

Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola

A doktori iskola vezetője:

Dr. Lakatos István
egyetemi tanár, az MTA tagja

Cölöpalapok méretezése
az Eurocode 7 követelményei szerint
doktori (PhD) értekezés tézise

Szerző:

dr. Szepesházi Róbert
okl. építőmérnök, geotechnika szakmérnök, dr. univ.

Kutatóhely:

Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Környezetgazdálkodási Intézet
Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Intézeti Tanszék

Témavezető:

dr. Szabó Imre
egyetemi tanár

2011. február

1. Kitűzött kutatási feladat

Napjainkban az alapozási feladatok mind *nagyobb részét* oldjuk meg *cölöpözéssel*, s az elmúlt 15 évben Magyarországon a cölöpözési technológiák között *dominánssá vált a CFA-eljárás*. A támasztófolyadék vagy a béléscső védelmében lehajtott fúrt cölöpök csak a 120÷150 cm átmérőtartományban maradtak meg. A hagyományos előregyártott vert cölöpök visszaszorultak, megjelentek, de nehezen törnek át a korszerűbb (hengeres, kúpos, feszített, toldható) változatok. A talajkiszorításos cölöpök veréssel, vibrálással lehajtott, helyben betonozott típusait is ritkán alkalmazzák, s időigényessége miatt itthon szinte el is tűnt az egykor oly népszerű Franki-módszer. Terjed ugyanakkor Magyarországon is a talajkiszorításos cölöpök új típusa, a *csavart cölöp* (Screwpile, Omega, Atlas, TSD, CMC stb.), és sokan azt várják, hogy alkalmazása 10 éven belül a CFA-énál gyakoribb lesz. Ennek készítése ugyanis szintén gyors, nem zavarja a környezetet, ugyanakkor nem produkál elszállítandó (és gyakran veszélyes hulladékként kezelendő) talajt és fajlagos teherbírása a talajkiszorítás okán nagyobb lehet.

Közismert, hogy a cölöpteherbírásban lényeges szerepe van a készítési technológiának. Így az újabb cölöptípusok megjelenése, az alkalmazási arányok változásai új feladatokat rónak a cölöpalapozásokat méretező mérnökökre. A cölöpözés volumenének növekedése ugyanakkor fokozza a gazdaságosabb méretezés iránti igényt. A geotechnikával tudományos szinten foglalkozóktól ezért elvárható, hogy e kihívásokra választ keressenek: olyan *méretezési módszereket* dolgozzanak ki, melyekkel a különböző típusú cölöpök egységes rendszerben, gyorsan, megbízhatóan és gazdaságosan méretezhetők.

2011-től a tartószerkezeteket, s köztük a geotechnikai szerkezeteket is, az *Eurocode-ok* (EC-ok) követelményeinek megfelelően kell tervezni (Szepesházi, 2008). A cölöpök méretezésekor elsősorban azt kell igazolni, hogy sem az egyedi cölöp, sem a cölöpcsoport nyomási ellenállásának kimerülésével nem következik be GEO teherbírási határállapot. Vizsgálni kell továbbá, hogy a cölöpalap elmozdulása – a további hatásokkal együtt – nem okoz-e a felszerkezetben STR teherbírasi vagy használhatósági határállapotot. A méretezés kulcskérdése az egyedi cölöp *nyomási ellenállása*, ha ez 2,0÷2,5 biztonsággal meghaladja az igénybevételt, és a cölöpök tengelytávolsága eléri az átmérő (2,5÷3,0)-szorosát, akkor a többi követelmény általában teljesül.

A nyomási ellenállás meghatározására az EC 7-1 három módszert fogad el. A statikus és a dinamikus próbaterhelést illetően alapvetően új követelményt nem ad. (Várhatóan a közeljövőben megjelennek az ezek technikai részleteit szabályozó európai előírások is.) A *talajvizsgálatokon alapuló számítás* módját az EC 7 pontosabban nem definiálja. Szondázások és laboratóriumi nyírószilárdsági vizsgálatok eredményeire épülő számítások jöhetnek szóba, de tételesen nincs kizárva az sem, hogy pusztán azonosító vizsgálatokra támaszkodva vegyük fel a fajlagos cölöpellénállásokat. A hazai gyakorlatban – talán részben a témában közzétett egyik cikkem (Szepesházi, 2001) nyomán is – egyre inkább a *CPT-n alapuló számítás* nyer teret. Az általában 10÷20 m hosszú cölöpök talajkörnyezetét ugyanis a gyakorlat igényeinek és lehetőségeinek megfelelően szinte csak ezzel lehet megismerni, illetve mechanikailag jellemezni.

Fontos követelménye viszont az EC 7-nek, hogy talajvizsgálaton alapuló számítás-ként csak olyan eljárások jöhetnek szóba, melyek *alkalmasságát statikus próbaterheléssel* hasonló talajok esetében hasonló típusú és méretű cölöpökre már *igazolták*. Az EC 7-2 csak ajánlott mellékletében a német és a holland szabvány módszereit ismerteti, melyek alapvetően talán megfelelnek az előbbi elvárásnak, de ezt a szabvány egyértelműen nem mondja ki. Szükséges tehát, hogy közmegegyezéssel elfogadjunk egy olyan *méretezési módszert*, melyet a jellemző hazai talajokban a megszokott hazai technológiai színvonalon készített cölöpökön *kalibráltak*.

Az EC-ok eredeti dokumentumai többféle módon viszik be a cölöptervezésbe a biztonságot, s megengedik, hogy minden nemzet (részben) maga válassza meg ennek módját és számszerű értékeit. A hatás oldalán a korábbiaknál nagyobb parciális tényezőket ajánlanak, melyek azok inherens bizonytalansága mellett a meghatározásukra alkalmazott számítási modell bizonytalanságának kompenzálására is hivatottak. A teherkombinációkban egynél kisebb egyidejűségi tényezőkkel veszik figyelembe, hogy bizonyos hatások egyidejű megjelenésének kisebb a valószínűsége. E tényezők meghatározása a magyarországi tervezéshez a tartószerkezeti tervezők közösségére tartozik, s ők Magyarországra elfogadták az EC-ok eredeti ajánlásait.

Az ellenállások oldalán parciális tényezőkkel csökkentjük tervezési értéké a karakterisztikus értékeket. Csökkentést kell alkalmazni azonban már a karakterisztikus érték meghatározásakor: a próbaterheléssel vagy számítással megállapított ellenállást a megállapítás módjától és a vizsgálatok számától függően felveendő korrelációs tényezővel kell osztani. A számításos módszer alkalmazásakor bevezethető még egy további biztonsági eszköz: az egynél nagyobb modelltényezőknek az ellenállás számításának a bizonytalanságait kell kompenzálniuk. E biztonsági eszközök értékét a geotechnikusoknak az EC 7 *nemzeti mellékletében* kellett megadniuk. A 2007-ben kiadott szöveg értekezésem e vonatkozású részének első változata (Szepesházi, 2006 és 2007) alapján készült. Az új, itt megjelenő elemzések s a most már élessé váló gyakorlati alkalmazás azonban indokolja a felülvizsgálatot.

A felvázolt kérdéskörrel több, mint 20 éve foglalkozom. A Széchenyi István Egyetem égisze alatt az elmúlt 15 évben kb. 140 cölöppróbaterhelést hajtott végre az általam irányított munkacsoport. A CPT-alapú cölöpméretezést egy 1995 évi hollandiai tanulmányút nyomán elsőként kezdtem idehaza alkalmazni, és sok hazai, főleg hídépítési projektben folytattam azt. Az európai geotechnikai szabványok honosítását a Magyar Szabványügyi Testület Különleges alapozások bizottságának elnökeként kb. 10 éve irányítom. E tevékenységek révén nem volt nehéz felismernem az előbbieken felvázolt igényeket és hiányokat, ugyanakkor szert tudtam tenni annyi szakismeretre és információra, hogy a megfogalmazódó feladatok megoldására vállalkozhassak.

PhD-kutatósi feladatomból ezért kézenfekvő volt egy olyan új cölöpméretezési rendszer kidolgozását választani, mely

- minden gyakran készülő cölöptípusra alkalmazható,
- a Magyarországon jellemző talajok nagy többségére érvényes lehet,
- CPT-vizsgálattal meghatározható adatokra támaszkodik,
- illeszkedik a nemzetközi gyakorlathoz, illetve hasznosítja annak eredményeit is,
- a hazai próbaterhelési eredmények tükrében kellően megbízhatónak bizonyul,
- az EC-ok biztonsági rendszerét használja a kívánatos biztonságot adó értékekkel,
- gyorsan, hatékonyan használható,
- egyszerű, könnyen korrigálható képleteket és szabályokat tartalmaz.

A kutatás célja szerint alkalmazott kutatás: egy mindennapi geotechnikai mérnöki feladatnak az új európai szabványok követelményeit teljesítő megoldásához kívántam egy új eszközt nyújtani.

2. Alkalmazott módszerek, források, adatgyűjtés, eszköztár, elvégzett vizsgálatok

Az alkalmazható kutatási módszereket, eszköztárat, forrásokat a megfogalmazott feladat lényegében meghatározta. A következő módszerekkel dolgoztam:

- a nemzetközi szakirodalom összehasonlító kritikai elemzése,
- cölöppróbaterhelések rendjének, eszközeinek kifejlesztése és nagyszámú végzése,
- a próbaterhelési eredmények jellegzetességeinek megfigyelése, matematikai leírása,
- cölöpméretező Excel-program készítése,
- cölöppróbaterhelési adatbázis összeállítása,
- a statisztika eszközeinek alkalmazása az eredmények értékelésében,
- a megbízhatósági eljárás alkalmazása a cölöpméretezésre,
- a méretezési biztonsággal kapcsolatos információk szintézise.

A *nemzetközi szakirodalom feldolgozása* a jelen feladatban nem pusztán a szokásos célt, a szakterület állásának bemutatását, a kutatás kiindulási helyzetének rögzítését szolgálta. A megvizsgált cölöpméretezési módszerek egy részét már nemzeti szabványokban is elfogadták, más részük megbízhatóságát szabatos összehasonlító vizsgálatokkal vagy (csak) tapasztalat alapján minősítették. Ekként úgy tekinthető, hogy ezek a gyakorlatban beváltak, alkalmasságukat próbaterhelések sokasága igazolta, ami az EC 7 szerint feltétele a talajvizsgálaton alapuló számítások alkalmazásának. A fellelt módszerek összehasonlító analízise és szintézise révén így olyan (főként a technológia hatását figyelembe vevő) paramétereket tudtam az új méretezési rendszerbe adaptálni, melyeket egyébként hazai vizsgálatokra alapozva valószínűleg még sokáig nem lehetne megállapítani. Az analízis hozzásegített továbbá új képletek felírásához is.

Cölöppróbaterhelést a Széchenyi István Egyetem égisze alatt először 1992-ben végeztünk, s azóta folyamatosan fejlesztettük a terhelő-, mérő- és adatrögzítő berendezéseket, a terhelési és mérési rendet, valamint a feldolgozás módszereit. Mindenkor a maximális pontosságra törekedtünk, hogy így a napi gyakorlat igényeit meghaladva, tudományos értékelésre is alkalmas információkhoz juthassunk. A máig elvégzett kb. 140 vizsgálatra azért is vállalkoztunk, hogy információbázisunk kellő terjedelmű is lehessen.

A *próbaterhelések feldolgozását* mindenkor magam végeztem. Ennek során – az aktuális és rutinjellegű elvárások teljesítésén túl – törekedtem egy igényesebb értékelésre. Igyekeztem felfedezni, hogy a próbaterhelés eredményeiben miként jelennek meg a cölöp viselkedésének jellegzetességei, elsősorban a cölöpellénállás két összetevőjének, a talp- és a palástellenállásnak a terhelés közben változó aránya. Ennek vizsgálatára különböző matematikai eszközöket, elsősorban a függvényanalízist alkalmaztam.

Cölöpméretező Excel-programot készítettem a szakirodalom és saját tapasztalataim alapján összeállított új módszerre, mely a célok között megfogalmazott gyors, hatékony alkalmazást teszi lehetővé. A feladat megoldásához több „ügyes” programozási fogásra volt szükség, s az Excel lehetőségeit maximálisan ki kellett használni.

Adatbázist állítottam össze a méretezési eljárás, illetve az Excel-program próbájához a SZE által végzett próbaterhelésekből. Ebbe csak előzetesen felvett kritériumoknak megfelelő eseteket vettem be. Az adatokat úgy szerkesztettem Excel-fájlokba, hogy azok a cölöpek, illetve a próbaterhelés minden lényeges adatát tartalmazzák, s össze lehessen kapcsolni őket a méretezőprogrammal. A teljes nyomási ellenállások mellett belevettem a szétválasztásukra kidolgozott módszerek alkalmazásával nyert komponenseiket is. Tartalmazza az adatbázis a méretezőprogrammal utólag elvégzett számítás eredményeit, és azoknak a mért adatokkal való összehasonlítását is. Az adatbázisba került tételekből 63 CFA-cölöp lett alkalmas a méretezési módszer kalibrálására.

A matematikai statisztika és a valószínűségelmélet eszközeivel vizsgáltam a próba-terhelés során mért és a méretező programmal (utólag) számított nyomási ellenállások (és komponenseik) viszonyát. A viszonyszámok statisztikai paramétereinek és eloszlásának értékelése mellett elemeztem a mért és számított jellemzők korrelációját is. A 63 tételt egyetlen halmazként is vizsgáltam, de talajtípusokra (szemcsés és kötött) elkülönítetten is.

A megbízhatósági eljárást alkalmaztam a méretezési biztonság elemzésére, a szükséges globális biztonsági és parciális tényezők megállapításához. Ehhez levezettem a nyomási ellenállás relatív szórását a talpellenállási arányszám bevezetésével, megkülönböztetve a különböző teherviselésű (álló, lebegő és kombinált) cölöpöket. Figyelembe vettem, hogy a nyomási ellenállást befolyásoló elemeknek mekkora a relatív szórása, illetve, hogy milyen függvény írja le a hatásukat. A relatív szórásokat irodalmi adatok vagy tapasztalati megfontolás (szakértői becslés) alapján vettem fel.

A méretezési biztonsággal kapcsolatos információk szintézisével állapítottam meg az EC 7 nemzeti mellékletébe bevezetendő biztonsági paramétereket. Figyelembe vettem az eddigi magyar szabványok és az EC 7 eredeti dokumentuma által ajánlott értékeket, a bizonytalanságnak a kidolgozott méretezési módszer próbájával megállapított paramétereit, valamint a biztonságnak a megbízhatósági eljárás szerint szükséges értékeit.

Megállapítható, hogy alapvetően új és speciális vizsgálati eljárásokat nem alkalmaztam, az alkalmazott módszerek, eszközök ismert részei az építőmérnöki tudományoknak. Hozzáteszem azonban, hogy pl. 1996-ban a méretezési módszer első alkalmazásakor a CPT (statikus szondázás) Magyarországon még új eszköznek számított, vagy hogy pl. a próbaterhelések rendjét illetően az 1990-es évek közepén új minőséget hoztunk létre, végül, hogy pl. a megbízhatósági eljárást a cölöpalapozásokra tudomásom szerint még senki sem alkalmazta.

3. Tudományos eredmények és hasznosításuk

1. téziscsoport – egy új cölöpméretezési módszerről

Új CPT-alapú cölöpméretezési módszert állítottam össze a nemzetközi gyakorlatban alkalmazott eljárások összehasonlító és kritikai analízise, illetve szintézise alapján, támaszkodva saját tervezési és próbaterhelési tapasztalataimra is.

A módszer a CPT q_c csúcsellenállási adatát használja fel, ezzel viszonylag olcsó és gyors talajmechanikai előkészítést kíván. Főleg a hazai cölöpözési gyakorlatban domináns CFA-cölöpre ad jól alkalmazható és megbízható eszközt. A további cölöptípusokra a szakirodalom alapján, valamint a technológiai különbségeket mérlegelve adtam javaslatot a képletekben szereplő technológiától függő szorzókra, illetve a fajlagos ellenállások felső korlátjára.

1.1. tézis

A szemcsés talajokban ébredő ellenállások számítására a nemzetközi gyakorlatban használatos és az EC 7 által is ajánlott eljárások analízise alapján a

$$q_b = \lambda_b \cdot \alpha_b \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{clm} + q_{cllm}}{2} + q_{clllm} \right) \quad \text{és} \quad q_s = \alpha_{sq} \cdot \sqrt{q_c}$$

képleteket ajánlottam, melyekben q_b a fajlagos talpellenállás, illetve q_s a fajlagos palástellenállás (mindkettő kPa-ban), a q_{ci} mennyiségek a talp körüli jellemző CPT-csúcsellenállásokat jelentik az EC 7 értelmezésének megfelelően, q_c a CPT-csúcsellenállás palást mentén bármely mélységben mért értéke (kPa-ban), $\lambda_b=0,6$ redukciós tényező, α_b és α_{sq} a technológiától függő szorzók, melyekre a nemzetközi ajánlások összevetése alapján javaslatot adtam.

A talpellenállás számítására szolgáló összefüggés az EC 7-2 által ajánlott, itthon is használt képletből ered, ám azt csak úgy találtam megfelelőnek, ha a vele számított értéket 60 %-ra redukáljuk. A redukció szükségességére vannak utalások a szakirodalomban is, magam a próbaterhelési eredményekkel való összehasonlítás nyomán jutottam erre, s a mértékét a CFA-cölöpre adtam meg. E redukció szükségessége arra is felhívja a figyelmet, hogy a CFA-cölöp talpkészítési módszerét indokolt/lehet javítani.

A palástellenállás számítására ajánlott képlet a nemzetközi gyakorlatban használatos „kvázi-lineáris” módszerek helyett ad ésszerű megoldást. Kiküszöböli azon ellentmondásukat, hogy növekvő q_c -értékekhez csökkenő α_s szorzókat ajánlanak. Az ellentmondást felismerve, a különböző ajánlásokat összevetve (1. ábra) vettem fel a „gyökös” függvényt. A próbaterhelések eredményeivel való összehasonlítás során nyert sokkal jobb egyezés azután bizonyította az új képlet helyesebb voltát.

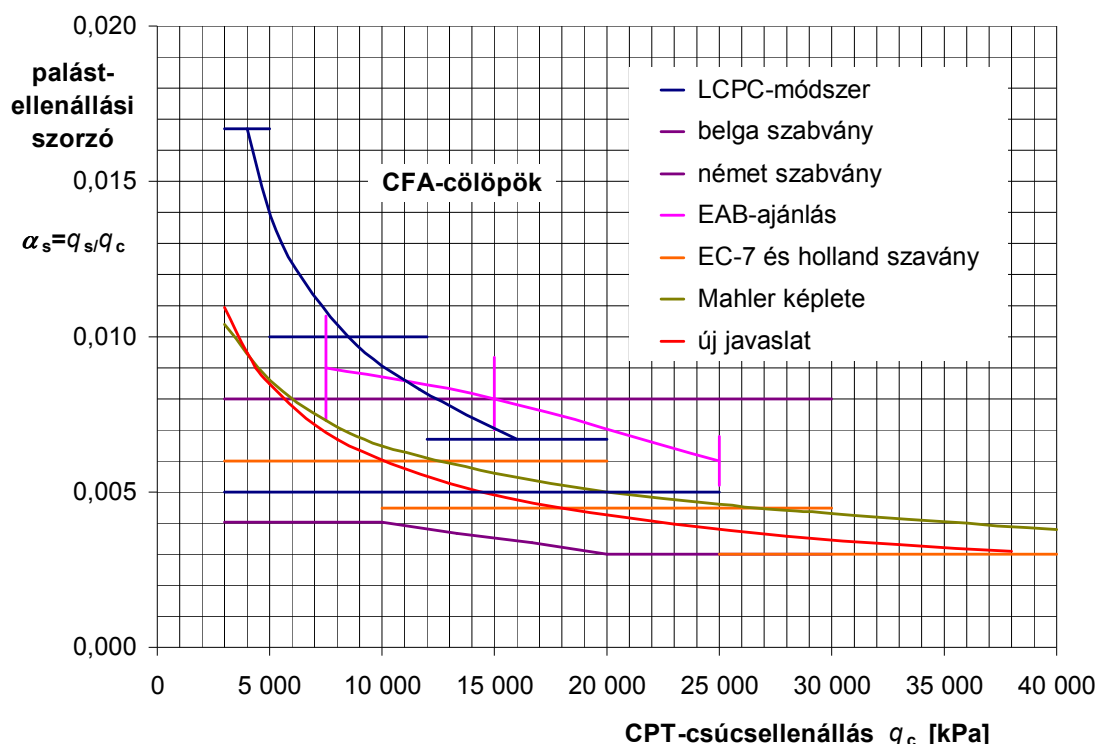
1.2. tézis

A kötött talajokban ébredő ellenállások számítására a c_u drénezetlen nyírószilárdságon alapuló, a nemzetközi gyakorlatban használt képletek összevetése alapján, a $c_u=q_c/N_k$ képlet és $N_k=15,5$ érték, továbbá ésszerű matematikai átalakítások bevezetésével a

$$q_b = 0,6 \cdot \mu_b \cdot q_c \quad \text{és} \quad q_s = 1,2 \cdot \mu_s \cdot \sqrt{q_c}$$

képleteket ajánlottam, melyekben q_b a fajlagos talpellenállás, illetve q_s a fajlagos palástellenállás (mindkettő kPa-ban), q_c a CPT-csúcsellenállás (kPa-ban, a talpellenállás esetében a talp feletti $1,5 \cdot D$ és a talp alatti $3,0 \cdot D$ közti zóna átlagértéke, a palástellenállás esetében a palást mentén bármely mélységben mért érték), μ_b és μ_s a technológiától függő, melyekre a nemzetközi ajánlások összevetése alapján javaslatot adtam.

A talpellenállásra vonatkozó képlet Skempton világszerte elfogadott $q_b = 9 \cdot c_u$ összefüggéséből a $c_u = q_c / 15,5$ képlet bevezetéséből adódik. A palástellenállásra vonatkozó képlet a nemzetközi gyakorlatban α -módszernek nevezett eljárásból ered. Ezt Varga László professzorral közösen az ME 15005/2:89 előírás készítésekor ésszerű formában fogalmaztuk meg, kiküszöbölve az α -módszer ellentmondását. A képletet az új információk alapján kis mértékben módosítottam, majd ebbe is bevezettem a $c_u = q_c / 15,5$ képletet. A próbaterhelési eredményekkel való összehasonlítás mindkét ellenállást illetően azt mutatta, hogy N_k -nak a talaj kötöttségétől függő (13÷18 közötti) felvétele nem ad jobb eredményt, s a kötöttség pontos mértéke egyébként is gyakran ismeretlen.



1. ábra. A szemcsés talajok esetén alkalmazható palástellenállási szorzók összevetése

2. téziscsoport – a próbaterheléssel megállapított ellenállás szétválasztásáról

Igényesen végrehajtott próbaterhelések eredményeit különböző (főként grafikus) eljárások segítségével feldolgozva a nyomási ellenállás megállapításán túl annak két komponensére is adható a tervezés számára értékes becslés.

A komponensek meghatározása teszi lehetővé, hogy a próbacölöphöz hasonló talaj-környezetben készülő, hasonló (de nem azonos) méretű és helyzetű cölöpök ellenállását további próbaterhelések nélkül ellenőrizzük, illetve a cölöpalapozás tervét valamennyire módosítsuk, ha az szükséges. A módszert a disszertációban a kidolgozott új méretezési eljárás pontosítására használtam.

2.1. tézis

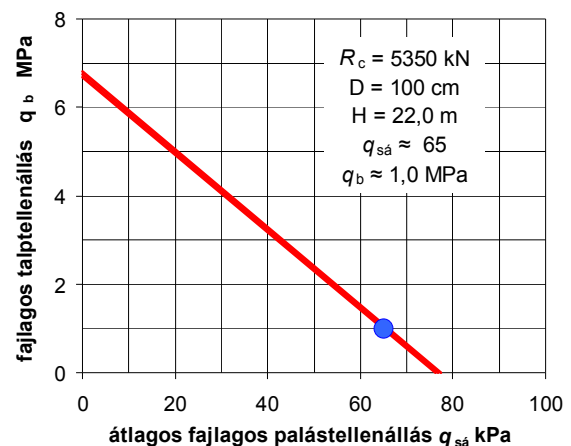
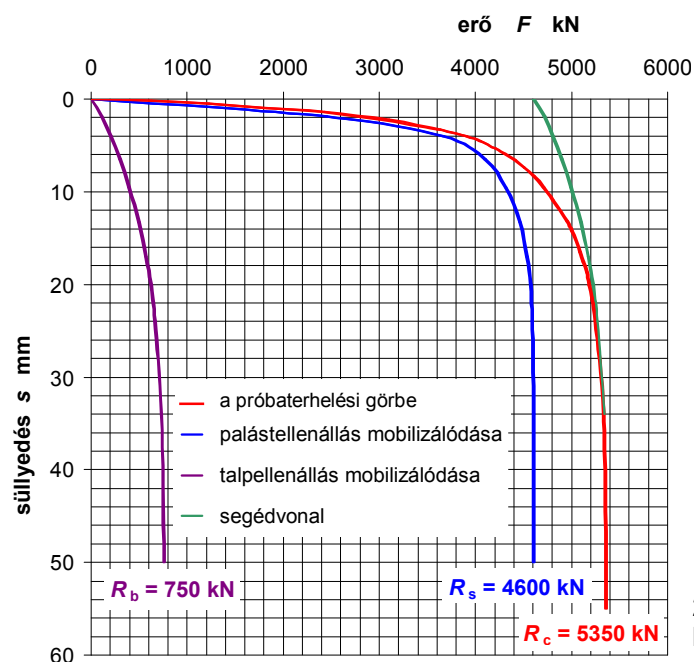
A próbaterhelés értékelésekor az erő-süllyedés görbe alakja alapján – felhasználva a két ellenállás-komponens különböző mobilizálódásával kapcsolatos ismereteket – a görbét az $s = (0,02 \div 0,03) \cdot D$ süllyedéstől az erő-tengelyre visszavetítve kijelölhető a legvalószínűbb palástellenállás (2. ábra).

A cölöpök süllyedési folyamatának elemzéséből is lehet következtetni arra, hogy melyik teherlépcsőben fejeződött be a palástellenállás mobilizálódása, s így annak nagysága közelítőleg megállapítható. A cölöp viselkedésének ezzel járó megváltozását jelzi

- a konszolidációhoz szükséges idő markáns megnövekedése,
- a normalizált konszolidációs görbe alakjának lényeges megváltozása,
- az azonnali és konszolidációs süllyedés különbségének $\sim 1,0$ mm-re való növekedése.

A cölöpörő függőleges változásának mérései szerint az $s=(0,02\div 0,03)\cdot D$ süllyedés után már csak a talpellenállás növekszik, a palástellenállás addig teljesen mobilizálódik. A 2. ábra szerinti visszavetítéskor olyan vonalat kell rajzolni, melynek görbülete az $s>(0,02\div 0,03)\cdot D$ szakaszhhoz képest visszafelé kissé nő. A módszer nem teljesen egyértelmű, de a gyakorlat igényeit kielégíti, főleg ha a palástellenállás aránya nagyobb.

A süllyedés – idő kapcsolatra vonatkozó kritériumokat grafikus feldolgozással lehet hatékonyan vizsgálni, de elegendő lehet az egyes teherlépcsők konszolidációs görbéinek intuitív értékelése. Ezek csak akkor alkalmazhatók, ha mindegyik teherlépcsőben azonos a tehernövelés sebessége, állandó értéken tartják a terhet, s azonos süllyedési sebesség (esetünkben 0,025mm/5min) eléréséig tart a vizsgálat, s ha pontos a mérés.



3. ábra. A cölöpteherbírási vonal használata

2. ábra. A nyomási ellenállás komponensekre bontása a próbaterhelési görbe alakja alapján

2.2. tézis

A cölöpellennállások előbbiekben ismertetett szétválasztásának helyessége ellenőrizhető

- a mért teljes cölöpellennállás és a cölöp geometriai jellemzőiből szerkeszthető $q_{sá} - q_b$ cölöpteherbírási vonal segítségével (3. ábra),
- a cölöpfejnek a végső tehermentesüléskor bekövetkező visszaemelkedését rugalmas cölöpösszenyomódásként értelmezve, a levezetett képletek segítségével.

A cölöpteherbírási vonal a fajlagos ellenállásoknak a mért teljes cölöpellennállást biztosító értékpárjait mutatja. A többi módszerrel vagy előzetes számításokkal megállapított értékpárokat jelölő pont(ok) és a teherbírási vonal összevetésével az előbbiek ellenőrizhetők. Alkalmas gyors tájékozódásra, megállapítható pl. vele, hogy a talpellenállást nem gyengítette-e technológiai hiba. Ha ugyanazon talajkörnyezetben kettő vagy több, kissé más méretű cölöp készül, akkor összemetsződő vonalakat is kaphatunk, s a metszéspont koordinátái tekinthetők a fajlagos ellenállások legjobb becslésének.

A cölöpfejnek próbaterhelés végén végrehajtott teljes tehermentesítése után mért visszaemelkedését a cölöpnek a legutolsó teherlépcsőben alkalmazott erő által okozott rugalmas összenyomódásaként fogadhatjuk el. Ha reális feltevést tudunk tenni a fajlagos palástellenállás mélységbeli változásának jellegére, akkor a palástellenállás értéke a megadott képlettel becsülhető. A módszert bizonytalanságok terhelik, leginkább a „fiatal” beton rugalmassági modulusának bizonytalansága.

3. téziscsoport – az új cölöpméretező módszer megbízhatóságáról

Az általam összeállított új CPT-alapú cölöpméretezési módszert egy sajátkészítésű Excel program segítségével 63 általam vezetett próbaterhelésből álló adatbázison ellenőriztem. Számszerűen minősítettem a módszer megbízhatóságát, és megállapítottam, hogy az megfelel a geotechnikai gyakorlatban szokásos elvárásoknak.

A méretezési módszer – különösen a szemcsés talajban ébredő talpellenállás tekintetében – gyorsan és hibamentesen csak számítógéppel alkalmazható, ezért szükséges volt a program megalkotása. A statisztikai próba elengedhetetlen ahhoz, hogy megfeleljünk az EC 7 1. pontban említett igazolási követelményének. A megbízhatóság kimutatott jellemzői hasznosíthatók a méretezési biztonság nemzeti paramétereinek a megállapításában.

3.1. tézis

A próbaterheléssel mért és az új módszerrel számított cölöpellenállások viszonyszámának statisztikai paraméterei (1. táblázat) azt mutatják, hogy a számítási módszer egészében megbízhatónak minősíthető, a legbizonytalanabb számítási eredmény a szemcsés talajbeli talpellenállás. A viszonyszám egy -0,079 átlagú, 0,163 szórású log-normális eloszlással jellemezhető, mely hasonlóan kedvező minősítést enged meg.

A teljes cölöpellenállás viszonyszámainak átlagai 1,0-től alig különböznek, s a 0,15 körüli relatív szórás tulajdonképpen váratlanul kedvező. A palástellenállás megbízhatósága még jobb, különösen örvendetések a szemcsés talajokra kapott paraméterek, mert jelzik, hogy helyes volt áttérni az új „gyökös” képletre. (Csak szemcsés talajbeli palástellenállásra vonatkozó adat ugyan kevés van, de az „összes palástadat” mögött még igen nagy arányban van túlnyomó részben szemcsés talajbeli palástellenállás.) A talpellenállás kisebb megbízhatóságát bizonyosan a technológia erős befolyása okozta. A $\kappa_b > 1,0$ jellemzőjű talpellenállások esetében felmerülhetne a számítás konstansainak módosítása, de következő tézis kapcsán látni fogjuk, hogy az helytelen volna.

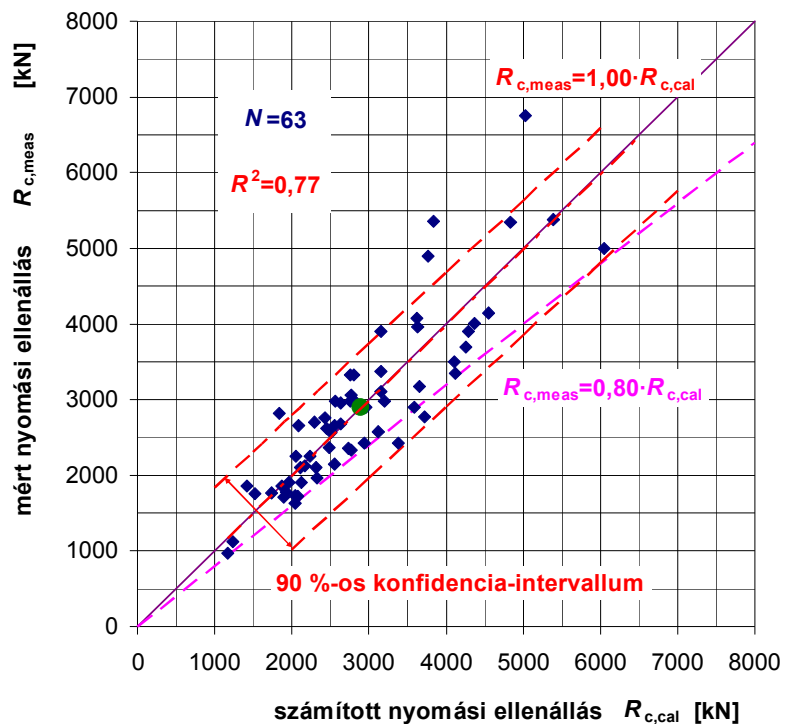
1. táblázat. Az új méretezési eljárás megbízhatóságának mutatói a CFA-cölöpök esetén

cölöp- ellenállás	talaj- fajta	darab- szám	mért és számított ellenállás viszonyszáma		mért és számított ellenállások lineáris korrelációjának jellemzői		
			átlag- érték	relatív szórás	regressziós egyenes meredeksége	regressziós együttható	5 % alulmúlási vonal meredeksége
		N	κ_l	ν_l	a_1	R^2	a_2
teljes nyomási ellenállás R_c	összes	63	1,01	0,17	1,00	0,77	0,80
	szemcsés	10	1,01	0,11	0,98	0,91	0,85
	kötött	14	1,01	0,15	1,05	0,85	0,85
fajlagos palást- ellenállás q_s	összes	63	0,98	0,13	0,99	0,67	0,80
	szemcsés	12	0,97	0,08	0,96	0,85	0,85
	kötött	18	1,02	0,13	1,03	0,72	0,85
fajlagos talp- ellenállás q_b	összes	63	1,07	0,32	0,96	0,71	0,70
	szemcsés	40	1,09	0,34	0,95	0,71	0,70
	kötött	23	1,03	0,27	0,99	0,63	0,75

3.2. tézis

A próbaterheléssel mért és az új módszerrel számított cölöpellennállások korrelációjának vizsgálata (1. táblázat és 4. ábra) alapján megállapítható, hogy az új módszer az ellenállások széles tartományára ad elfogadható megbízhatóságú eredményt. A módszer a saját keretein belül egészében már lényegében nem javítható, hiszen a regressziós egyenes meredeksége az összes adatra 1,0. A komponensekre kapott $a_1 < 1,0$ értékek az ellenállás néhány %-os túlbecslését jelzik. Az a_2 értékek szerint az ellenállás oldalán $1/a_2 = 1,18 \div 1,43$ biztonság kívánatos. A korrelációs paraméterek is azt mutatják, hogy a szemcsés talajok talpellenállása a legbizonytalanabb adat.

A teljes nyomási ellenállásra vonatkozó vizsgálatot mutató ábrán látható a 90 % valószínűségű konfidencia-intervallum is. Ebből lefelé egyetlen adat sem esik ki, tehát a nyomási ellenállás túlbecslése egyetlen esetben sem volt kritikus mértékű. A további felhasználáshoz helyesebbnek látszott a konfidencia-vonalak helyett olyan, az origóból induló a_2 hajlású egyenest intuitíve berajzolni, mely alá legfeljebb az adatok 5 %-a esik. Az $1/a_2$ érték ugyanis egy olyan biztonsági tényezőnek tekinthető, mely biztosítja, hogy a számítottnál kisebb teljes nyomási ellenállás legfeljebb az esetek 5 %-ában fordul elő.



4. ábra. A mért és számított teljes nyomási ellenállások korrelációja

4. téziscsoport – a cölöpméretezés biztonságáról

A cölöpméretezés szükséges biztonságának megítéléséhez az eddigi magyar szabványok, illetve az EC-ok eredeti CEN-dokumentumában ajánlott biztonságok, valamint az új számítási módszerrel végzett próba értékelése mellett számításokat végeztem a megbízhatósági eljárás alkalmazásával. A mindezek alapján szükségesnek mutató globális biztonsági tényezők analízise alapján megállapítottam, hogy az EC 7 magyar nemzeti mellékletében szereplő biztonsági eszközöket (melyeket a mostani vizsgálatok egy korábbi változata alapján fogadott el az illetékes szabványosítási bizottság) az új méretezési módszerre alkalmazva éppen elérhető a kívánatos biztonság, ha néhány eljárási szabályt is betartunk, melyekre javaslatot tettem.

Az EC 7 által ajánlott biztonsági eszközrendszerben több tervezési módszer közül választhatunk és az eredeti CEN-dokumentum számértékeket is ajánl az egyes eszközökre. A magyar nemzeti mellékletben a cölöptervezéshez a 2. tervezési módszert fogadtuk el, a CEN által ehhez ajánlott parciális tényezőket azonban nem tartottuk megfelelőnek. Ezek ugyanis nem veszik figyelembe, hogy a cölöpellennállás bizonytalansága függ a talajkörnyezettől, a technológiától és az ellenállás-komponensek arányától. Ezért a korábbi vizsgálataim alapján 2007-ben a magyar nemzeti mellékletbe olyan parciális

tényezőket vezettünk be, melyek az utóbbi kettőt figyelembe veszik, bevezettünk továbbá a talajvizsgálaton alapuló számítási tervezéshez modelltényezőket is. Miután a mostani új vizsgálatokat elvégeztem, azt állapítottam meg, hogy a korábban elfogadott parciális tényezők a CPT-alapú számításra korábban ajánlott modelltényezővel együtt biztosítják az új számítási módszer esetében kívánatos biztonságot, kivéve a szemcsés talajbeli talpellenállást, melyre ezért külön eljárási szabályokat kellett javasolnom.

4.1. tézis

A cölöpellenállás relatív szórására a hibaterjedés szabályából felírt általános érvényű

$$v_{Rf} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\frac{\partial R}{\partial X_i}}{\frac{R_m}{X_{im}}} \cdot v_{xi} \right)^2}$$

képletből, melyben v_{xi} az ellenállást befolyásoló X_i elemek relatív szórása, X_{im} ezen elemek, R_m az ellenállás átlagértéke, a legjobbnak ítélt és deriválható alakban felírt szemempirikus cölöpellenállási képleteket és a $B=R_b/R_c$ talpellenállási arányt bevezetve

– *a kötött talajokra vonatkozóan a*

$$v_{Rc} = \sqrt{\left(\frac{1+B}{2}\right)^2 \cdot v_{cu}^2 + (1+B)^2 \cdot v_D^2 + \left(\frac{1}{-B}\right)^2 \cdot v_H^2 + (1-B)^2 \cdot v_{\mu sc}^2 + B^2 \cdot v_{\mu bc}^2 + v_{Rm}^2}$$

– *a szemcsés talajokra vonatkozóan*

$$v_{R\phi} = \sqrt{(6 \cdot B)^2 \cdot v_{\phi}^2 + (1+B)^2 \cdot v_D^2 + \left(\frac{2}{-B}\right)^2 \cdot v_H^2 + (1-B)^2 \cdot v_{\mu s\phi}^2 + B^2 \cdot v_{\mu b\phi}^2 + v_{Rm}^2}$$

az összefüggéseket adtam meg, melyekben az irodalmi adatok és tapasztalati megfontolások alapján felvett v_i adatok egyrészt a cölöpellenállást befolyásoló talaj- és cölöpjellemzők relatív szórásai (c_u a drénezetlen nyírószilárdság, ϕ a súrlódási szög, D a cölöp-átmérő, H a cölöphossz), míg a további v_i adatok a technológiára és a méretezési módszerére vonatkoznak (s a palástra, b a talpra, R_m pedig a méretezés módszerére utal).

A cölöpellenállások előbbi képletekkel számított relatív szórásai (2. táblázat) számos értékes következtetést tesznek lehetővé. Megállapítható volt pl., hogy ezek hasonlóak a CFA-cölöpök próbájával nyert empirikus szórásokkal (1. táblázat): a palástellenállást kb. 0,15, a teljes nyomási ellenállást 0,20, a talpellenállást kötött talaj esetén hozzávetőlegesen 0,25, szemcsés talaj esetén 0,35 relatív szórás jellemzi.

Az első általános érvényű képlet ilyen formában tudomásom szerint még nem jelent meg, mindenütt csak a relatív szórások négyzeteit összegzik. A képlet szerint ez csak azon esetekben helyes, amelyekben az ellenállás lineáris függvénye a befolyásoló tényezőknek. Ez viszont a talajtöréses jelenségekben, így pl. a szemcsés talajbeli talpellenállást illetően a belső súrlódási szög vonatkozásában nem igaz, mert a talajtörést leíró függvényekben általában megjelenik a passzív földnyomás Rankine-féle szorzója.

A szemempirikus képletek közül összehasonlító analízis alapján választottam. A legkritikusabb ellenállás-komponenshez, a szemcsés talajbeli talpellenálláshoz a legtöbbet által ajánlott Berezhancev-módszert fogadtam el. Ennek teherbírási tényezője csak grafikus közlésből ismert, ezért, hogy deriválható legyen, polinommal írtam le.

A „ B ” talpellenállási arányszám bevezetése fontos fogás volt a képletek felírásához. $B=1$ álló cölöpöt jelent, illetve az erre megállapítottak a talpellenállásra vonatkoznak. $B=0$ viszont lebegő cölöpöt jelent, s vele a palástellenállásra vonatkozó jellemzőket kapunk. A kombinált cölöp a munkában $B=0,5$ teherviselési arányt jelentett.

4.2. tézis

Az ellenállások előbbiek szerint megállapított, valamint az igénybevételek ésszerűen megválasztott relatív szórásaiból a megbízhatósági eljárásnak megfelelően számítottam azokat a globális biztonsági tényezőket, melyek 10^{-4} -nél kisebb tönkremeneteli valószínűséget biztosítanak (2. táblázat). Ezekre, valamint az eddigi magyar szabványok, illetve az EC-ok eredeti CEN-dokumentumában ajánlott biztonságok, valamint a CFA-cölöpökön az új számítási módszerrel végzett próba értékelésére támaszkodva, a cölöpméretezés bizonytalanságot okozó elemeit és az EC-ok biztonsági eszközeit rendszerben szemlélve, minden részletre kiterjedő javaslatcsomagot adtam az eszközök hazai alkalmazásához, illetve eljárási szabályokkal egészítettem ki azokat (3. táblázat).

A mostani elemzés az EC 7 nemzeti mellékletében (a korábbi számításaim alapján) elfogadott parciális tényezőkhöz képest kb. 10 %-kal nagyobbakat indokolt. A modell-tényezőkre vonatkozó, szintén korábban javasolt kritériumok szerint az új módszerhez azonban 1,1 csökkentő értéket illő alkalmazni. Így a két biztonsági eszközt korábban elfogadott számértékeivel éppen teljesíthető az új számítási módszerhez szükséges globális biztonsági tényező, a nemzeti melléklet változtatására nincs szükség. A modell-tényező alkalmazása megoldja azt a problémát is, hogy az EC 7 eredeti, s általunk is követett ajánlása egy egyetlen próbaterhelésen, illetve egy egyetlen talajszelvényre (pl. CPT diagramra) végzett számításra alapuló tervezéshez ugyanazt a korrelációs tényezőt rendeli. Ez elvileg ugyan helyes, mivel csak igazolt számítási eljárást használható, a gyakorlatban azonban – az utóbbi kötelezettség esetleges lazább számonkérése miatt – ellentmondásokat, zavarokat okozhat.

Az előbbi biztonsági eszközök nem tudják viszont kezelni a szemcsés talajban ébredő talpellenállások többször kimutatott kirívó bizonytalanságát. Az ebből eredő veszélyek elhárítására részletes eljárási szabályokat fogalmaztam meg. Előírást adtam továbbá pl. a CPT-vizsgálatok helyére, számára, valamint az építmények rendeltetéséből adódó nagyobb kockázatok kezelésére is. Megállapítottam, hogy a részletes erőtni számítás esetén az EC 0 szerint alkalmazható kisebb hatásoldali parciális tényezőket is elfogadhatjuk, ha a részletes számítás egyben szakszerűbb is. Megengedhetőnek találtam a korrelációs tényezők merev cölöpösszefogás esetén alkalmazható 1,1-szeres csökkentését is, de a részletes számítás esetére ehhez már alaposabb tervezői mérlegelést javasoltam.

3. táblázat. A cölöpméretezés rendszere a biztonság szempontjából

a cölöpméretezési rendszer elemei		a biztonsági rendszer eszközei				
elemek	változatok	parciális tényezők	korrelációs tényezők	modell-tényezők	kockázati tényezők	eljárási szabályok
cölöptípus	vert – CFA – fűrt	EC 7-1 nemzeti melléklet				
ellenállástípus	palást – talp – teljes					szemcsés talpellenállás óvatos kezelése
talajfajta	kötött – szemcsés					
méretezési módszer	statpt – CPT – szemp – dinpt		eredeti EC 7 követése	EC 7-1 nemz. mell.		min. 3 CPT
kockázat	nagy – átlagos – kis				EC 0 javaslatai	a fentiek alkalmazása
erőtni számítás típusa	alap – részletes	részletes is elfogadható	1,1 redukció alkalmazása			részletes = szakszerű

2. táblázat. Jellemző relatív szórások, valamint a megbízhatósági eljárás szerint 10^{-4} -nél kisebb tönkremeneteli valószínűséget biztosító parciális és a globális biztonsági tényezők a különböző cölöptervezési esetekre

megbízhatósági eljárás szerinti globális biztonsági tényező γ _{RE}			statikus próbaterhelés		az igénybevétel bizonytalansága			CPT-alapú képletek		az igénybevétel bizonytalansága			dinamikus próbaterhelés		az igénybevétel bizonytalansága			szemiempirikus képletek		az igénybevétel bizonytalansága		
nagy	átlagos	kicsi			nagy	átlagos	kicsi			nagy	átlagos	kicsi			nagy	átlagos	kicsi					
az ellenállás jellemzői					ν _E					ν _E					ν _E					ν _E		
					0,200	0,150	0,100			0,200	0,150	0,100			0,200	0,150	0,100			0,200	0,150	0,100
cölöp-típus	talaj-típus	cölöp-ellenállás	ν _R	γ _R	γ _E			ν _R	γ _R	γ _E			ν _R	γ _R	γ _E			ν _R	γ _R	γ _E		
					1,53	1,40	1,27			1,53	1,40	1,27			1,53	1,40	1,27			1,53	1,40	1,27
vert	kötött	lebegő	0,13	1,46	2,24	2,05	1,85	0,15	1,59	2,43	2,22	2,01	0,17	1,67	2,57	2,34	2,12	0,19	1,77	2,72	2,48	2,25
		álló	0,21	1,91	2,92	2,67	2,41	0,23	2,01	3,07	2,81	2,54	0,24	2,08	3,19	2,91	2,63	0,25	2,17	3,33	3,04	2,75
		kombinált	0,16	1,65	2,53	2,31	2,09	0,19	1,76	2,70	2,46	2,23	0,20	1,84	2,82	2,57	2,33	0,22	1,93	2,96	2,70	2,45
	szemcsés	lebegő	0,11	1,42	2,17	1,98	1,79	0,14	1,55	2,37	2,16	1,96	0,16	1,64	2,51	2,29	2,07	0,18	1,74	2,66	2,43	2,20
		álló	0,31	2,58	3,96	3,61	3,27	0,32	2,68	4,10	3,75	3,39	0,33	2,75	4,21	3,84	3,48	0,34	2,83	4,34	3,97	3,59
		kombinált	0,18	1,72	2,64	2,41	2,18	0,20	1,83	2,80	2,56	2,32	0,21	1,91	2,92	2,67	2,42	0,23	2,00	3,06	2,80	2,53
CFA	kötött	lebegő	0,13	1,51	2,31	2,11	1,91	0,16	1,63	2,49	2,28	2,06	0,18	1,71	2,62	2,39	2,17	0,20	1,81	2,77	2,53	2,29
		álló	0,23	1,98	3,04	2,77	2,51	0,24	2,08	3,19	2,91	2,63	0,25	2,15	3,30	3,01	2,73	0,27	2,24	3,44	3,14	2,84
		kombinált	0,17	1,68	2,57	2,35	2,13	0,19	1,79	2,74	2,50	2,26	0,21	1,87	2,86	2,61	2,36	0,22	1,96	3,00	2,74	2,48
	szemcsés	lebegő	0,13	1,46	2,24	2,05	1,85	0,15	1,59	2,43	2,22	2,01	0,17	1,67	2,57	2,34	2,12	0,19	1,77	2,72	2,48	2,25
		álló	0,35	2,87	4,39	4,01	3,63	0,36	2,96	4,54	4,14	3,75	0,36	3,03	4,64	4,24	3,84	0,37	3,12	4,78	4,36	3,95
		kombinált	0,20	1,81	2,78	2,54	2,29	0,21	1,92	2,94	2,68	2,43	0,23	1,99	3,05	2,79	2,52	0,24	2,08	3,19	2,91	2,64
fúrt	kötött	lebegő	0,13	1,51	2,31	2,11	1,91	0,16	1,63	2,49	2,28	2,06	0,18	1,71	2,62	2,39	2,17	0,20	1,81	2,77	2,53	2,29
		álló	0,23	2,04	3,13	2,85	2,58	0,25	2,14	3,28	2,99	2,71	0,26	2,21	3,39	3,09	2,80	0,27	2,30	3,52	3,22	2,91
		kombinált	0,17	1,70	2,60	2,37	2,15	0,19	1,80	2,76	2,52	2,28	0,21	1,88	2,88	2,63	2,38	0,22	1,98	3,03	2,76	2,50
	szemcsés	lebegő	0,13	1,46	2,24	2,05	1,85	0,15	1,59	2,43	2,22	2,01	0,17	1,67	2,57	2,34	2,12	0,19	1,77	2,72	2,48	2,25
		álló	0,35	2,87	4,39	4,01	3,63	0,36	2,96	4,54	4,14	3,75	0,36	3,03	4,64	4,24	3,84	0,37	3,12	4,78	4,36	3,95
		kombinált	0,20	1,81	2,78	2,54	2,29	0,21	1,92	2,94	2,68	2,43	0,23	1,99	3,05	2,79	2,52	0,24	2,08	3,19	2,91	2,64

4. Előadások, publikációk és tanulmányok az értekezés témakörében

4.1. Előadások

Szepesházi, R., Tragfähigkeit von Mikrophalgruppen im ungünstigen Baugrund. 1. Österreichische Geotechniktagung, Wien, 1997.

Szepesházi R., A vert cölöpözés aktuális kérdései. Jubileumi Konferencia - EMAB Rt., Budapest, 2004

Szepesházi R., Hungarian Approach to Eurocode 7, mainly on pile design. Pražské Geotechnické Dny 2006 (www.cgts.cz/4e_journal_documents/4e_journal.pdf), Prága, 2006

Szepesházi, R., Hídalapozások fejlesztése. 50. Hídmérnöki Konferencia. Közlekedési Koordinációs Központ. Siófok, 2009.

Szepesházi R., Az Eurocode 7 „végleges” bevezetése elé. Geotechnika 2009 Konferencia, Ráckeve, 2009.

Szepesházi R., Eurocode 7: új követelmények és lehetőségek a geotechnikai tervezésben. Magyar Szabványügyi Testület Szakmai Fóruma: Áttérés az Eurocode-ok alkalmazására. Budapest, 2010

Szepesházi R., Az Eurocode 7 követelményei a hidak geotechnikai tervezésében. Magyar Útügyi Társaság, Budapest, 2010

4.2. Publikáció (könyvek, cikkek)

Szepesházi, R., Tragfähigkeit von Mikrophalgruppen im ungünstigen Baugrund. 1. Österreichische Geotechniktagung, Wien, 1997.

Szepesházi R., A hazai geotechnikai szabványok a készülő európai normák tükrében. Közlekedési és Mélyépítéstudományi Szemle, XLI. évf. 6. szám, Budapest, 1991

Szepesházi, R., Vert vasbeton cölöpök próbaterhelése az épülő M1-M15 autópályán. Közlekedési és Mélyépítéstudományi Szemle, 46. évf. 6. szám, Budapest, 1996.

Szepesházi, R., A CFA-cölöpök hazai bevezetésének módszerei és tapasztalatai. Közlekedési és Mélyépítési Szemle, 51. évf. 5. szám, Budapest, 2001.

Mecsi J., Szepesházi R., Regulation of Geotechnical Work in Hungary. Evaluation of Eurocode 7 Workshop ISSMGE - Trinity College, Dublin, 2005.

Szepesházi, R., Hidak cölöpalapozásának biztonsága. 1. és 2. rész. Közlekedési és Mélyépítési Szemle, 56. évf. 12. szám és 57. évf. 1. szám, Budapest, 2006 és 2007.

Szepesházi R., Tervezés az Eurocode 7 és a kapcsolódó európai geotechnikai szabványok alapján. Business Média Magyarország, Budaörs, 2008.

Szepesházi, R., Hídalapozások fejlesztése. 50. Hídmérnöki Konferencia kiadványa. Közlekedési Koordinációs Központ. Siófok, 2009.

Szép, J., Murinkó, G., Szepesházi, R., Hídaléptípusok modellezése. Geotechnika 2009 Konferencia Ráckeve; 2009.

Szepesházi R., Az Eurocode 7 „végleges” bevezetése elé. Geotechnika 2009 Konferencia, Ráckeve, 2009.

Bak, E., Koch, E., Palotás, B., Szepesházi, R., Kombinált (cölöp és lemez) alapozás modellezése. I. és II. rész. Közlekedésepítési Szemle, 2010/3 és 2010/6. Budapest, 2010.

Szepesházi R., Cölöpök CPT-alapú méretezése az Eurocode 7 követelményei szerint. Vasbetonépítés, Budapest, 2011 (megjelenés alatt)

Szepesházi R., Pfahlbemessung aufgrund Drucksondierung nach Anforderungen von EC7. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, Wien, 2011 (megjelenés alatt)

4.3. Kutatási jelentések, tanulmányok

Varga, L., Németh, G., Szepesházi, R., Vert vasbeton cölöpök teherbírásnak meghatározása. Kutatási jelentés. Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola, 1981.

Varga L., Szepesházi R., Az ME 15005-2:1989 Alapozások tervezése. A cölöpalapozás tervezési előírásai. A cölöpalapozás erőtan tervezésének becslési módszerei. című dokumentum előkészítő anyaga. Kézirat. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 1989.

Szepesházi R., Németh Gy., Koch E., CFA-cölöpözés technológiai fejlesztése. Kutatási jelentés a EMAB Rt., a Folyami Hídalapozó Kft. és a HBM Soletanche Bachy Kft. részére. Kézirat. Széchenyi István Egyetem, Kooperációs Kutató Központ, Győr, 2005.

Szepesházi, R., Előregyártott, kúpos, vert, vasbeton cölöpök teherbírásának számítása. Kutatási jelentés az EMAB Zrt. részére. Kézirat. Széchenyi István Egyetem, Kooperációs Kutató Központ, Győr, 2005.

Szepesházi R., Németh, Gy., Az osztott cölöpös próbaterhelés feldolgozásának fejlesztése. Kutatási jelentés a HBM Soletanche Bachy Kft. és a Folyami Hídalapozó Kft. részére. Kézirat. Széchenyi István Egyetem, Kooperációs Kutató Központ, Győr, 2005.

Szepesházi R., Scharle P., Szalai K., Hidak cölöpalapozásának méretezési biztonsága. Kutatási jelentés a Hídépítő Rt. részére. Kézirat. Széchenyi István Egyetem, Kooperációs Kutató Központ, Győr, 2005.

Szepesházi R., A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei. Kutatási jelentés a HBM Soletanche Bachy Kft. részére. Kézirat. Széchenyi István Egyetem, Kooperációs Kutató Központ, Győr, 2006.

Szepesházi R., Hídalépitmények geotechnikai tervezésének fejlesztése különös tekintettel a korszerű geotechnikai számítógépes programok alkalmazásának lehetőségére. Kézirat. Kutatási jelentés a HBM Soletanche Bachy Kft. részére. Széchenyi István Egyetem, Kooperációs Kutató Központ, Győr, 2007.

Szepesházi R., Királyegyháza Cementgyár. Cölöppróbaterhelési jelentés a STRABAG Építő ZRt. részére Kézirat. Universitas-Győr Kht., Győr, 2007.

Szepesházi R., M6 autópálya, Szekszárd – Bóly szakasz. Hidak cölöpalapozása. A teherbírások igazolása, a próbaterhelések kérdése. Tanulmány a Geoplan Kft. részére. Kézirat. Győr, 2007.

Szepesházi R., M6 autópálya, Szekszárd – Bóly szakasz és M60 autópálya 0+000 – 30+200 km szakasz. Műtárgyak alapozása. A dinamikus cölöppróbaterhelések kalibrációja. Tanulmány a Geoplan Kft. részére. Kézirat. Győr, 2007

Szepesházi R., Előkészítő anyag az MSZ EN 1997-1:2006 Geotechnikai tervezés. 1. rész. Általános szabályok. Nemzeti melléklet. című dokumentumhoz. Kézirat. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2007.

BME Hidak és Szerkezetek Tanszék munkacsoportja, A Dunakeszi 313 jelű vasbeton-híd, valamint a Szekszárdi Duna meder- és ártéri híd ellenőrző számítása az EC-ok előírásai szerint. Kutatási jelentés a Magyar Közút Kht. részére. Budapest, 2007-2009.

Szepesházi R., Párdányi J., Cölöppróbaterhelési előírások. Kutatási jelentés a HBM Soletanche Bachy Kft. részére, Kézirat. UNIVERSITAS-Győr Nonprofit Kft. Győr, 2008.

Szepesházi R., Cölöpök teherbírásának számítására szolgáló eljárások továbbfejlesztése. Kutatási jelentés a HBM Soletanche Bachy Kft. részére. Kézirat. UNIVERSITAS-Győr Nonprofit Kft. Győr, 2010.