lévőnél jóval lazábbnak mondható. A szemeloszlási vizsgálat alapján a homokfrakció aránya 63–68%, a homokliszté 21–22% és az iszapé 13–16% (2. ábra). Az egyenlőtlenségi mutató értéke $U = 30–33$.

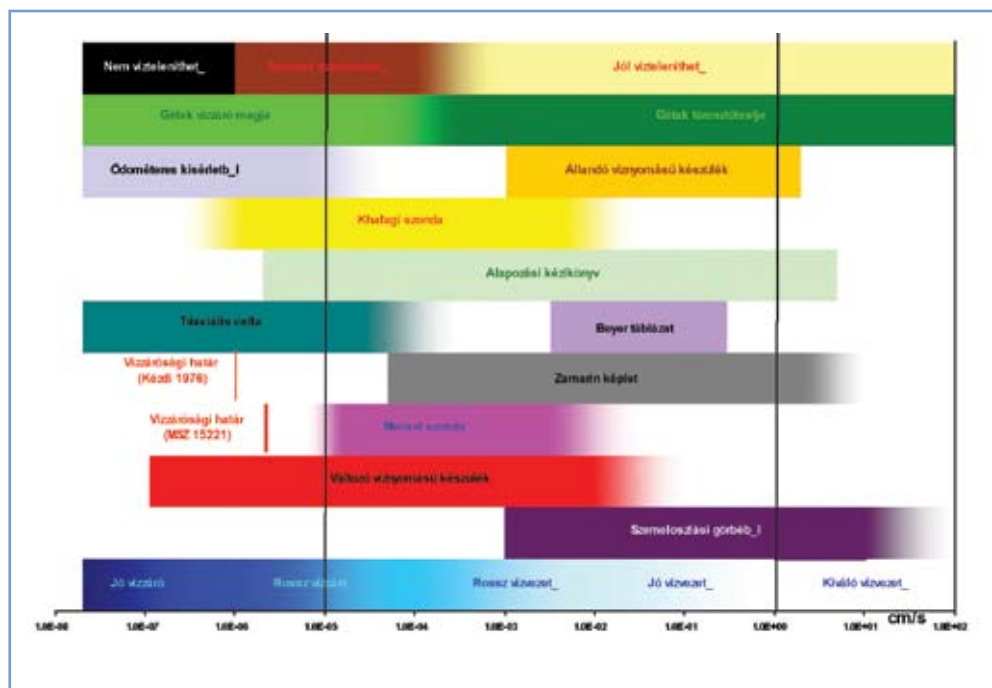


3. ábra: Áteresztőképességi együttható (k , m/s) az 54+260 szelvényben

¹ A vizsgálatot az Ybl Miklós Műszaki Főiskola Budapesti Területi Egysége végezte.

² A mérést az Árvízvédelmi és Belvízvédelmi Központi Szervezet (ÁBKSZ) Létesítmény Ellenőrzési Osztálya Talajmechanikai Laboratóriuma végezte.

³ A számítást a módszerek érvényességi tartományán belül kell végrehajtani. (Nagy 2008a)



4. ábra: A talajok vízvezető tulajdonságai és az átteresztőképességi együttható meghatározásának tartományai

6. A MÉRÉSI MÓDSZEREK ÖSSZEHOSONLÍTÁSA A MÉRT EREDMÉNYEK ALAPJÁN

Jelen közleményben a különböző mérési módszerek gyakorlati szempontból történő összehasonlítása, a módszerek alkalmazhatóságának meghatározására kerül sor. A különböző helyszíni és laboratóriumi mérési módszerekkel meghatározott átteresztőképességi együtthatókat az 54+260 szelvényben a 3. ábra mutatja. A különböző méréseknek a többi módszerhez való arányosulásával kapcsolatban a rövid összehasonlító megállapítások a következők lehetnek:

- A mérési eredmények nagy része azonosította a réteghatár két oldalán a talajváltást.
- Az eredmények a vártnál jóval nagyobb mértékben szórnak, úgy tűnik, hogy az eltérések a mérési módszerből következő szabályos jellegű hibák.
- Feltételezhető, hogy mindegyik módszernek van egy nagyságrend relatív hibája, a felszín közeli mintából történő vizsgálatokat nem számítva.
- Különösen nagy a víznyelés hibája: az 1,7 méteres mélységben három nagyságrend volt, 2,6 méteren csak kettő. Valószínűleg könnyű rosszul mérni ezzel a módszerrel. A nagy szórás miatt ezzel a vizsgálattal a későbbiekben nem foglalkoztunk.
- A változó víznyomással végzett vizsgálat érvényességi határa az alsó rétegre már nem terjedt ki, a víz átfutott rajta, így az alsó réteget állandó víznyomású készülékkel kellett vizsgálni.
- Bármilyen talaj volt, a Menard-szondás mérések rendszerint $k = 10^{-4}$ – 10^{-5} m/s értékek között változtak. A Menard-szonda nem volt érzékeny a talaj változására. A továbbiakban ezzel a vizsgálattal nem foglalkoztunk.
- Az 54+260 szelvényben végzett vizsgálatok azt mutatják, hogy tendenciájában megegyezik a laboratóriumi vizsgálat, a Khafagi-szonda és a szemeloszlási görbe által számolt k tényező eredménye. Mindhárom vizsgálat érezte az átteresztőképességi együttható növekedését 3,4 méter mélyen.
- A szemeloszlási görbéből számolt átteresztőképességi együttható az összes vizsgált talajnál alulbecsülte a helyszíni és laboratóriumi vizsgálat eredményét.

- Az 54+260 szelvényben és más helyen végzett vizsgálatok azt mutatták, hogy rutinszerű vizsgálatokhoz a sajtolással (vagy verőszondával) lejtett Khafagi-szondát célszerű használni. Előnye a következőkben voltak megfogalmazhatók: mind talajvíz alatt, mind talajvíz felett használható, bármilyen szondával lejtethető, egyszerű szerkezet, viszonylag alacsony a mérési költség, nem bonyolult mérési és kiértékelési módszer, viszonylag gyors mérés, talajhoz igazítható mérőhossz, a mérési eredményben a vízszintes és a függőleges átteresztőképességi együttható együttesen szerepel.

Természetesen a fenti vizsgálatok alapján még mindig nem tudjuk, hogy mennyi a vizsgálati helyszínen az átteresztőképességi együttható értéke, azonban azt érzékeljük, hogy olyan problémával állunk szemben, melynek a vizsgálata és magyarázata további erőfeszítéseket igényel a talajmechanikában.

7. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A különböző vizsgálatok alapján felállított elméletek megoldást adnak arra, hogy milyen módon kell például a szemeloszlási görbe alapján számítással meghatározni az átteresztőképességi együtthatót, vagy hogyan kell a Khafagi-szonda vagy Menard-szonda eredményeit értékelni, de még mindig kételkedhetünk abban, hogy a meghatározott értékek megfelelőek-e, a mérések leképezik-e a természetet, a természetben lejátszódó szivárgást jellemző k értéket? Ennek megismeréséhez az átteresztőképességi együttható helyszíni mérését, talajmechanikai feltárást és azonosító vizsgálatokat végeztünk.

A k tényező mérésének pontosítása azért szükséges, mert a számítások, feldolgozások, geometriai méretek stb. relatív hibája nagyságrenddel kisebb, mint amit az átteresztőképességi együtthatóra meghatározhatunk. A bizonytalan méretezésből ugyanis egyszer indokolatlan túlméretezés, másszor feleslegesen nagy veszély vállalása következik. Ennek elkerülésére nagy jelentősége van a valódi k tényező ismeretének. Az átteresztőképességi együttható in situ meghatározására hazánkban több módszer is használatos. A különböző módszerek eredményeinek gyakorlati szempontból történő összehasonlítása volt a vizsgálat és jelen közlemény célja. A mérési eredmények és irodalmi feldolgozás alapján az egyes mérések és számítási módszerek érvényességi tartományát a 4. ábra mutatja. Ugyanitt mutatjuk be a talajok csoportosítását egyes műszaki beavatkozásokhoz, a vízátteresztő képesség szerint.

A vizsgálatok alapján három fontos eredmény állapítható meg:

- Nincs univerzálisan alkalmazható módszer, minden az átteresztőképességi együttható meghatározására használt módszernek megvan az érvényességi tartománya. Ez az elv

érvényesült az 1993. évi kutatás után 1999-ben kiadott MSZ 15 295-ben.

- Egy furatban, ha nincs lényeges eltérés a rétegek átteresztőképességi együtthatója között, akkor nem célszerű eltérő mérési módszert alkalmazni, egy rétegen belül pedig nem szabad a különböző mélységekben eltérő mérési módszert alkalmazni, mert a módszerváltás nagyobb eltérést jelenthet a mért értékben, mint amekkora a talajban van.
- Az átteresztőképességi együttható vizsgálatánál a fentiek alapján törekedni kell arra, hogy értékét $\pm 20\text{--}30\%$ -os pontossággal meg lehessen határozni.

A mérési eredmények értékelésénél szem előtt kell tartani, hogy nincs tökéletes mérés, minden mérési módszernek van hibája, mindegyiknél valamilyen módon károsodik a mért érték. A helyszíni méréseknél a talaj szerkezetét a fúrás (vagy a szonda lesajtolása) teheti tönkre. A fúrásnál folyós homokban vagy homoklisztben a vízrátöltést tiszta vízzel mindenkor alkalmazni kell, a fúrót pedig olyan lassan kell kihúzni, hogy a kihúzáskor fellépő dugattyúhatás miatt a talaj ne törjön be a fúrólukba. Kisátmérőjű zavartalan mintán történő laboratóriumi mérésnél a vizsgálat során veszélyes hibaforrás a csorbult mintavető hengerrel való mintavétel, ekkor a palást mentén átfolyó vizet mérjük.

A mérési eredmények értékelésénél arra kell figyelemmel lenni, hogy a mérés hibája milyen irányba befolyásolja a végeredményt. A kicsorbult mintavető miatt nagyobb átteresztőképességet, a szonda által tömörített talaj miatt kisebbet fogunk mérni.

A talajban a vízáramlás pontos leírására közelítéseket, becsléseket, bonyolult anyagmodelleket és feltételezett talajszerkezetet kell használnunk. Azonban ezzel egy olyan sokdimenziós, egymástól többszörösen függő viselkedési mátrixot kellene alkalmazni, ami jelenleg megoldhatatlan, a gyakorlati életben használhatatlan. Ezért közelítésekre, elhanyagolásokra és egyszerűsítésekre kell hagyatkozni. A szivárgás így megoldható lesz azzal a hibával, hogy nem feltétlen lesz valóságos az alapadat, az átteresztőképességi együttható értéke.

Nem mondhatjuk azt, hogy ennyi vagy annyi a talaj átteresztőképességi együtthatója, legfeljebb annyit mondhatunk, hogy ezzel vagy azzal a méréssel ilyen vagy olyan eredményt kapunk. De még akkor is figyelembe kell venni a talajminta roncsolódását, a módszer hibáit stb.

A vizsgálati eredmények arra hívják fel a figyelmet, hogy akinek egy mérési eredménye van, az bátran méretez. Akinek két mérési eredménye van, az kételkedik, és akinek sok mérési eredménye van, az bizonytalanná válik és utána néz a dolgoknak. A legrosszabb következtetés levonása minden esetre a szélsőséges értéket választani a méretezés kiinduló adatául. Meg kell vizsgálni azt, hogy milyen módszerrel készült az eredmény, és milyen az eredmény eloszlása. Jelen munkával az átteresztőképességi együttható bizonytalanságaira szerettem volna rámutatni.

Úgy gondolom, hogy a fenti mérési eredmények bemutatása is segít a megfelelő vizsgálati eljárás kiválasztásában. A fentiekből leszűrhető legrosszabb következtetés az, hogy az átteresztőképességi együttható értéke bizonytalan, így nem is kell meghatározni. Fennáll azonban a veszélye annak is, a másik oldalról, hogy a legjobb módszer is értéktelen a hozzá nem értő kezében.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Casagrande, A. (1938): Seepage through dams, J.N. Engl. Water Works Association, L1(2), pp. 131–172.
- [2] Eurocode 7: Geotechnikai tervezés (MSZ EN 1997-2) 2. rész Talajfeltárás és talajvizsgálatok
- [3] Galli L. (1968): Árvízvédelmi töltések tervezése, Vízterv tervezési segédletek, 11. kötet, Vízügyi Tervező Vállalat
- [4] Hazen, A. (1895): The filtration of public water-supplies, New York
- [5] Kézdi Á. (1976): Talajmechanikai praktikum, Tankönyvkiadó, Budapest
- [6] Kézdi, Á. (1962, 1976): Talajmechanika, Tankönyvkiadó, Budapest
- [7] Kovács, Gy. (1972): Szivárgás hidraulikája, Akadémiai Kiadó, Budapest
- [8] MSZ 15 295:1999, Árvízvédelmi töltések talajának és építési anyagának vizsgálata
- [9] Nagy L. (1992): In situ „k” tényező mérési módszerének kiválasztása. Vízügyi Alap terhére végzett alkalmazott kutatás, Kézirat
- [10] Nagy L. (2000): Az árvízvédelmi gátak geotechnikai problémái. Vízügyi Közlemények, LXXXII. évf., 1. füzet, pp. 121–146.
- [11] Nagy L. (2004): Töltésrepedések. Az „Árvízvédelem a gyakorlatban” c. könyvben. (Nagy L., Szilávik L. szerk.), KTVM Vízügyi Hivatala, pp. 112–124, Budapest
- [12] Nagy L. (2006): Árvízvédelmi földművek száradási repedése. Mélyépítő Tükörkép Magazin, pp. 12–13, február
- [13] Nagy L. (2007): Védekezés az árvízvédelmi gátak suvadás ellen. Innova-Print Kft. Nyomda, ISBN 978-963-87073-9-0.
- [14] Nagy L. (2008a): Finomszemcsés talajok átteresztőképessége, Közúti és Mélyépítési Szemle, 58. évf. 5-6. szám, pp. 33–40.
- [15] Nagy L. (2008b): Jól graduált talajok átteresztőképességi együtthatója, Közúti és Mélyépítési Szemle, 58. évf. 8. szám, pp. 23–29.
- [16] Rózsa L. szerk (1977): Az alapozás kézikönyve, Műszaki Kiadó

SUMMARY

COMPARISON OF DIFFERENT MEASURES OF PERMEABILITY COEFFICIENT

Problem of seepage flow through porous media and around impermeable boundaries are frequently encountered in the design of engineering structures. The coefficient of permeability can be determined by several in-situ and laboratory testing methods, as well as using empirical correlation. These measurements and calculations show several uncertainties. In the article six different methods for the determination of permeability coefficient were compared.

RENDKÍVÜLI TÖMÖRSÉGŰ HOMOK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA¹

SOOS PÁL²

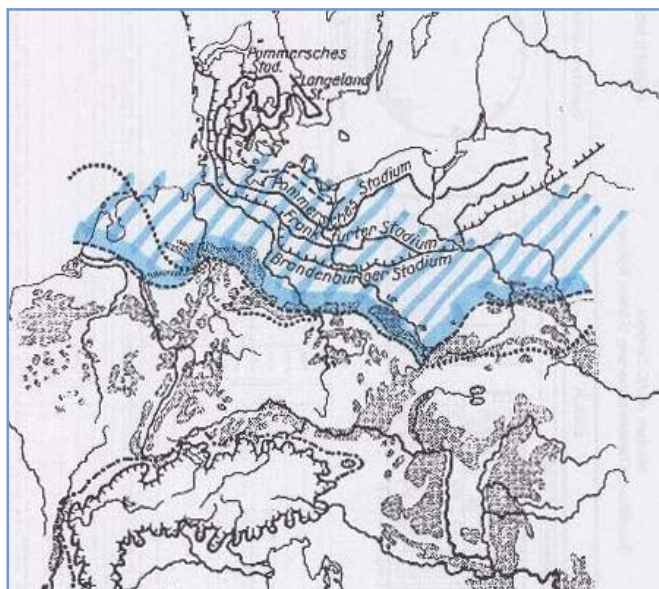
1. BEVEZETÉS

Rendkívül tömör, azonos szemcseátmérőjű, finom szemcsét nem tartalmazó homokból, húsz-harminc méter mélységben a talajvíz szintje alatt, mindmáig alig tudtunk zavartalan mintát laboratóriumi vizsgálatok igényeit kielégítően kivenni. Az alábbi beszámoló tárgya az ilyen homok vizsgálatára használt módszerek ismertetése. A vizsgálatok egy nagyobb építkezés peremén felmerült, egyszeri műszaki kérdésekkel kapcsolatban folytak. Jóllehet nem képezték egy előre tervezett kutatómunka tárgyát, mégis több figyelemre méltó eredményhez vezettek.

2. MIÉRT VOLT SZÜKSÉG A TÖMÖR HOMOK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATÁRA?

A fent jelzett nehézségek miatt az építési gyakorlatban a mélyen fekvő homokok szilárdsági és alakváltozási tulajdonságainak megítélésére közvetett módszereket szoktunk használni, amikor korrelatív összefüggések alapján statikus vagy vert szondázás eredményeit értelmezzük. Ezek az összefüggések általában kísérleti aknában folytatott kutatások eredményei.

A statikus szonda csúcscellenállása és az Ohde szerinti összenyomódási együttható (ν) közötti, valamint a vert szonda ütőszáma és a belső súrlódási szög (ϕ) közötti összefüggéseket a német DIN 4094 és az EN 1997-2 függeléke ismerteti. Ezek az összefüggések azonos szemcséjű finomhomokra érvényesek, mégpedig statikus szondánál $q_c = 5$ és 28 MPa csúcscellenállás, vert szondánál



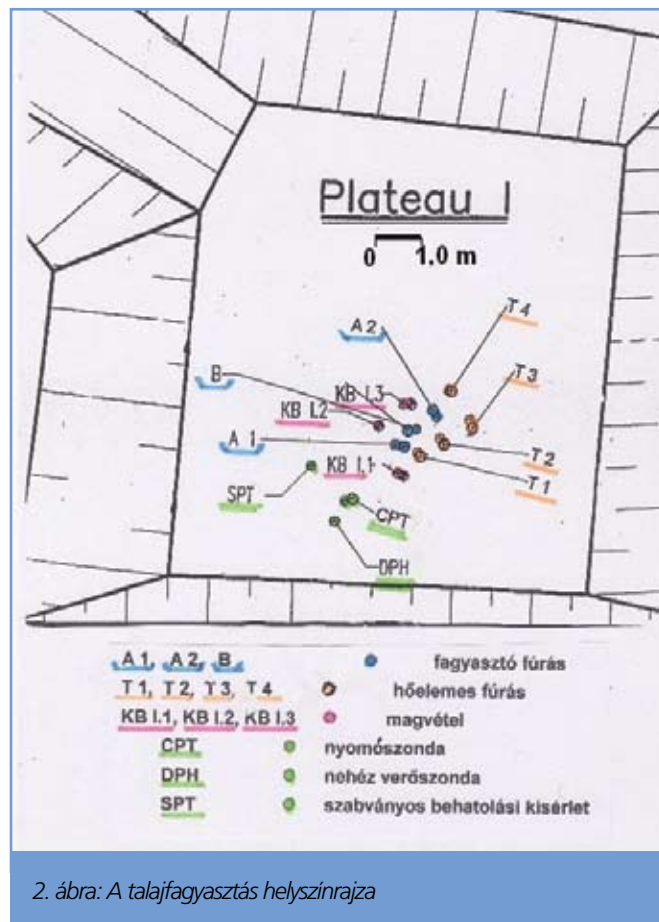
1. ábra: Eljegesedési területek Németországban

N_{10} ill. $N_{30} = 5$ és legfeljebb 50 ütőszám között. Ez a tartomány a mindennapi igényeket ki is elégíti.

A századforduló idején Németországnak az északi eljegesedés alá eső részén (1. ábra) az ott fekvő negyedkori homokos üledékekben szondázásnál ettől eltérően több helyen rendkívül magas, az összefüggések felső határát messze túlhaladó ellenállást észleltek. Kétséges volt, vajon szabad-e a regressziókat, ahol a talajmechanikai jellemzők a szondaellenállás logaritmusával arányosak, az eddig ismert törvényszerűség szerint extrapolálni.

3. ZAVARTALAN MINTAVÉTEL A TÖMÖR HOMOKBÓL

A regressziók bizonytalansága arra ösztönözte, hogy minden kétséget mellőzve keressünk módot zavartalan, laboratóriumi vizsgálatra felhasználható talajminta vételére. Ezt segítené, ha sikerülne a homokszemcséket ideiglenesen egymáshoz kötni a nélkül, hogy ez a szemcsék szerkezetét megzavarná.



2. ábra: A talajfagyasztás helyszínrajza

¹ A 2008. szeptember 23-24-i Dr. Kézdi Árpád Emlékkonferencián elhangzott előadás szerkesztett változata

² Okleveles mérnök, München

A víz alatt álló talaj fagyasztása tűnt erre a legalkalmasabb módszernek. Mivel a homok finom (20 μm -nál kisebb) szemcsét nem tartalmazott, a fagyasztásnál jégencseképződéssel nem kellett számolni. Aránylag kis térfogat fagyasztásáról lévén szó, folyékony nitrogén alkalmazását választottuk. A folyékony nitrogén $-196\text{ }^\circ\text{C}$ -on forr. A talaj ilyen mély hőmérséklet hatására a fagyasztólyukak közelében igen gyorsan, sokkszerűen megfagy. Mivel a víz a fagyásnál kitágul (a jég sűrűsége kb. 9%-kal kisebb, mint a vízé), a hirtelen megfagyó pórusvíz feltöri a szemcsék vázszerkezetét. Ez a hézagterefogat nem egyenletes eloszlása esetén a szerkezet roncsolásával is együtt jár. A fagyasztólyukak közelében (2. ábra) ezért nem volt szabad mintát venni. A fagyasztás tengelyétől nagyobb távolságban, ahol a nullizoterma már csak lassan halad előre, a jéggé fagyó víz a fagyásnál keletkező térfogattöbbletnek megfelelő pórusvizet pórusvíztúlnyomást keltve maga előtt tolja.

Az így keltett fölös pórusvíznyomás a hatékony feszültségeknek csak kis részét emészt fel, a homok vázszerkezete nem változik észlelhető mértékben. Ez az előfeltétel a fagyasztólyukak tengelyétől nem messze, már 0,7-0,8 m távolságban biztosítva van. Mielőtt a hőelemek a vizsgálandó homokréteg szintjén -15 és $-25\text{ }^\circ\text{C}$ közötti hőmérsékletet mutattak, a jelzett helyeken 95 mm-es magot fúrtunk, a fúráshoz melegített vízöblítést használva. A magmintavétel után a fagyott talaj közelében vert, CPT- és statikus szondázást végeztünk. A vizsgálatra kiválasztott magrészeket fagyasztóládában, $-20\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten szállították a vizsgáló intézetekbe. A vizsgálandó magmintáknál a statikus szonda csúcsnyomása

- nagyon magas: $q_c = 55\text{--}65\text{ MPa}$
 - közepesen magas: $q_c = 40\text{--}47\text{ MPa}$
 - kevésbé magas: $q_c = 34\text{--}38\text{ MPa}$
- között változott.

A vizsgálatokat két egyetemi kutatóintézet végezte:

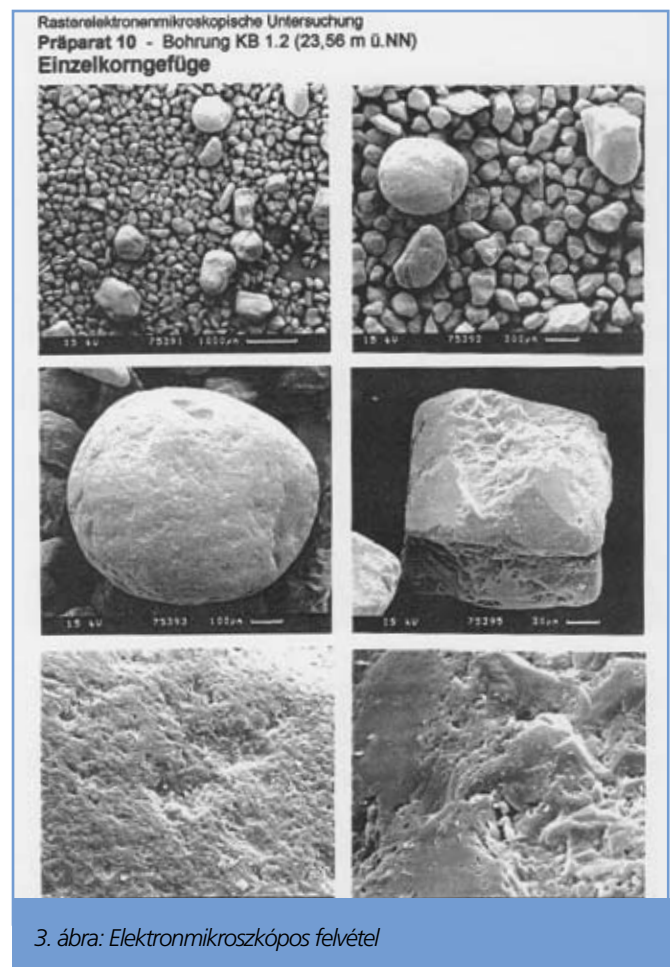
- a homok szilárd vázának szerkezeti tulajdonságait a Kieli Egyetem Földtani Intézetében a Feeser professzor vezetése alatt álló Üledékmechanikai Laboratórium, és
- a talajmechanikai jellemzőket a Blümel professzor irányítása alatt álló Talajmechanikai Laboratórium, a Hannoveri Egyetem Alapozási, Talajmechanikai és Vízépítési Intézetében.

4. A HOMOK SZERKEZETI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

Az első tisztázandó kérdés az volt, hogy a szondaellenállás rendkívül magas értékeihez a szemcsék esetleges cementálódása is hozzájárul-e? Ennek tisztázására a fúrt magokból tipikus szemcsemintákat morzsoltak, a szemcséket megszáritották és különböző nagyítású pásztázó elektronmikroszkóp-felvételt készítettek róluk (3. ábra). A fénymikroszkóppal szemben ennek a nagyítási technikának előnye a képek térbeli látását alátámasztó rendkívüli mélységélessége. A fényképek tanúsága szerint

- a főleg kvarcból álló szemcsék felületén idegen burkolatnak vagy ásványi cementnek semmiféle nyoma sincs. A szemcsék felületi sűrűdésen kívül soha nem is voltak összekötve;
- a nagyobb szemcsék a kisebbekkel szemben tömörebbek, felszínük simább, élük inkább legömbölyödötték. Így a finomabb szemcséktől magasabb sűrűdési ellenállást várhatunk, mint a nagyobbaktól.

A szemcsék szerkezetének vizsgálatára a fúrt magokban lévő fagyott pórusvizet szobahőmérsékleten megszilárduló műgyantával kellett helyettesíteni. Ezt a Becker és Feeser által 1995-ben leírt módszer szerint két lépésben valósították meg. A felolvadó pórusvizet először poláris oldószerrel helyettesítették, ezt az-



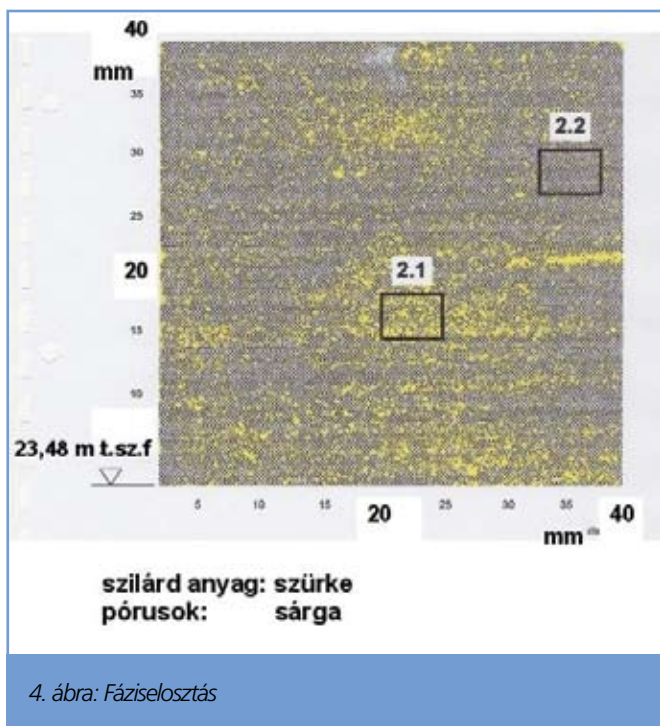
3. ábra: Elektronmikroszkópos felvétel

után vákuum alatt fokozatosan műgyantára cserélték át. Hogy a műveletek nem zavarták meg a szemcsék vázszerkezetét, azt a kvarc szemcsék között vékony rétegekben lerakódott nehézásványok zavartalan elhelyezkedésén lehetett ellenőrizni.

Az ily módon előkészített mintadarab mindegyikén, a fúrt magok tengelyével párhuzamosan, finomra csiszolt vizsgálati felületet alakítottak ki. Polarizációs mikroszkópon világosan látni lehetett a sárgára festett hézagöltő műgyanta eloszlását (4. ábra). A hézagok inhomogén módon töltötték ki a felületet és azt többé-kevésbé anizotróp formában. A fénykép így a szemcsék és a hézagok elterjedéséről, a rétegződés intenzitásáról és irányáról igen jó minőségű képet ad. Mennyiségileg viszont nem igen lehet kiértékelni, mert ahol nagyok a hézagok vagy nagy a hézagterefogat, ott a fény tükrözése azokat a valóságnál nagyobbak mutatja, ahol meg a hézagterefogat kicsiny, a szemcsék fényabszorpciója miatt a szemcsék aránya tűnik nagyobbak.

Több részletet mutatnak a mikroszkopikus vékonycsiszolatokon átnézetben felvett erősebb nagyítású képek. Ezek eredeti nagysága 3,06x4,06 mm. A hézagot kitöltő műgyanta a vékonycsiszolatoknál pirosra van festve. Az erős nagyításnak köszönhető, hogy az egyes szemcsék, azok egymáshoz való elhelyezkedése, sűrűbb vagy lazább szerkezete jól látható.

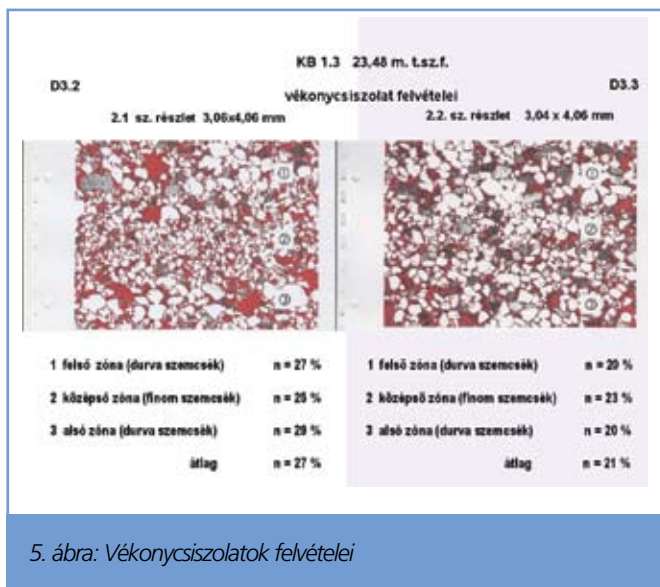
A vékonycsiszolatok képeit mennyiségileg is értékelhetjük, bár figyelembe kell venni, hogy a vékonycsiszolatnak is véges a vastagsága, a szemcsék szerkezetét a vékonycsiszolatot határoló két sík más-más elrendeződésben mutatja. Ez megnehezíti a hézagterefogat pontos értékelését. Így a tömeg- és térfogatmérés alapján meghatározott hézagterefogat megbízhatóságát e módszerrel nem kapjuk meg.



4. ábra: Fáziselosztás

A 4. ábrán jelölt 2.1. sz. mintarészletben (az 5. ábra bal oldala) három finom réteget jellemző sávot különböztethetünk meg, melyekben nem csak a szemcsenagyság, hanem a hézagterfogat is különbözik. A középső rétegben, melynek szemcséi finomabbak, a hézagterfogat kisebb, mint a durvább szemcséjű szélsőkben. Ugyanennek a mintának 2.2. sz. részletében (az 5. ábra jobb oldala) – ennek közepétől az első részlet közepéig csak 17,5 mm a távolság – a hézagterfogat épp a durvább szemcséjű sávokban kisebb. Szemcsenagyság és hézagterfogat ezek szerint nem korrelál egymással, sőt igen kis területen egymástól függetlenül váltakozik.

Az 5. ábra mindkét képén feltűnő, milyen nagy hézagok ill. pórusok maradnak helyenként a szilárd szemcsék majdnem hézagtalanul egymáshoz simuló szemcséi között: mintha ezeknek szerkezete ívekkel köröznék a szabadon maradt hézagok üregét. Még $n = 20\%$ -nál kisebb hézagterfogatnál is maradnak különálló nagy hézagok. Persze a vékonycsiszolat nem tükrözi a hézagok harmadik dimenzióját.



5. ábra: Vékonycsiszolatok felvételei

Összegezve megállapíthatjuk, hogy folyóvízben váltakozó áramlási sebességnél leülepedett homokunk a szemcsék és a hézagok nagyságát illetően nagymértékben inhomogén, az inhomogenitás igen kis, mm-es tartományokat érint, a kaotikus és vékony rétegekben rendezett formák között váltakozik.

5. A HOMOK TALAJMECHANIKAI VIZSGÁLATA

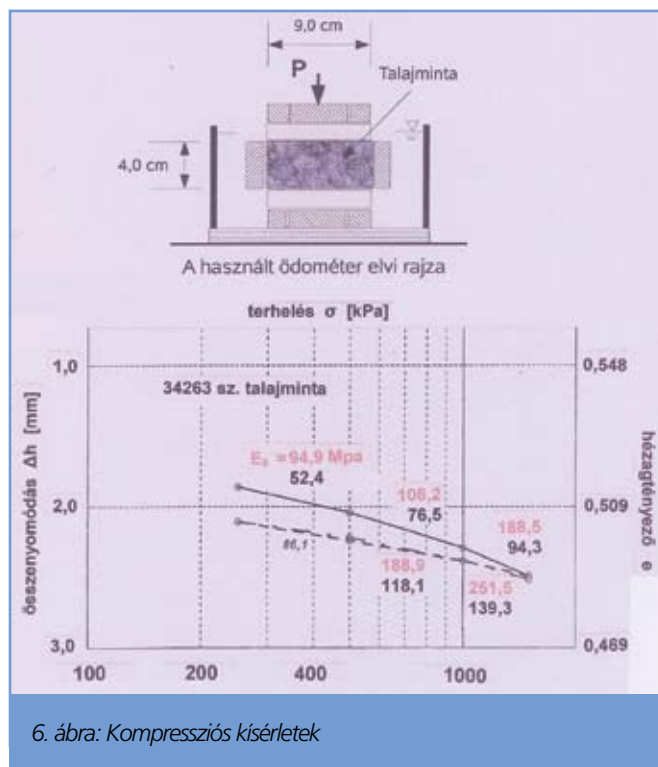
A fűrt magok másik feléből inkább hagyományos laboratóriumi vizsgálatok készültek. Ezek a vizsgálatok a szokásos eljárástól elsősorban abban különböztek, hogy a magminták vizsgálandó részeit fagyott állapotban kellett a kísérleti készülékekbe beilleszteni. A kísérleti készülékek és a segédeszközök hőmérsékletét ehhez a víz fagypontja alatt kellett tartani. Mivel a fagypont alatt klimatizálható munkahely nem állott rendelkezésre, a munkát a készülékek időszakos mélyhűtésére ismételtelen meg kellett szakítani.

Magát a tervezett kompressziós kísérletek és a többirányú, triaxiális nyomókísérletek elvégzését felolvasztott állapotban, szokásos laboratóriumi hőmérsékleten kellett lebonyolítani. Ideális lett volna, ha a talajminta vázszerkezete a kísérletek elején megtartotta volna eredeti, a nyugalmi nyomás tényezőjének megfelelő feszültségi állapotát. Ezt nem sikerült megvalósítani.

5.1. ÖSSZENYOMHATÓSÁG VIZSGÁLATA KOMPRESSZIÓS KÉSZÜLÉKBEN

A kompressziós készülékben (6. ábra) ugyanis csak a függőleges feszültséget lehet szabályozni, a radiális feszültség értéke kezdetben attól is függ, mely pontosan sikerül a fagyott mintát a készülékbe beilleszteni.

Beépítés után a 9,0 cm átmérőjű mintákat lépcsőzetesen 1,5 MPa-ig terheltek és lépcsőzetes tehermentesítés után a terhelés folyamatát megisméltették. Mivel a homokminta összenyomódása igen kicsinynek bizonyult, az eredmények feldolgozásánál a kompressziós készülék összenyomódását is figyelembe kellett



6. ábra: Kompressziós kísérletek

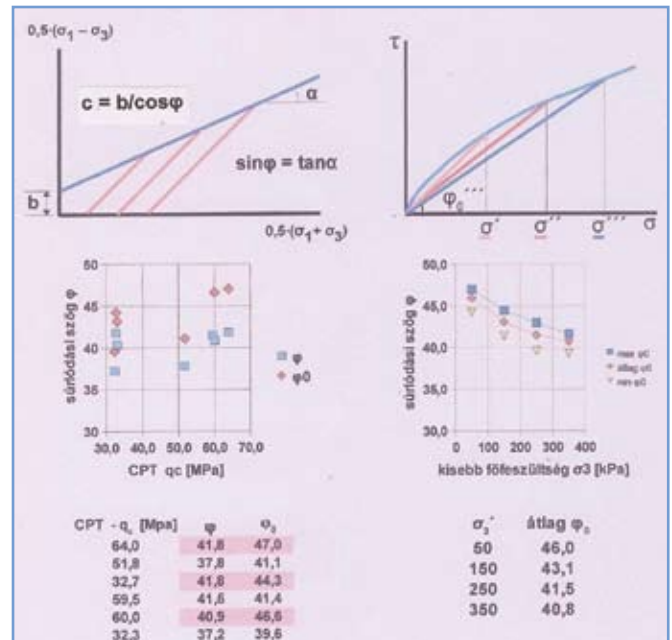
venni. Ez 80–100%-kal magasabb összenyomódási modult eredményezett (felső, piros számok) mint hibajavítás nélkül. Az eredmények tűrhetően sorakoznak a vert szondák ismert korrelációs ábrájában, bár mintha az összenyomódási modulus a vizsgált tartományban az ütésszámmal gyorsabban nőne, mint az extrapolált értékek. Egy regressziós vizsgálat az összenyomódási modulus és az ütésszám között végül is az ismert logaritmikus törvénnyel eltérően igen szoros lineáris összefüggést mutatott ki.

5.2 TRIAXIÁLIS NYOMÓKÍSÉRLETEK

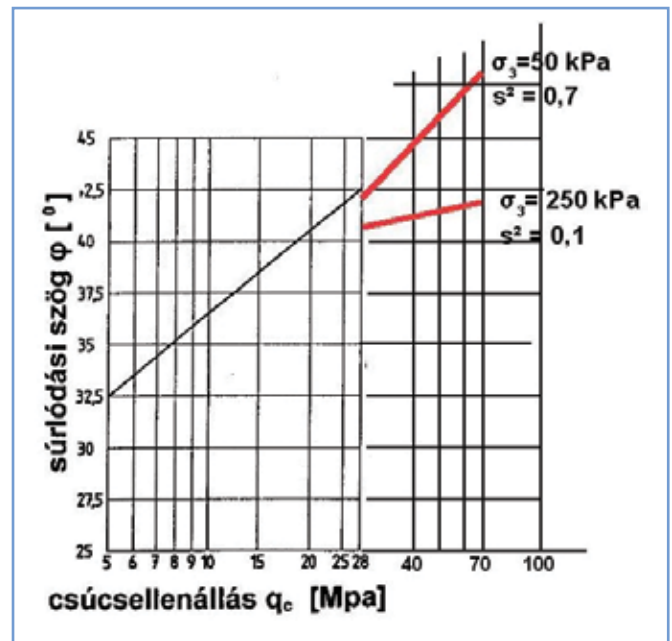
A triaxiális nyomókísérlet esetében, annak egyszerűbb lebonyolítása érdekében abból kellett kiindulni, hogy a nyugalmi nyomás tényezője $K_0 = 1,0$. Valójában a több mint 1 km vastagságú jég súlya alatt bizonyára 1-nél magasabb nyugalmi tényező uralkodott. Ahhoz, hogy egy $K_0 > 1$ által meghatározott feszültségállapotot állíthassunk elő, olyan triaxiális nyomókészülékre lett volna szükségünk, amelyben a σ_3 feszültséget keltő folyadék nem hat a mintára annak tengelyének irányában. (A tengelyirányú feszültségeket a radiálistól függetlenül szabályozó készülék 9 cm átmérőjű minta számára nem állott rendelkezésre.) Ennek megfelelően a jeges mintákat mind $\sigma_1 = \sigma_3 = 300$ kPa értékű hidrosztatikus feszültség alatt olvastották fel.

Egy 9,5 cm átmérőjű fagyott magból nem lehetett több egyenértékű mintadarabot kivágni, mindig csak egyetlenegy 9,0 cm átmérőjű minta előállítására volt lehetőség. Ennek vizsgálatára lépcsőzetes terhelési technikát alkalmaztunk. E technikánál alacsony hidrosztatikus feszültségből ($\sigma_{11} = \sigma_{31}$) kiindulva nyílt rendszerben a tengelyfeszültség értékét a törési állapot küszöbéig emeltük, majd tehermentesítés után magasabb hidrosztatikus feszültségből ($\sigma_{12} = \sigma_{32}$) kiindulva e folyamatot megismételtük és végül egy még magasabb hidrosztatikus feszültségi szintről ($\sigma_{13} = \sigma_{33}$) kiindulva, a minta tengelyirányú igénybevételét a végleges törésig fokoztuk.

A kísérletek eredményeit tekintve feltűnő, hogy az összenyomódási diagramban (7. ábra) az összenyomódás a feszültségemelés kétharmadáig lineárisan, a radiális feszültségek értékétől függetlenül arányban növekszik, mintha a homok rugalmas, szilárd test lenne. Csak ezután vesz fel progresszív módon képlékeny alakvál-



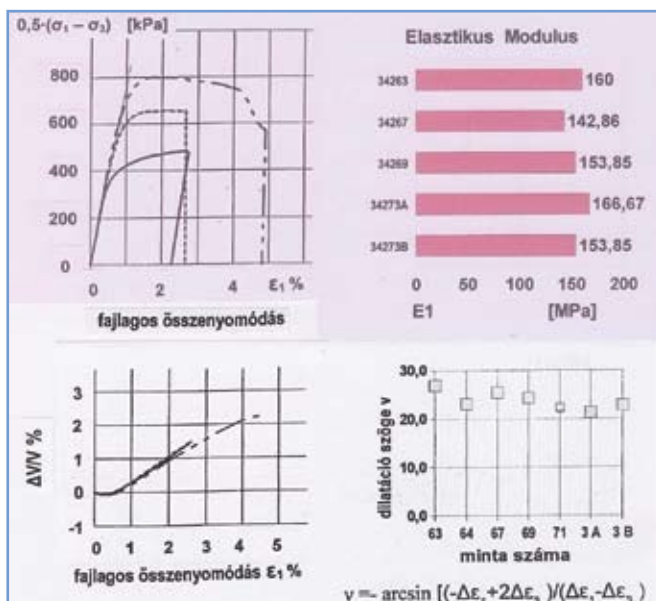
8. ábra: Háromtengelyű nyomókísérletek kiértékelése 2.



9. ábra: A súrlódási szög összefüggései

tozást. A diagram lineáris részéből levezethető rugalmassági modulus $E = \Delta\sigma/\Delta\epsilon = 160$ MPa igen tekintélyes és nagyságrendjében összegeyzethető a kompressziós kísérletek eredményeivel.

Másik érdekesség a minta térfogatváltozásával kapcsolatban a következő volt. A tengelyterhelés növelése minden terhelési fok kezdetén, már 0,3%-ot meghaladó fajlagos összenyomódásnál az eredeti térfogatot meghaladó térfogatonövekedést $\Delta\epsilon_v = \Delta V/V$ eredményezett és annak a fajlagos összenyomódásra vonatkoztatott mértéke, a dilatáció ($\Delta\epsilon_v/\Delta\epsilon_1$), majdnem a törésig azonos maradt. Ennek értéke (0,67 és 0,88) és a dilatáció szöge is ($\nu = 21,3 - 26,9^\circ$ között) rendkívül magasnak bizonyult és meghaladta a tömör homoknál észlelt határértéket, melyről Bishop számolt be az 1971-es Roscoe emlékére rendezett szimpóziumon.



7. ábra: Háromtengelyű nyomókísérletek kiértékelése 1.

A dilatáció energiát fogyaszt és növeli a nyírószilárdságot. Ennek következtében a törési állapotok egyenesként ábrázolt burkolója a deviátor feszültség tengelyéről kohéziót jelölő szakaszt vág le, jöllehet finom szemcséktől mentes, vízzel telített homokunknak semmiféle kohéziója nem lehet (8. ábra). Ez rég ismert tény. Valójában burkológörbéről van szó. A gyakorlati alkalmazások biztonságát szemelöltt tartva, Casagrande homokok és kavicsok nyírószilárdságának leírására minden σ nyomófeszültséghez egy, a $\sigma = 0$ pontot metsző súrlódási szöget (ϕ_0) definiált. ϕ_0 értéke a kisebb főfeszültség (σ_3) növekedésével csökken.

A kísérletek eredményeit a statikus szonda csúcscellenállásával összevetve, összehasonlíthatjuk az ismert $q_c - \phi$ regressziós összefüggéssel (9. ábra). Alacsony feszültségi színvonalon a $\sigma_3 = 50$ kPa radiális feszültségnél észlelt szekáns súrlódási szögekkel az ismert összefüggést a statikus szonda igen magas (60–70 MPa) csúcscellenállásáig magas korrelációs együtthatóval biztosítva extrapolálhatjuk. Magas σ_3 -feszültségeknél nem csak a szekáns súrlódási szögek csökkennek, hanem a regressziós összefüggés is romlik.

6. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Egy egyenletes szemmegoszlású homok tulajdonságait az átlagos szemcse nagyság (d_{50}), az egyenlőtlenégi mutató (C_u), valamint a szemcsehalmoz állapotát jelző relatív tömörség (I_D) alapján lehet megközelítően leírni. Utóbbit a hézag tényező helyettesítheti. Ezek a talajmechanikai jellemzők a szekáns súrlódási szöggel is jól korrelálnak és pedig annál jobban, minél megbízhatóbban lettek azok meghatározva.

A relatív tömörség, a homok számtalan igen vékony rétegből álló mintáján megbízhatóan nem határozható meg. A leglazább és legsűrűbb állapot hézagterefogatát csak a rétegek keverékén lehetett megvizsgálni. Mivel a keverék egyenlőtlenégi mutatója nagyobb, mint az egyes rétegeké, a relatív tömörség kiszámításánál két különböző felépítésű homok adataira túl magas relatív tömörséget kell kapnunk. Mégis azt találtuk, hogy a relatív tömörség értéke jelentősen megjavítja a talajmechanikai jellemzőkre alapozott regressziós kapcsolatokat.

A többszörös lineáris regressziós vizsgálatok eredményei alapján az alábbiak állapíthatók meg:

- az átlagos szemcseátmérőre és egyenlőtlenégi mutatóra támaszkodó kétparaméteres regresszió jobb minőségű, mint a statikus szonda csúcscellenállására visszavezetett egyparaméteres regresszió,

- egy harmadik jellemző – a relatív tömörség vagy a hézag tényező – tovább javítja a regressziót,
- az átlagos szemcseátmérő növekedésével csökken a szekáns súrlódási szög értéke. Ez összhangban van a mikroszkópi felvétellel, mely szerint a finomabb szemcsék felülete nagyobb érdességű és szélük élesebb, mint a nagyobb szemcséké,
- ugyanez lehet az oka annak, hogy a súrlódási szög az egyenlőtlenégi mutatóval együtt növekszik, még ha csak kis mértékben is.

Az utóbbi két eredmény a vizsgált homok különlegessége: más homokról, kavicsról ennek ellenkezőjét ismerjük.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Becker, H.F.–Feeser, V. (1995): Rechnergestützte Reflexions-Emissions-Analyse – Ein Verfahren zur morphometrischen Gefügeuntersuchung klastischer Lockersedimente. Meyniana, 47: pp. 141–165.
- [2] Bishop, A.W. (1971): Shear strength parameters for undisturbed and remoulded soil specimens. Proc. Roscoe memorial symposium, Cambridge University 1971, pp. 3–58.
- [3] DIN 4094-1-2002-06: Felduntersuchungen – Teil 1: Drucksondierungen, Anhang D
- [4] DIN 4094-3-2002-02: Felduntersuchungen – Teil 3: Rammsondierungen, Anhang E
- [5] DIN 18137-1: Bestimmung der Scherfestigkeit; Begriffe und grundsätzliche Versuchsanordnungen
- [6] prEN 1997-2-Aug 2003: Ground investigation and testing; Annex C to Field tests

SUMMARY

LABORATORY TESTS OF HIGHLY COMPACTED SANDS

It is very difficult to take undisturbed samples from highly compacted, uniform-graded sands about 20 or 30 meters below groundwater level. The paper describes a method using soil freezing to overcome this difficulty. Furthermore, regression analysis between various parameters is shown in order to better predict soil properties.

KÉZIRATOK TARTALMI ÉS FORMAI KÖVETELMÉNYEI

Folyóiratunk általában eredeti cikkeket közöl, az ettől való eltérést külön jelöljük. Kérjük szerzőinket, a kézirat leadásakor nyilatkozzanak, hogy a cikket máshol nem jelentették meg és nem adták le közlésre.

A cikkek javasolt terjedelme 4-8 nyomtatott oldal. Egy csak szöveget tartalmazó oldalon mintegy 6000 karakter fér el (szóközzel). A cikk terjedelmét a Word Fáj / Adatlap / Statisztika helyén ellenőrizhetik.

Kérjük tisztelt szerzőinket, hogy a megjelentetni kívánt cikkek kéziratát a következő formában készítsék el:

- A kézirat szövege **önállóan**, esetleges lábjegyzetekkel, ábra-, táblázat- és képhivatkozásokkal, a szöveg végén külön ábrajegyzékkel, *.rtf vagy *.doc formátumban,
- táblázatok és grafikonok **külön-külön**, *.doc vagy *.xls formátumban,
- ábrák, fényképek stb. **külön-külön** file-ban, nem a szövegbe beágyazva, *.xls *.tif, *.eps vagy *.jpg (300 dpi felbontással!) formátumban.

Az azonosíthatóság és kezelhetőség érdekében valamennyi táblázat, grafikon, ábra, fénykép sorszámával és címmel legyen ellátva.

Kérjük, hogy a cikkhez egy 40-80 szó terjedelmű **angol nyelvű kivonatot** mellékelni szíveskedjenek.

Kérjük, hogy valamennyi szerző elérhetőségét (munkahely, postacím, telefon, fax, e-mail) tüntessék fel.

A kéziratokat e-mailen, vagy szükség esetén CD-n a felelős szerkesztő címére kérjük küldeni.

KÍSÉRLETI MATEMATIKA A GEOMECHANIKÁBAN¹

PROF. DR.-ING. CHRISTO CHRISTOW²

1. BEVEZETÉS

Az utóbbi években egyre erőteljesebben jelentkeznek az alkalmazott matematikának egy ágazata, amelyet *kísérleti matematikának* hívnak. Elsősorban amerikai és kanadai, számítógéppel foglalkozó matematikusok azok, akik numerikus kísérletek segítségével, számelméleti és geometriai problémákat, valamint a természetben és a társadalomban végbemenő folyamatokat vizsgálják. A legtöbb eddigi munka egy gyakorló mérnök számára „túl elméletinek” vagy akár „haszontalannak” tűnhet. A kísérleti matematikát azonban mintha éppen nekünk, mérnököknek teremteték volna: míg a matematikusokat csak a matematikai bizonyítás érdekli, a mérnökök a matematika segítségével olyan lehetőségek után kutatnak, amelyek megmagyarázzák a természet fizikai folyamatait, és reprodukálható módon képletekkel írják le azokat. Míg egy képletben egy betű a matematikus számára csak egy jel, addig ugyanaz a betű a mérnök számára a természetnek egy darabját, pl. egy anyagtulajdonságot jelent. Ebben az értelemben a mérnökök korábban is – amikor még a mai számítógépek nem léteztek, és a „kísérleti matematika” fogalma sem létezett – a matematika segítségével kísérleteztek. Ezen a helyen szeretnék megemlékezni arról, hogy Augustin Louis *Cauchy* (1789–1857) építőmérnök volt, akinek a világ a matematikai rugalmassági elmélet és az általános szilárdságtan megteremtését köszönheti.

Amikor a szerző néhány évvel ezelőtt azt a kérdést vizsgálta, hogy a kísérleti matematika alapötlete a geomechanika szélesebb területein is alkalmazható-e, hamar kiderült (többek között néhány korábbi munkája kapcsán), hogy nemcsak tisztán numerikus kísérleteket lehet végezni, hanem sokkal inkább érdemes algebrai átalakításokkal analitikai vizsgálatokat végezni. Ezek a matematikai kísérletek lehetővé teszik, hogy a geomechanikai folyamatokat átlássuk, és a régóta ismert megoldásokkal „váratlan” eredményeket célozzunk meg, amint az a 2. pontban látható is lesz.

2. A RÉZSÚÁLLÉKONYSÁG ÚJ, ANALITIKUS MEGKÖZELÍTÉSE

2.1. ALAPGONDOLATOK

Fellinius (1927) óta a rézsűk állékonyságát csúszólappal, ún. „lamellás eljárással” számítjuk ki. Az utóbbi ötven évben ennek a számítási eljárásnak számos változata terjedt el. A képletek egyre hosszabbak és áttekinthetlenebbek lettek, gyakran implicit képletek, amelyek az állékonyság fokát csak „próbálgatással” adják meg, így hálásak lehetünk, hogy ezeket a számításokat számítógéppel tudjuk végezni. De még a leghosszabb képlet is csak egy számot ad eredményül: a rézsű *állékonysági fokát*, így néhány modern számítógépes programfelhasználó úgy gondolja, hogy segítségével bárki ki tudja számítani egy rézsű állékonyságát, még ha nem is geotechnikus. Számukra érthetetlen, hogy

miért fordul elő a gyakorlatban mégis, hogy egy „állékonyak” kiszámított rézsű váratlanul megcsúszik. Az „Állandó-e egy rézsű állékonysága a csúszólapp mentén?” kérdés tisztázására a lamellás módszer állékonysági egyenletével elvégzett analitikus vizsgálat igen hasznos információkat eredményezett a gyakorlat számára, amelyeket itt foglalok röviden össze [3].

Az (1) egyenlet a lamellás módszer ismert képletének legegyszerűbb alakja, amelyet itt ismertnek tételezünk fel:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + \sum_{i=1}^n c_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (1)$$

A képlet kifejezi a rézsűállékonyság biztonságának definícióját: ahhoz, hogy a rézsű állékony legyen, a csúszólapp felületén az alap teljes nyírási ellenállásának nagyobbak kell lennie a nyíróerők összegénél.

A lamellánál az oldalerőket elhanyagoljuk (a „pontosabb” eljárásához viszonyított eltérés közismerten legfeljebb 5%, de a talajjellemzők pontatlansága ezzel szemben jóval nagyobb, és különösen egy hosszabb állékonysági képletnél sokkal kedvezőtlenebb hatású). Az eddigi vizsgálatok azt mutatták, hogy érdemes egy problémát lehetőleg egyszerű képlettel kezelni azért, hogy az alapvető fontosságú folyamatokat számszerűsíthessük. Az (1) egyenlet biztonsági definíciója az egyes lamellákra a (2) egyenletet adja eredményül, ezt a lamella helyi állékonyságának nevezzük, és a következőképpen írható fel:

$$\eta_i = \frac{N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i + c_i \cdot l_i}{T_i} \quad (2)$$

Egyértelműen látszik, hogy minden lamella helyi állékonysága különböző nagyságú, azaz nem konstans, és függ a csúszólapp dőlésétől és a mindenkor talajréteg nyírószilárdságától. Az állékonyság képlete (1) egyszerű algebrai elemzésének eredményeképpen kapjuk azt a lehetőséget, hogy a helyi állékonyság (2) egyenletét explicit formában behelyettesítsük a rézsűállékonyság (1) képletébe. Az eredmény nemcsak egy új, egyszerű képlet lett (3), hanem az állékonysági egyenlet (1) természetével kapcsolatban is egy új felismerésre vezetett. Az új állékonysági képlet (3) a következőképpen írható fel:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i \cdot \eta_i)}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (3)$$

Egy egyenlet átalakításánál szigorú matematikai szabályokat kell követni, és ezekkel az egyenletnek csak a „kinézetét” változtathatjuk anélkül, hogy a magjához hozzányúlnánk, ill. fizi-

¹ A cikk a 2008. július 14–15-én a Geomechanika Kollokvium Karlsruhe tudományos szimpóziumon elhangzott előadás szerkesztett változata. Az előadás Prof. Dr. techn. Dr. mont. h.c. Leopold Müller születésének 100. évfordulója és Prof. Dr. Dr. Kézdi Árpád halálának 25. évfordulója emlékére hangzott el. Fordította: Bach Mónika

² Az Orosz Építészeti és Építőmérnöki Tudományos Akadémia tagja, FBI Karlsruhe, BME Budapest

kai értelemben megváltoztatnánk, ami jelen esetben az (1) és (3) egyenletekre is igaz (az egyenletek evvel a módszerrel történő átalakításának zseniális mestere volt Leonard Euler, 1707–1783). Ezen kívül a (2) egyenletből megkapjuk még a helyi állékonyság eloszlását a vizsgált kör-csúszólap mentén. Ez az eloszlás radiális, vagy oszlopdiagrammal grafikusán is ábrázolható. Az új állékonysági képlet (3) azonban egy további, váratlan eredményre is vezetett a rézsú helyi állékonysága (2) és a teljes állékonysága (1) közötti összefüggés minőségi értelmezésénél. Az x_i , m_i és X_{GM} változók segítségével kapjuk a következő általános képletet (4):

$$X_{GM} = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \cdot x_i)}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (4)$$

A (4) egyenlet – az antik görögök óta – a „súlyozott átlag” ismert képlete, ahol m_i az ún. „súly”, vagy „súlyozás”. Ebből következik a rézsúállékonyság természetére: a rézsú teljes állékonysága a csúszólap mentén mért helyi állékonysági értékek súlyozott átlaga. Ebből adódik a lehetőség, hogy ne csak a rézsú állékonyságát számítsuk ki, mint eddig, hanem hogy az egyes lamellák területén a helyi állékonyságok eloszlásának segítségével már a tervezés során megállapítsuk, és elhatároljuk az esetlegesen veszélyeztetett rézsúterületeket.

A helyi állékonyság bemutatott matematikai kísérlettel meghatározott eloszlása a (2) egyenlet szerint a következő minőségi kijelentéseket teszi lehetővé:

- a) Egy rézsú n állékonysága az (1) egyenlet definíciója alapján állandó.
- b) Egy rézsú helyi állékonysága a csúszólap mentén lamelláról lamellára változik; akkor is, ha a rézsú konstans nyíróparaméterekkel rendelkező homogén talajrétegben fekszik.
- c) A helyi állékonyság eloszlása a vizsgált csúszófelületek mentén megmutatja, hogy egy konkrét esetben vannak-e olyan rézsúterületek, amelyek különösen csúszásveszélyesek. Ezek a területek mindenképpen kiindulópontjai lehetnek egy megcsúszásnak, ha az (1) egyenletből kiszámított teljes állékonyságra teljesül, hogy

$$n > 1$$

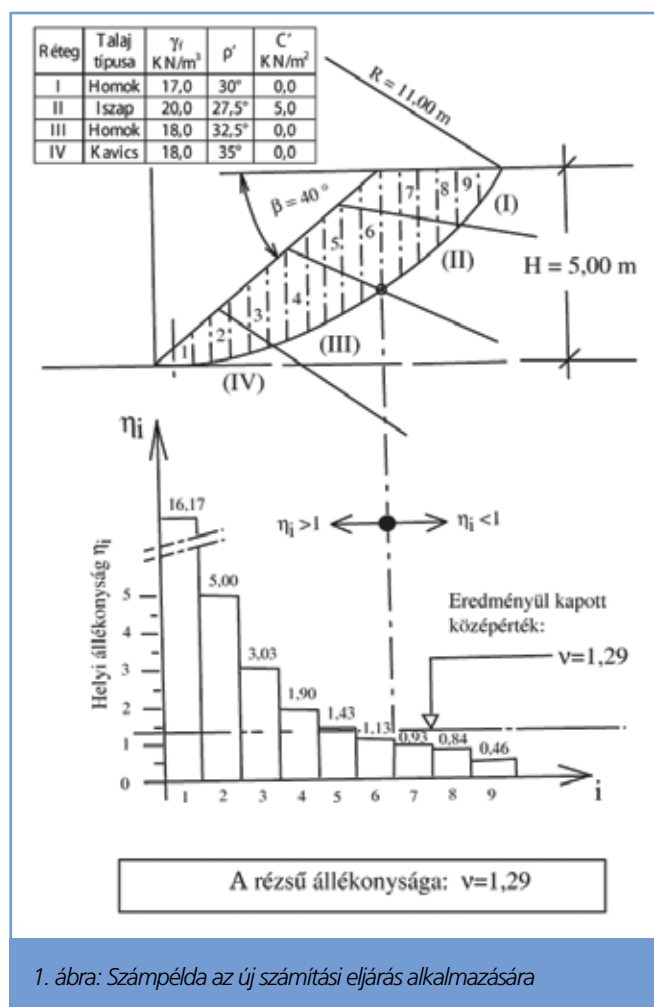
Gondoljunk a progresszív rézsútörésre, valamint a – talajmechanikában még mindig kevésbé kutatott és alig tanított „az anyag öregedése” jelenségre.

Az alapra vonatkoztatva ez a következőket jelenti: A talajrétegek szilárdsága idővel csökkenhet („öregszik”). Ezáltal a csúszólap bizonyos helyein csökken a helyi állékonyság, ezek a területek idővel elnyíródnak (vagyis csúszólap helyileg is kialakulhat, a talaj szilárdsága túlzott igénybevétel hatására csökkenhet); a n teljes állékonyság idővel csökken, míg egyszer szélsőséges esetben az egész rézsú megcsúszik.

Összefoglalásul ajánlott egy rézsú állékonyságát nemcsak statikai szempontból kiszámítani, hanem a talaj szilárdságára ható fizikai és kémiai hatásokat, és különösen az altalaj öregedését is alaposan megvizsgálni.

2.2 PÉLDÁK AZ ÚJ SZÁMÍTÁSI ELJÁRÁS GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁRA

Az 1. ábrán látható egy rézsúvizsgálat eredménye az új számítási eljárással, amelynek segítségével sikerült tisztázni egy a statikus által „állékonynak” kiszámított, építési alapnak használt rézsú



1. ábra: Számpélda az új számítási eljárás alkalmazására

megcsúszásának okát. A rézsúben négy talajréteg található: iszapos homok, homokos, agyagos iszap, finomszemcsés, iszapos homok, és homokos kavics. A rézsú magassága $H=5,00$ m, dőlési szöge $\beta=40^\circ$. A számításokat a lamellás módszerrel a (2)+(3) egyenlet felhasználásával végeztük, az eredményeket ellenőrzésképpen az (1) egyenlet szerint táblázatba foglaltuk. Minden lamellához meghatároztuk még a helyi állékonyságot a (2) egyenlet alapján. Az (1) egyenletből, és az új (3) egyenletből a súlyozott átlagból is várakozásunknak megfelelően hasonló értéket kaptunk a rézsú állékonyságára a kialakult csúszólap mentén: $n = 1,29$

A helyi állékonyság meghatározott értékeit az 1–9. sz. lamellák területére oszlopdiagramban, a kör csúszólap alatt ábrázoltuk (1. ábra). Ennek a diagramnak a hangsúlyos hiperbolikus jellege a nyíróerők (T_i) nagyságával függ össze [ld. (2) és (3) egyenlet].

A hasábdiaagram az 1. ábrán szemléletes módon mutatja a helyi állékonyságok eloszlását a vizsgált csúszólap mentén. A 6. és 7. sz. lamella közötti hatás a rézsút két részre osztja:

- 1–6. sz. lamellák: állékonyság $h_i > 1$
- 7–9. sz. lamellák: állékonyság $h_i < 1$

Látható, hogy a rézsú állékonyságát leginkább a 7–9. sz. lamellák befolyásolják, különösen az iszaprétegen keresztül (ld. 1. ábra, 7. és 8. sz. lamella). Ha ezen a területen a nyírószilárdság idővel csökken, akkor a rézsú állékonysága (n) is csökkenni fog, és nem kizárt, hogy itt, az iszaprétegben fog először kialakulni, ami a ta-

laj nyírósíllárdságának és a rézsűállékonyságnak a további csökkenését eredményezi. A rézsűállékonyság vizsgálatát három további teherállással folytattuk. A vizsgálat során a nyírósíllárdság az iszaprétegben a 7. sz. és 8. sz. lamellában, és a felső homokrégben a 9. sz. lamellában csökkentett nyírósíllárdsággal a $n = 1,29$ kezdeti állapothoz képest a következőket mutatta:

- A csúszólap iszaptartományának kohéziója idővel $C=0$ -ra leépül, a rézsű állékonysága a kör csúszólap mentén lecsökken $n = 1,19$ -re.
- Az iszapban a nyírósíllárdság teljes leépülése után ($f=0$, $C=0$) az állékonyság ugyanezen csúszólap mentén $n = 0,94$ -re csökken, és előidézi a rézsű csúszásveszélyességét.
- Ha a felső homokrég 9. sz. lamellájának (vagyis a rézsűkorona területének) nyírófeszültsége is nullára csökken ($C=0$), a rézsű állékonysága $n = 0,89$ -re csökken. Ennek eredménye: a statikában számítással „állékonynak” kimutatott rézsű megcsúszik.

Tapasztalt gyakorlati szakemberek a fenti jelenségeket „gyakorlati érzésből” biztosan ismerik. Az 1. ábra számpéldájával szemléletesen bemutattuk, hogy a lamellás módszer kiegészítésével lehetőségünk nyílik arra, hogy a rézsű állékonyságával kapcsolatos kérdéseket, különösebb többszámítás nélkül, és a gyakorlat számára megfelelő pontossággal minőségileg megválaszoljuk. Különösen a fiatalabb (színes Windows számítógépes felületekhez szokott) kollégáknak szeretném azt a tapasztalatot továbbadni, hogy gyakran sokkal fontosabb egyszerű eszközökkel az állékonyság alakulásának lehetséges tendenciáit tisztázni, mint durván becsült talajjellemzőkkel nagyobb számítási pontosságra törekedni.

3. TOVÁBBI PÉLDÁK A KÍSÉRLETI MATEMATIKA TALAJMECHANIKAI ALKALMAZÁSÁRA

A rendelkezésre álló terjedelem miatt csak érintem a kísérleti matematikának néhány olyan eredményét, amelyek a talajmechanikai feladatok megoldásához már segítségül szolgáltak.

3.1 MONOTON, ASZIMPTOTIKUSAN LECSENGŐ FOLYAMATOK VIZSGÁLATA

A természetben előforduló olyan $y = f(x)$ függvényeket, amelyek monoton nőnek, és egy határértékhez tartanak, monoton és aszimptotikusan lecsengő függvényeknek nevezzük. A geomechanikában is ismerünk aszimptotikus lecsengő folyamatokat, mint például

- egy alap $s = s(t)$ süllyedése az idő függvényében
- egy cölöp / alaptest nyomás-süllyedés-görbéje
- reológiai görbék

A monoton, aszimptotikusan lecsengő folyamatok analitikus leírására jól alkalmazható függvény, amelyet a szerző 1958 óta különböző tudományos és műszaki problémák megoldására – a talajmechanika, reológia, orvostudomány, biológia és műszaki fizika – sikeresen alkalmaz, a következő egyszerű formában írható fel [2]:

$$y = \frac{x}{a + b \cdot x} \quad (5)$$

Ennek az új módszernek a matematikai alapjai bővített alakban a *Nemlineáris talajmechanika* nemzetközi konferencia (1993, Szentpétervár) nyitóelőadásában is szerepeltek. Talajmechanikai felhasználásra további példákat találhatunk a [5, 6] munkákban, valamint a szerző számos más munkájában. Az (5) függvény különleges értéke a gyakorlat számára abban rejlik, hogy egy egyszerű koordináta-transzformációval egyenessé alakítható. Ezáltal különösen alkalmas a labor-, és helyszíni eredmények kiértéke-

lésére, mivel más képletekkel szemben a következő előnyei vannak:

- a vizsgálati értékek egyszerű, és könnyű felhasználása
- csak két paramétert kell meghatározni
- a képlet extrapolálásra alkalmas.

A gyakorlati munkát nagymértékben megkönnyíti, ha az (5) egyenlethez a projektív geometria segítségével megfelelő projektív-torzított hálókat alkalmazunk.

A pisai ferdetorony évekig tartó megfigyelése során először 1969-ben az (5) függvénnyel az alkalmazott talajmechanika nesztora Prof. Dr. E. Schulze (Aacheni Műszaki Egyetem), [5] munkánkra hivatkozva megbízható értékelést adott a ferde tornyok idő-ferdülés törvényszerűségének addig megoldatlannak tekintett problémájára [ld. Prof. Dr. E. Schulze 47. füzet (1969): Ferde tornyok állékonysága].

3.2 IMPLICIT EGYENLETEK MEGOLDÁSA

A gyakorlati számítások között különösen problémás az *implicit egyenletek* megoldása. Ezekkel a geotechnikában is gyakran meg kell „küzdünk”, mivel egy ilyen egyenletből az implicit változók analitikus módon nem határozhatók meg. Megoldásukra általában iterációs, vagy más indirekt közelítő eljárásokat alkalmazunk. Az implicit változó ebben az esetben csak próbálgatással határozható meg, ami gyakran idő- és költségigényes folyamat. A kísérleti matematika segít abban, hogy az implicit egyenletekre egyszerű megoldásokat találjunk. A nomogramos elemzési módszerek különösen alkalmasak annak megállapítására, hogy egy implicit egyenletre elkészíthető-e egy megfelelő nomogram. A nomogram előnye a *számítási irány* teljes megfordíthatósága, ami azt jelenti, hogy minden változót tekinthetünk „adottnak” és „keresettnek” is. Így a nomogrammal felírt implicit egyenletek *többé nem implicitek*, vagyis a nomogram minden változóra nézve *explicit*. Az implicit egyenletek nomogramos megoldásának alapjai a szerző [7] munkájában szerepelnek. Példaként említjük itt Prof. Maslow implicit egyenletének megoldását, a rézsűállékonyság közvetlen explicit meghatározására vonatkozóan [7, 8 és 11]. Másik példa a megoldásunkra Colling implicit cölöpegyenlete [9], amely a [7 és 10] munkákban részletesen szerepel.

Végül utalunk arra, hogy a kísérleti matematika bonyolult explicit és implicit egyenletek esetében segédfüggvények alkalmazásával használható, ami jelentősen leegyszerűsíti a gyakorlati geomechanikai számításokat.

IRODALOM

- [1] Kézdi. A.: Bodenmechanik, Band 2. S. 31. Verlag der Ungarischen Akademie der Wissenschaften. Budapest (1964)
- [2] Christow, Ch.: Zur Darstellung asymptotischer Vorgänge in Naturwissenschaft und Technik mit Hilfe einer linear gebrochenen Funktion und ihre Anwendung in der Bodenmechanik. Persönliche Mitteilung an Herrn Prof. Dr.Dr.O.K.Fröhlich. TH Wien (Sofia, 1958)
- [3] Christow, Ch.: A New Analytical Depiction for the Analysis of Slope Stability. Keynote-lecture. Proceedings XIV EYGEEC '01 15–19. September 2001. Bulgaria. pp. 63–73.
- [4] Christow, Ch.: Eine rationelle Methode zur analytischen Beschreibung monotoner, asymptotisch abklingender Vorgänge

und ihre Anwendung in der Bodenmechanik. (Original russisch). IV Russian International Conference Nonlinear Soil Mechanics, St. Petersburg, 22–26. 6. 1993

[5] Christow, Ch.: Beitrag zur praktischen Setzungsberechnung und Auswertung von Zeit-Setzungsmessungen. Vorträge der Donau-Europäischen Konferenz für Bodenmechanik, Wien (1968), Bd.I., S.16.

[6] Christow, Ch.: Tragfähigkeit und Lastsetzungsverhalten einer Pfahlgründung auf der Grundlage einer einheitlichen Auswertung von Pfahlprobelastungen mit einfachen Mitteln. Herbsttagung Pfahlgründungen Bern (1978). Mitteilungen der Schweizerischen Gesellschaft für Boden- u. Felsmechanik, Heft 99

[7] Christow, Ch.: Über die Bedeutung der Nomographie zur numerischen Lösung von impliziten Gleichungen am Beispiel einiger Aufgaben der technischen Praxis. Forschung im Ing. – Wesen, Düsseldorf (1965) Nr.1, S. 14–20.

[8] Christow, Ch.: Ein neues nomographisches Verfahren zur Ermittlung des Standsicherheitsgrades von Böschungen. Bautechnik 40 (1963). Heft 8. S. 270–72.

[9] Colling, G.: Beitrag zur Berechnung freistehender, im Boden eingespannter Dalben. Bautechnik 39 (1962). Heft 12, S. 397–403.

[10] Colling, G., Christow, Ch.: Ein neues Nomogramm zur Erleichterung der Berechnung freistehender, im Boden eingespannter Dalben. Bautechnik 42 (1965). Heft 4. S. 131–133.

[11] Stefanoff, G., Christow, Ch.: Méthode graphique rapide pour le dimensionnement de talus. Proceedings of the Sixth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Montreal (1965), pp. 571–574.

SUMMARY

EXPERIMENTAL MATHEMATICS IN SOIL MECHANICS

Experimental mathematics is a kind of applied mathematics suitable for analysing phenomena in soil mechanics. The article provides an example of stability of a slope that is not constant along the slip plane. Total stability of a slope is characterised by a weighed average of local stability values calculated along the slip plane. Variations of parameters in time may reduce local stability values that may cause the loss of total stability. Other simple examples are provided for applying experimental mathematics for solution of problems in soil mechanics.

A DB TAPASZTALATAI AZ ACÉL Y-KERESZTALJAKKAL

DB'S EXPERIENCE WITH Y-STEEL SLEEPERS

ANDREAS BECK, THOMAS HEMPE

EUROPEAN RAILWAY REVIEW ISSUE 2., 2008., PP. 39–43.

A vasúti felépítmények vágánytorzulásokkal (irány, fekszint, síktorzulás) szembeni ellenállósága, a hosszú élettartam és a magas költséghatékonyság döntő szempontok. A jó minőségű vasúti felépítményszerkezetek alkalmazásával meg lehet hosszabbítani a fenntartási munkálatások közti szükséges időintervallumot, ezzel optimálni lehet a költségeket. A Deutsche Bahn-nál 120 km/h sebesség, és 30 ezer eleytonna/nap felett 2,60 m hosszú B70 előfeszített vasbeton keresztaljakat (keresztaljtávolság: 60–67 cm) és UIC 60 síneket használnak. Ez a kialakítás 200 km/h sebességig, valamint 250 kN tengelyterhelésig megfelelő. Kiseb terhelésű vonalakon rövidített, 2,40 m hosszú B70 előfeszített vasbeton keresztaljak (keresztaljtávolság: 60–67 cm) és S49, vagy S54-es sínek vannak rendszeresítve a DB-nél. A beton keresztaljas vágányok esetén a vágánytorzulással szembeni ellenállás magas, emellett alacsony az előállítási és a fenntartási költségük is. A fenntartási munkálatásuk a hagyományos módszerekkel könnyen megoldható. Az 1980-as évektől az alacsony terhelésű vonalokhoz ún. Y-keresztaljakat is elkezdtek használni a rövidített vasbeton keresztaljak mellett. A mai napig 400-600 km ilyen kialakítású felépítménnyel rendelkező vasútvonal van Németországban a DB AG vonalain.

Az Y-keresztaljak szerkezeti kialakítását a cikkben olvashatjuk. Ami fontos a költséghatékonyság szempontjából, hogy az Y-keresztaljak

alkalmazásával mind ágyazati anyagot, mind töltésanyagot tudunk megtakarítani, mivel rövidebbek (2,30 m hosszú) a vasbeton keresztaljaknál, és csak 0,3 m-es ágyazatváltat kell hozzá kialakítani. Például az St 98 Y-type típusú Y-keresztalj S 15 401/402-es sínleerősítésekkel 120 km/h sebességig és 20 ezer eleytonna/nap terhelés mellett használható, ha az ívsugár 350 m-nél nagyobb. Az Y-keresztaljas vágányok esetén mind az építési, mind a fenntartási munka jóval körülményesebb, mint a vasbeton keresztaljas vágányoknál. Ezeket a specialításokat a cikk részletesen leírja.

A DB AG öt különböző vágánykeresztmetszetben mérte az Y-keresztaljas vágányok kialakuló hibáit, és azok változását. Ezeket összehasonlította a B70 típusú keresztaljakkal kialakított vágányoknál tapasztaltakkal. Végeredményképpen nem tapasztaltak nagy különbséget a két kialakításnál mérhető vágánytorzulások között. A vizsgálati időszak alatt nem, vagy csak alig kellett fenntartási munkálatást végezni a szakaszokon. Az Y-keresztaljas vágányban maximálisan 10 mm-es fekszinthibát mértek. Irányhibák tekintetében ugyanazokat az értékeket tapasztalták mindkét esetben. Az Y-keresztaljak beépítése valószínűleg nőni fog az elkövetkezendő években a tapasztalt megfelelő tulajdonságai miatt, legalábbis a kis terhelésű vonalokon mindenképpen.

F. Sz.

ÚJRAHASZNOSÍTÁSI TECHNOLÓGIÁK HELYE ÉS SZEREPE A HAZAI KÖZÚTHÁLÓZATON

BESSE LÁSZLÓ¹ – HAMARNÉ SZABÓ MÁRIA² – SZÓKE GYULA³

1. BEVEZETÉS

Az történik-e, aminek itt van az ideje?

A hazai közúthálózat egy részének leromlott állapota és a vele szemben támasztott fokozott terhelhetőségi igény (11,5 tonna tengelyterhelés) a felújítási technológiák újragondolását teszi szükségessé.

Nagy szakmai tapasztalattal rendelkező szakemberek évek, évtizedek óta ismerik, esetenként használják a *másodlagos anyagokkal kapcsolatos* technológiákat, eljárásokat, amelyekkel költség-takarékos, hatékony vagy egyéb szempontból indokolt módon lehet a jelentkező feladatok megoldására lépéseket tenni.

Nem érthető az ilyen irányú lépésekben mutatkozó rendkívüli óvatosság. Nem érthető, hogy miért nem sikerként gondolhat az elmúlt időszakra – az évtizedes hasznos tevékenységének részeként – a másodlagos anyagok hasznosításával is foglalkozó megbecsült közutas vezető?

Minek van tehát itt az ideje?

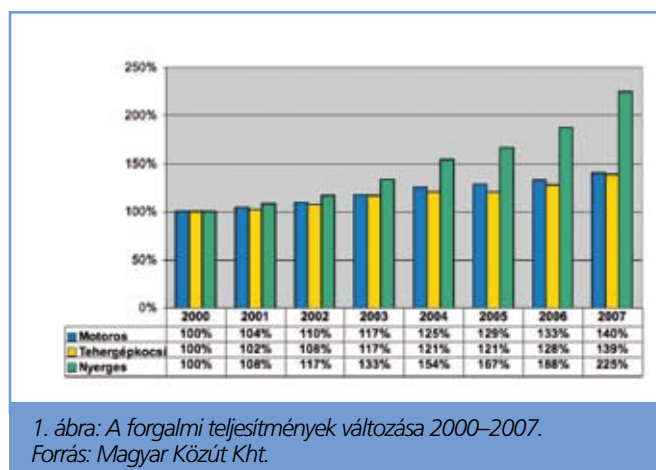
Az országos közúthálózat – az elmúlt évtizedek alatt elmulasztott felújítási, fenntartási munkák következtében – a feladat kínálja magát, a kivitelezők rendelkezésre állnak, az eszközök jelentős fejlődésen mentek keresztül. Az erőforrások korlátosak. A koncepció elkészült, a feladat felmérve. A szakmai vertikum (tulajdonos, vagyoni jogokat gyakorló, kezelő, beruházó, lebonyolító, tervező, kivitelező, mérnök) képes a feladata megoldására. A feltételek szakmai oldalról biztosíthatók.

Megvan a lehetősége annak, hogy az útszakaszok felújítása során a technológia megválasztása összhangban legyen az útszakasz hálózatban betöltött szerepével. Ezek tudatában milyen módon lehet/kell az úthálózatban nyúlni?

Hol tartunk?

Ahogy az utóbbi évtizedekben szinte minden szakmában, a közúti közlekedési infrastruktúra fenntartása, fejlesztése területén is az anyagi lehetőségek szűkülése, csökkenése nyomán bekövetkezett műszaki színvonalromlással egyidejűleg jelentkezett az igény a másodlagos nyersanyagok felhasználására. A közlekedési létesítmények építésénél ugyanis kiemelt figyelmet kell fordítani a környezeti, gazdasági szempontokra.

A közút üzemeltetése és fenntartása során folyamatosan keletkeznek másodlagos nyersanyagok (szekunder anyagok, melléktermékek, hulladék anyagok, martaszfaltok) amelyek újra hasznosítását célszerű mérlegelni, annak gazdaságos felhasználását biztosítani.



1. ábra: A forgalmi teljesítmények változása 2000–2007.
Forrás: Magyar Közút Kht.

Kidolgozásra kerültek a MAÚT munkatársainak közreműködésével a kapcsolódó üti műszaki előírások, amelyek megjelennek, illetve megjelenés előtt állnak. A felmerülő tervezői kérdések tisztázására megvan a szakmai támogatás. Elkészült egy tervezői segédlet (első változata) amely segítséget nyújthat a feladatok megoldásához. A műszaki pályázati anyagok elkészítését megbízás alapján végző munkatársakat a 3R Magyar Remix Egyesület is támogatja.

A Makadám Akadémia rendezvény keretében a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ 2008-ban tavasszal és ősszel nagy érdeklődés mellett tartott előadásorozatot és szakmai vitát.

A Magyar Közút Kht.-nál az újrahasznosítás technológiája konkrét kivitelezésekben jelenik meg, az autópálya-hálózatban már komoly elismerést kapott az ilyen módszerekkel való felújítás.

2. AZ ÚTFENNTARTÁS SORÁN KELETKEZŐ ANYAGOK ÚJRAHASZNOSÍTÁSA

Meglévő martaszfalt felhasználása

Az üti szakma másodlagos anyagfelhasználás – ezen belül kiemelten a martaszfalt újrahasznosítása – területén végzett tevékenysége a megbízó által meghatározott és ellátott feladatok során a teljes vertikumot felölelte.

Utó-felülvizsgálatok történetek a korábbi építéseknél

A Magyar Közút Kht.-nál és jogelődjeinél rendszeresen folytak/ folynak beépítések. A sok esetben 5–10 éve, martaszfalt felhasználásával épített, felújított szakaszok technológiai felülvizsgálatát

¹ Okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, ügyvezető, Krea-TURA Kft., e-mail: bessel@t-online.hu

² Okl. mérnök, okl. városi forgalmi szakmérnök, szakértő, szaktanácsadó, e-mail: hamarne@progan.hu

³ Okl. közlekedésmérnök, műszaki koordinációs tanácsadó, Magyar Közút Kht., e-mail: szoke@kozut.hu

elvégezték, a beépítéseket helyszíni bejárással ellenőrizték 2007-ben. Az eredmények alátámasztják a további alkalmazást.

Technológiai, szabályozási feltételek

A martaszfalt bedolgozásával kapcsolatos műszaki előírások pontosítása, aktualizálása a megelőző munkák tapasztalatai alapján folyamatos.

Olyan rendszert kell kialakítani a közúti beruházásoknál, hogy a keletkező felmárt aszfaltok lehetőleg azonnali, vagy rövid időn belüli bedolgozásra kerülhessenek. Ehhez a beruházási, logisztikai, tervezési, technológiai folyamatokat finomítani kell a kezdeti tapasztalatok alapján.

A Magyar Közút Kht. és jogelődjeinek tevékenysége során számottevő mennyiségű martaszfalt keletkezett. Ennek felhasználása/felhasználhatósága, a készletek rögzítése, az osztályozási lehetőségek tisztázása jelentős feladat. Az anyagok mennyiségi felmérése, mintavételezése, előzetes vizsgálata megtörtént a meglévő, felhasználható tételek mennyiségi és minőségi azonosításával. A Magyar Közút Kht. ezek alapján javasolta a tervezési feladatoknál a készletek figyelembevételét.

Javaslatok

A Magyar Közút Kht. munkatársai útmutatót készítettek a meglévő anyagok felhasználási lehetőségeiről, a jelentős innovációs tevékenységet összegző, több szabadalommal is védett technológiákról. Az országos közúthálózaton végzett munkáknál hasznosítható útmutató összefoglalja a technológiai tulajdonságait, előnyeit, alkalmazhatóságukat. Rögzítette, hogy döntés után a szükséges, részletes technológiai és gyártási utasítások kidolgozása, a minőségvizsgálatok elvégzése szükséges.

Kiemelten kell foglalkozni a meglévő készletek útpályaszerkezetekbe, kerékpárút-pályaszerkezetekbe történő beépítésének lehetőségével. A rendelkezésre álló anyagok így az ilyen területen történő felhasználással, a megfelelő pályaszerkezet kidolgozásával a legnagyobb értékű helyen hasznosulhatnak. A technológiailag ilyen területen nem használható mennyiségeknel célszerű az egyéb, alacsonyabb gazdasági értéket képviselő helyeken (pl. padkában) történő felhasználás.

A Magyar Közút Kht. javaslatot dolgozott ki arra, hogy 2009-ben célzott pénzügyi keret kerüljön meghatározásra a telephelyein felhalmozott mart aszfaltok felhasználásával történő beavatkozások tervezésére és kivitelezésére.

3. A PÁLYASZERKEZET ANYAGÁNAK HELYSZÍNI ÚJRAHASZNÁLATA

3.1. HIDEG REMIX ELJÁRÁS

A közúthálózat legtöbb elemén megfigyelhető, hogy az utak szélesítése különállóan épült meg a folyamatos fejlesztések során, amely a meglévő útpályával nem dolgozik együtt. A két szerkezet között hosszrepedés jelenik meg a kopórétegen. Ráadásul a meghibásodás veszélye az út terhelésével arányosan nő.

Az útkorszerűsítés hagyományos menete a későbbiekben nehezen orvosolható hibalehetőséget épít be, amely az útalap értékét csökkenti. Éppen ezeket az inhomogenitásból származó hibákat küszöböli ki a hideg remix-eljárás.

A hideg remix a pályaszerkezeti rétegek *homogenizálással*, helyben készülő stabilizációja, melynek során a meglévő pályaszerkezet egyes rétegeit célgépekkel átmarják, és kötőanyaggal (cement és/vagy bitumen alkalmazásával) mint helyben készülő stabilizációt átkeverik, tömörítik.

Az eljárás előnye, hogy lehetőséget ad a pályaszerkezet alaprétegeinek teljes szélességben történő felújítására, a korábbi szélesítéseket homogenizálja az eredeti útpályaszerkezettel. A beavatkozás egységes, együttműködő alapréteget eredményez, amely a technológiai fegyelem betartása mellett azonos értékű egy újonnan készült útalappal.

Azaz a remix-technológiával *új alapréteg* épül, új kőanyag felhasználása nélkül, illetve annak kismértékű pótlásával. A helyben lévő anyagok újrahasonosításával csökkenthetők a közúti szállítási költségek, és a szállítóútvonalak környezeti terhelése.

Az eljárás szabályozási háttere, versenysemlegesség: Megjelent az eljárásra vonatkozó ütiügyi műszaki előírás, biztosított a versenyztetést lehetővé tevő széles kivitelezői háttér, a feladat elvégzéséhez szükséges *speciális gépparkkal*.

Az ütiügyi műszaki előírásban megadott eljárás az ÚT 2-1.202 (Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése) szerinti A...E forgalmi terhelési osztályokban alkalmazható.

Az eljárás alkalmazásával kapcsolatos előkészítő tevékenység: A kivitelezést részletes állapotfelmérés előz meg. Az út geometriai és forgalmi adatainak megismerésén túl alapvetően számít az alapréteg teherbírásának megállapítása, a pályaszerkezet rétegtrendjének, vastagságainak és anyagainak meghatározása, valamint a víztelenítési rendszer állapotának felmérése.

Ennek érdekében mintegy 500 m-enként félszélességben, keresztirányban próbamarást kell végezni a laboratóriumi és a helyszíni vizsgálatokhoz. A próbamarás helyén meg kell mérni a földmü teherbírását és a talaj minőségét. Fagyveszélyes talaj vagy alacsony teherbírás esetében védőréteg beépítésére lehet szükség. A talpárkok magassági vonalvezetése gyakran nem alkalmas a pályaszerkezet utólagos víztelenítésére, mert a korábban épített stabilizációs alapok alá nem került szemcsés víztelenítő réteg, így a víz kivezetéséről sem történt gondoskodás.

A talpárkok mélyítése helyett felmerülhet az esésviszonyok javítása érdekében csatornás szakaszok alkalmazása a mainál szélesebb körben. A víztelenítési rendszer állapota alatt a földmü víztelenítését kell érteni. A pályafelület hossz- és keresztirányú tervezésével, megfelelő oldalesések és túlemelések alkalmazása mellett a geometriai tervezés keretén belül a felszíni vizek elvezetése megoldott.

Az eljárás eredménye

Meglevő pályaszerkezeti anyagok felhasználásával egy *új, megfelelő teherbírású útalap* állítható elő.

Az újrahasonosítási eljárás előnyei

- A meglévő anyag 100%-os újrafelhasználása, ezáltal nyersanyagtartalmakó kémelése.
- gazdaságos építési idő, (fuvarozási költségek, energia és a lerakóhelyek 20–30%-ának megtakarításával),
- keverékanyagok sokféle lehetősége,
- alkalmazható kis és nagy építkezéseken, a gép állítható szélessége következtében,

- csekély forgalomkorlátozás a kompakt építési mód eredményeként,
- magas beépítési teljesítmény.

3.2. MELEG REMIX ELJÁRÁS

A burkolat-előmelegítő gépek 100–130 °C-ra melegítik az aszfaltburkolat *felső rétegét*. A remixer marógysége fellazítja a már kellő mértékben felpuhult aszfaltburkolatot és a gép keverőterébe juttatja. Az eljárás során a régi keverék összetételi hibája kiegészítő keverék hozzáadásával javítható. A keverőterbe meghatározott mennyiségű kiegészítő aszfaltkeverék kerül a gép fogadógaratjából. A keverőtérből kikerülő anyag elosztását és elterítését egy – az aszfalterítő gépeken már megismert – elosztócsiga és terítőpad végzi. A frissen terített réteg végső tömörítése pneumatikus és vibrációs hengerekkel történik.

A helyszíni meleg Remix-eljárás alkalmazható az ÚT 2-1.202 szerinti valamennyi forgalmi terhelési osztályba – elsősorban azonban a D, E, K és R forgalmi terhelési osztályokba – tartozó utak aszfaltburkolatának felújítására. Az alkalmazás előfeltétele, hogy a felújítandó út legalább 2×1 forgalmi sáv, továbbá a forgalmi sáv szélessége legalább 3 méter legyen.

A meleg Remix eljárás típusai:

- *Admix*: meghatározott összetételű javító aszfaltkeverék kerül hozzáadásra, így új összetételű aszfaltkeverék állítható elő a keverőtérben és teríthető el.
- *Remix Plusz*: a fellazított és a keverőegységbe továbbított régi aszfaltot újakeveri a gép, az előregeedett burkolathoz meghatározott mennyiségű bitument adagol. Az újakevert burkolatra még egy réteget terít a gép.

Admix

Az admix olyan helyszíni meleg remix-technológia, amely speciális többfunkciós célgéppel, a külön egység(ek)ként a géplánchoz csatolt berendezéssel (berendezésekkel) a felmelegített aszfalt kopóréteget (vagy a kopóréteg hideg lemarását követően meghagyott réteg felső részét) melegen marja fel, a felmárt aszfaltot szükség szerinti mennyiségű új aszfalt hozzáadásával a gép keverőegységében megkeveri, majd a gép beépítőegységével elteríti, előtömörítetten beépíti. A réteget (általában kopó-, vagy kötőréteggént építendő réteget) a szokásos módon tömörítik hengerekkel. Az eljárással készített aszfaltréteg vastagsága kopóréteg esetében jellemzően 4–6 cm.

Az *admix* technológia alkalmazási területei:

- eredeti keverékösszetétel hibája miatt deformált keréknyomvályús szakaszok javítása (pl. az M1 autópályán: 5+3 cm),
- nagyon előregeedett, felületén hámlott, kipergett rétegek megújítása,
- burkolattípus-váltás,
- burkolaterősítés során a meglévő – esetleg deformált vagy előregeedett – kopóréteget a pályaszerkezetben az újonnan épülő kopóréteg alatt kötőréteggént kívánják felújítani, ilyenkor a meglévő pl. AC-11 kopó típusú réteg AC-22 kötő típusúvá átalakítható.

Remix plusz

A remix plusz olyan helyszíni meleg Remix-technológia, amelynek speciális többfunkciós gépe a felmelegített aszfalt kopóréteget (vagy a kopóréteg hideg lemarását követően meghagyott réteg felső részét) melegen marja fel, a felmárt aszfaltot szükség szerint új kötőanyag (bitumen) hozzáadásával a gép keverőegy-

ségében megkeveri, majd a gép beépítőegységével elteríti, előtömöríti. A gép egy további, második beépítőegysége a géphez szállított új aszfaltot (kopóréteg típusút) épít a remixált réteg fölé egy menetben. Az eljárás a forró a forróhoz (hot in hot) elven alapul, ezért az új kopóréteg beépítési vastagsága 30-40%-kal kisebb lehet, mint a kopórétegtípusra egyébként előírt minimális rétegvastagság. Az eljárással készített aszfaltrétegek vastagsága jellemzően 6–8 cm.

A meleg remix-technológia megválasztását, azaz hogy az adott burkolat felújítására az *admix* vagy a *remix plusz* eljárás alkalmazható-e, befolyásolja a felújítás célja, a hiba jellege és a rendelkezésre álló célberendezés felszereltsége. A technológia megválasztása a felújítani kívánt réteg vizsgálati eredményei alapján történik.

Az egy szakasról, illetve a technológiai rész-szakaszokról kivett magminták darabszámát az elvégzendő vizsgálatok mennyisége és típusa határozza meg.

Az eljárás eredménye

Meglevő pályaszerkezeti anyagok felhasználásával egy új, megfelelő teherbírási aszfaltburkolat előállítása történik.

meleg újrahasonosítási eljárások előnyei

- Száraz és előmelegített a felület – nincs szükség bitumenemulziós ragasztóréteg permetezésére,
- a fellazító hengerek által előállított durvább felület jó tapadást, kötést tesz lehetővé (meleg összedolgozás),
- állandó előrehaladás – tehergépkocsi-váltáskor is.
- a remixer nagy tengelytávolsága miatt kicsi az esélye a hosszirányú hullámok kialakulásának,
- gazdaságosság,
- kevesebb a beszállított építőanyag, kevésbé károsodnak a környező utak.

4. A REMIX SZEREPE A KÖZÚTHÁLÓZAT FEJLESZTÉSÉBEN

Robbanás a nehéz teherforgalom növekedésében

A nehéz teherforgalom nagysága az országos közúthálózaton 2000 óta megduplázódott. A kamionok számának további intenzív növekedése várható a következő években is. A kamionok vasútra, illetve a folyami hajózás keretében bakkákra terelése jelentős eredménnyel nem kecsegtet. A 2000–2007 közötti forgalmi teljesítmények változását a 1. ábrán láthatjuk.

A nehéz teherforgalom lebonyolítása igényli az általa terhelt útpályaszerkezet *újraépítését* lehetővé tevő felújítási technológia alkalmazását.

A felújítási technológiák differenciált alkalmazásának alapfeltétele a biztos alapokon nyugvó hálózattervezés.

Felújítási technológia és a hálózattervezés kapcsolata

Az országos közúthálózat különböző szintű elemei – részben a források elégtelen volta miatt – az elmúlt időkben eltérő mértékben kerültek/kerülnek fejlesztésre, illetve nem elegendő a meglévő hálózat fenntartására, felújítására rendelkezésre álló forrás, amely állandó problémát jelent. Évek óta elsődleges feladat a törzshálózat – mindenekelőtt a gyorsforgalmi utak – fejlesztése, a nemzetközi tengelyek hazai szakaszainak kiépítése, a meglé-

vő főúti elemek teherbírásának fokozása (11,5 tonnára történő burkolatmegerősítési program), így a hálózat elosztó, ráhordó – és a regionális szinten összekötő – szerepet játszó alacsonyabb rendű útjainak állapota folyamatosan romlik. Egy évben 2-3% hosszön történik beavatkozás az úthálózat teljes hosszára vetítve, ez 40-45 éves ciklust jelent. Ennek eredménye, hogy az országos utak fele nem megfelelő állapotú és mintegy harmadán közepes állapotminőségű a jellemző. Ezen tendencia eredményeként az alsóbbrendű utak szolgáltatási színvonala nagyon leromlott, az elkövetkező időszakban a szükséges beavatkozások tovább már nem halogathatók.

Az elmúlt évtized európai és világgazdasági történései alapvetően megváltoztatták Magyarország viszonyát globális és regionális környezetéhez. Az országhatárok jelentette korábbi zártság adminisztrációs, gazdasági, politikai, turisztikai szempontból, de jelentős mértékben fizikai valóságában is feloldódott, az ország kinyílt.

Ebben az időszakban, ahogyan erősödött a regionális szemlélet, a regionális fejlesztések szükségessége, úgy fokozódott az egyes régiók – így természetesen a határ menti régiók – igénye a megfelelő minőségű közlekedési kapcsolatok iránt. Az európai uniós csatlakozással a határok több lépcsőben eltűntek/eltűnnek, teljesen szabad teret engedve a határ két oldalán lévő régiók, kistérségek fejlesztési elképzeléseinek.

Mindez azt jelenti, hogy egyes kapcsolatok, határ menti utak szerepe, jelentősége felértékelődött/felértékelődik, több helyen az Európai Unió támogatásával el is kezdődött e kapcsolatok megújítása, új közúti kapcsolatok kiépítése. Ez óhatatlanul felveti a határ menti, határon átnyúló kapcsolatok felülvizsgálásának kérdését, az országos közúthálózatban betöltött új szerepük alapján. Mivel a fejlesztések általában a határ két oldalán egyszerre mennek végbe, célszerűen ezeket a szerepeket együttesen kellene vizsgálni mindkét oldalon.

Európai uniós tagállamként tehát a közlekedés kérdése, a kapcsolatok minősége, a szolgáltatások színvonala már nem csak az ország szempontjából érdekes és fontos, hanem a nagyobb európai közlekedési kapcsolatok tekintetében is.

Ezt a tényt a hálózatfejlesztés során is figyelembe kell venni: szemléletváltás szükséges. Az évtizedek óta emlegetett „határnélküliség” bekövetkezett, így a közúthálózatot már csak a határok nélküli nagyobb térség igényei alapján – az érintett országok úthálózatának összehangolásával – szabad fejleszteni. Ez természetesen sok megoldásra váró kérdést vet fel: hogyan hangolható össze a különböző közigazgatási rendszerű, eltérő jogrend és műszaki előírások szerint kialakult, különböző mértékben kiépült, eltérő kiépítési szinten és állapotban lévő hálózatok.

Hogyan kapcsolódik a hálózatfejlesztés kérdése és a Remix-eljárás/technológia?

A Schengeni Egyezmény értelmében 2007. december 21-én megnyitott, átjárhatóvá vált határok a közlekedési szokások változását hozták magukkal és már most látható, hogy jelentős forgalomátrendeződést eredményeznek. Ezt kisebb részben a tranzitforgalom szabad áramlása, nagyobb részben a határ menti térségek együttműködésének (gazdasági, kulturális stb.) erősödése idézte/idézi elő.

A határok megnyitása – a gazdasági világválság ellenére – nagyobb távlatban óriási fejlődési lehetőséget jelent az eddig „elzárt területként” létező határ menti térségekben. Ez viszont a szállítási és személyforgalmi igények növekedését, a forgalmi áramlatok irányának megváltozását eredményezik, amelyet a közlekedési

szolgáltatásnak is követnie kell. A transzeurópai hálózatot alkotó gyorsforgalmi utak fejlesztése mellett tehát ez jelentheti hiányzó, további új hálózati elemek kiépítését, illetve a meglévő utak/útszakaszok felújítását, teherbírásának növelését, amelyhez a Remix-technológia kedvezően alkalmazható. Természetesen nem hanyagolható el az ország területén meglévő ún. „fehér foltok”, rossz infrastruktúrával ellátott elmaradott térségek megközelíthetőségi igényeinek kellő színvonalú biztosítása sem.

Ez az igény kikényszerítheti az egyes országok közigazgatási rendszerének a közeledését is, Magyarországon elősegítheti a közigazgatási reform keretében a régiók kialakulását, hiszen a szükséges fejlesztések megvalósítása azonos „jogosítvánnyal” rendelkező térségek esetében alakulhat térben és időben kedvezően, azonos műszaki színvonalon, a kor követelményeinek megfelelően.

A megjelenő új közlekedési igényeknek megfelelő mértékű, kívánt színvonalú szolgáltatás viszont a jövőben csak akkor biztosítható, ha az érintett közép-európai térségre egy közösen készített fejlesztési koncepció készül, melynek a nagyjából már kialakult főhálózat mellett részletesen ki kell térnie a közvetlen térségi kapcsolatok erősödését – társadalmi, gazdasági fejlődését – elősegítő meglévő és tervezett hálózati elemekre is.

A nagytérségi kapcsolatokat feltáró fejlesztési elképzeléseket magában foglaló távlati koncepció mellett azonban *szükség van egy olyan fejlesztési program készítésére/készíttetésére is, amely a meglévő úthálózatból kiindulva feltárja az elmúlt időszakban (például a határok megszűnésével) bekövetkezett változások miatt fellépő új szállítási-, utazási igényeket, szokásokat. Ezek minél kedvezőbb kiszolgálása érdekében a fejlesztési programnak – szakmai alapokon nyugvó – a transzeurópai hálózatot jól kiegészítő, arra ráhordó, vagy éppen tehermentesítő, illetve térségeket feltáró gerincút-hálózati javaslatot kell tartalmaznia.*

A remix-technológia alkalmazásának itt lenne jelentős szerepe, hiszen az új forgalmi igények alapján „felértékelődő”, jelentős teherforgalmat levezető utak felújításánál – egyes hiányzó szakaszok – kiépítésénél hasznosítható kellő mértékben ez a nem túl olcsó, viszont hatékony, időtálló burkolatot biztosító eljárás.

A program keretében részletesen elemezni kell:

- a jelenlegi társadalmi, gazdasági, térségi stb. helyzetet,
- a kialakult/kialakulóban lévő új forgalmi igényeket, ezen belül a teherforgalom nagyságát, összetételét, alakulását,
- a meglévő, vizsgálatba bevont úthálózat elemeit, kiépítettségét, állapotát.

A felmérés adataiból kiindulva kell meghatározni az igényeknek megfelelő

- gerinchálózatot, annak egyes elemeit,
- a szükséges fejlesztéseket és beavatkozásokat,
- a feladatok megvalósítási ütemtervét,
- a remix-technológia alkalmazási területeit, helyeit,
- a program költségigényét és időszávját, valamint ki kell térni
- a folyamatban lévő egyéb (ROP, NÚP stb.) programokkal való összhangra.

Az így – a rendelkezésre álló pénzügyi források, technológiák összevetésével, egymásra épülésével, a reális igényekre – készülő átfogó program lehet alapja a kívánt szolgáltatások lehetőség szerinti térben és időben történő kedvező biztosításának, az „ad hoc” jellegű beavatkozások kiszűrésének.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ha a szakma szakít az újrahasznosítás kicsinyítő értelmezésével és bízik a kivitelezői lelkiismeretességben és szaktudásban, akkor egyértelmű, hogy a remix-eljárással épülő alaprétegek, kötő- és kopórétegek teljes felújítást jelentenek. Költségelemzés esetén egyenértékű változatokkal, új építésekkel hasonlíthatók össze.

A teherforgalom dinamikus növekedésével alkalmazása a minőségében leromlott közúthálózaton kikerülhetetlenné válik.

SUMMARY

ROLE AND PLACE OF RECYCLING TECHNOLOGIES IN THE NATIONAL ROAD NETWORK

The dynamic increase of heavy traffic causes serious deterioration in the national road network. On the other side recyclable materials and up-to-date recycling technologies are available. It would be important to provide proper role for recycling technologies like Remix in the realisation of the national road rehabilitation programme. The article analyses the advantages and disadvantages of cold and warm in-place recycling methods and provides an overview of the effects of different rehabilitation technologies on network planning.

DR. NEMESDY ERVIN DIPLOMADÍJ-PÁLYÁZAT

A Magyar Útügyi Társaság évente megjutalmazza azokat a fiatal mérnököket, akik diplomatervüket a Nemesdy Ervin tanszékvezető műegyetemi professzor által művelt, út- és vasútépítés szakterületen készítették. A diplomatervek magasszintű tevékenységről tanúskodnak, sokféle témában, melyek objektíven nem mérhetők össze.

A bírálókat szempontjai: a téma általános, országos érdekű, gazdaságossági szempontból fontos kérdéseket tárgyal vagy szűkebb területre érvényes vizsgálatokat, javaslatokat tartalmaz, illetve a szakirodalmi feldolgozás, a saját javaslatok, illetve a gyakorlati felhasználhatóság.

I. díj

Füleki Péter

Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar
Die Untersuchung der Anwendungsmöglichkeiten von Kompakt asphalt auf ungarischen Strassen (Kompaktaszfalt alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata)
Konzulensek: dr. Adorjáni Kálmán, Dr.-Ing. Prof. Elk Richter

II. díj

Ambrus Dávid

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar
Aszfaltkeverékek merevségvizsgálatainak összehasonlító értékelése
Konzulensek: Pethő László, Nyíri Szabolcs

Bocskai Zoltán

Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki Kar
Közúti aluljáró szerkezetválasztásának vizsgálata gazdaságossági szempontok alapján.
Konzulensek: Orbán Zoltán, Jaczó Zoltán

III. díj

Cserenyi Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki Kar
Autópálya biztonsági korlátainak feladata, hatása
Konzulensek: dr. Debreczeni Gábor, Bakonyi Zoltán.

Fischer Szabolcs

Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar
Vasúti átmeneti ívek és túlelemelések összehasonlítása a klotoid, a koszinusz és a Wiener Bogen átmeneti ívek figyelembevételével az ENV 1380 3-1, illetve az ÖBB vonatkozó szabványa, valamint az OKVPSZ és az OVSZ alapján, V=120–160 km/h sebességtartományban, normál nyomtáv esetén
Konzulensek: dr. Horvát Ferenc, Both Tamás

IV. díj

Németh László

Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar
Balesetsűrűsödési helyek vizsgálata Zala megye országos közúthálózatán
Konzulensek: Büki Zoltán, Wimmer József

Szaradics Ilona

Széchenyi István Egyetem, Műszaki Tudományi Kar
Fuzzy irányítási rendszerek alkalmazási lehetőségei a hídgazdálkodásban
Konzulens: Agárdy Gyula

Tóth József

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar
A Falling Weight Deflectometer által szolgáltatott adatok felhasználása az útállapot értékelése során
Konzulensek: dr. Fi István, Sík Csaba

Magyar Útügyi Társaság
Publikációs bizottsága

BETONBURKOLATOK SZAKKÖNYV ELŐZETES



Az M7-es autópálya építésének 1975-ös ideiglenes megszakítása után a betonburkolat az M0 keleti szektorában, az M5 és az M4 közötti 13 km hosszú szakaszon, 2005-ben tért vissza az országos közúthálózatra. Azóta 2008-ban újabb 26 km betonburkolatú autópályával bővült az M0 keleti szektora, építés alatt van ugyancsak ilyen burkolattal a 12 km hosszú M31-es autópálya. Az M0 déli szektorának bővítésére 2007. december óta folyamatosan jelennek meg a tenderek, ugyancsak betonburkolattal. Szegeden 2008-ban az 5-ös főút ún. „Cora-csomópontjában” veszélyesen nyomvályúsodott egyik haladó- és előzősávját vékonybetonnal újították fel (White Topping).

Ezt a látványos visszatérést hatéves fejlesztő munka és az a felismerés alapozta meg, hogy rendkívül nehéz forgalommal terhelt közutakon a betonburkolatú merev útpályaszerkezet az, amely sikerrel száll szembe a forgalom drasztikus hatásaival, legalább negyvenéves életciklus ígéréssel. A visszatérést megkönnyítette az a tapasztalat, amit az útépítő ipar a múlt század nyolcvanas éveitől a repülőterek és nagy felületű kereskedelmi térburkolatok építésében szerzett.

A kényszerű távollét értelemszerűen háttérbe szorította a betonburkolatokat a műszaki egyetemi és főiskolai oktatásban. Nincs ma magyar nyelvű szakkönyv a témában.



A Magyar Útügyi Társaság ezt felismerve, Betonburkolatok című szakkönyv kiadására szánta el magát. A könyv tíz fejezetben foglalkozik a betonburkolatok fajtáival, azok tervezésével és méretezésével, felüljáró hidakon, alagutakban való átvezetésével, a repülőtereken, ipari térburkolatokon alkalmazott betonburkolatok tervezésével, a számítógép-támogatású interaktív betonburkolat-tervezéssel, a betonburkolatok anyagaival, építéstechnológiájával, az építés minőség-ellenőrzésével, a betonburkolat mint építmény minősítésével, fenntartásával és üzemeltetésével. A könyv függeléke egy méretezési program leírását és alkalmazását lehetővé tevő szoftvert is magában foglal.

A könyv főszerkesztője dr. Keleti Imre. A szerzői kollektíva: dr. Boromisza Tibor, dr. Farkas János, Fördös László, dr. habil. Gáspár László, dr. Karsainé Lukács Katalin, dr. Kausay Tibor, dr. Keleti Imre, Kolozsi Gyula, dr. Kovács Tamás, dr. Lengyel Endre, dr. Léderer Károly, dr. Liptay András, Tászkainé Gáspár Tünde, Vörös Zoltán.

A MAÚT reméli, hogy ez év végére a könyv nyomdakész állapotú lesz és 2010-ben megjelenik.

A Magyar Útügyi Társaság
Publikációs bizottsága

Fotó: Deák-Kapusi

700 Ft