



Európában használatos tömörség- és teherbírás mérési módszerek – Portugáliai beszámoló

Subert István¹

¹ CEO Andreas Építőipari Fejlesztő és Szolgáltató Kft.

E-mail: mail@andreas.hu

KIVONAT

A Portugáliai Műszaki Egyetem Geotechnikai Tanszéke (Prof Correia) meghívására, egy kísérleti szakaszon – sok más Európai és Amerikai módszer mellett – a magyar B&C dinamikus tömörség- és teherbírás mérő berendezés is tesztelésre kerülhetett. Ezeket ismerhettük meg egy kísérleti próbabeépítés kapcsán Evora város mellett, ahol új, nagysebességű vasútvonalon próbaszakasz épült.

A tanulmány második része bemutatja a Proctor-vizsgálat egy új szemléletű, „összetett-görbe” szerinti értékelését az optimális víztartalom és legnagyobb száraz sűrűség megállapítására. Ebben a K+F kutatásban 566 db módosított – Proctor eredményt dolgoztunk fel. Nyolc különböző hazai földmű- és szemcsés anyagra állapítottuk meg regressziós analízissel az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom és telítettség összefüggését. Jellemző volt, hogy 3-4tf% levegőtartalom adódott általában az optimális víztartalomnál és ezek eloszlása nem szimmetrikus.

Subert István

Subert István okl.építőmérnök, okl.közlekedésgazdasági mérnök Andreas Kft. Budapest.

1. BEVEZETŐ, ELŐZMÉNYEK

A földművek, közúti- a vasúti- és vízepítési műtárgyak építésének egyik legfontosabb minősítő paramétere a tömörség. Az után-tömörödés megelőzéséhez, a vízbehatolás mérsékléséhez szükséges határértékeket valamennyi európai szabályozás fontos paraméterként kezeli. A tömörség precíz mérése sem az Unióban, sem az EU-n kívül nem egységes. Nincs olyan mérési módszer, melyet a világ geotechnikusai egyöntetűen elfogadnának. Számos egyéb módszer kerül napvilágra ezért (dinamikus penetrométer, vagy az Evib, Omega CCC-method stb.) A tömörségi fok – hagyományosan – a beépítés során elért sűrűség és a viszonyítási sűrűség hányadosa, százalékban kifejezve. A tömöríthetőségi vizsgálat fő jellemzője ezért a legnagyobb száraz sűrűség – mint viszonyítási sűrűség – egy lehetséges és elterjedten alkalmazott, laboratóriumban meghatározott érték.

A viszonyítási sűrűséget a laboratóriumban hazánkban – mértékadóan – a módosított Proctor-vizsgálatokkal végezzük, Proctor-edényben, ejtősúlyos tömörítő géppel. A német területeken jellemző az egyszerűsített Proctor vizsgálat, mely kisebb tömörítő munkával, vastagabb rétegvastagsággal és kevesebb réteggel dolgozik, ezért a 100% feletti tömörségi fok is lehet követelmény. Az európai szabvány újabb típusú tömöríthetőségi vizsgálati módszereket is megenged a viszonyítási sűrűség meghatározására, mint a vibrátoros vizsgálatok:

EN 13286-3 viszonyítási sűrűség meghatározása vibro-sajtolásos módszerrel

EN 13286-4 viszonyítási sűrűség meghatározása vibro-kalapácsos módszerrel

EN 13286-5 viszonyítási sűrűség meghatározása vibro-asztalos módszerrel

Ezek alkalmazása, kipróbálása még nem történt meg. Egymással való egyenértékűségük e vizsgálatoknak egyelőre nem ismeretes, átszámításuk nincs. Várhatóan azonban ezek aligha fognak egyezni a különböző modellhatás miatt. Az alapvető feltétel azonban ezek összehasonlításánál, hogy a tömörítési munka megegyező legyen.

A tömörségi fok mellé újabb követelmények, ajánlások is terjednek. Ilyen például a telítettség, vagy levegőtartalom ajánlott értékeinek előírása. Már az FGSV 516, de az ÚT 2-1.222 ÚME (e-UT 06.02.11) is, egyes esetekben $\leq 12\%$ levegőtartalom biztosítását kéri az előírt tömörségi fok elérése mellett. A megengedett telítettségre nincs közvetlen előírás, bár az említett levegőtartalom ilyen előírásnak is értelmezhető. Nagyfelületű földmunkákra dolgozott ki minősítési lehetőséget a tömörség és teherbírás kontrolljára az osztrák Prof D.Adam és Prof Kopf, a hengerre szerelt gyorsulásmérővel határozva meg a tömörítés állapotát (CCC- Evib és Omega).

Teljesen új iránynak tekinthető a magyar dinamikus tömörségvizsgálat, mely a terjedőben lévő LFWD (Light Falling Weight Deflectometer) terhelési mód mellett egy módosított tárcsa alatti terheléssel mér, az ejtések során kialakuló tömörödési görbe elemzésével.

Cégünk a portugál Correia professzor úr meghívására részt vett egy összehasonlító vizsgálat sorozatban, így beszámolhatunk az ott tapasztalt új vizsgálati módszerekről is.

2. MÉRÉSEK A PORTUGÁLIAI EVORA-BAN

Portugáliai Műszaki Egyetem Geotechnikai Tanszéke és Professor Correia meghívására, egy kísérleti szakaszon – sok más műszer és módszer kísérleti alkalmazása mellett – a magyar B&C dinamikus tömörség- és teherbírás mérő berendezés is tesztelésre kerülhetett. Az európai szabadalmat kapott magyar módszert az Andreas Kft fejlesztette ki. A hazánkban jól ismert vizsgálati módszer megmérettetésére számos új és hagyományos mérés mellett valósulhatott meg.

A kísérleti próbabeépítés Evora város mellett volt, ahol K-Ny-i irányban az országot átszelő új, nagysebességű vasútvonal épül. Az elvégzett hagyományos és kísérleti mérések a földmű tömörségének, valamint teherbírásának minősítésére szolgáltak. Igen tanulságos, hogy amikor 1-2% különbségeket írnak elő a tenderek, a mérések ennél jóval nagyobb mérési-vizsgálati pontossága nem közismert.



1. ábra: Portugália, elkészült pályaszakasz



2. ábra: Portugália, próbabeépítés helyszíne

3. TÖMÖRSÉGMÉRÉS RADIOIZOTÓPOS MŰSZERREL

Az egyik legelterjedtebb mérési eljárás (ASTM D6938), mely során a talajba bocsátott, majd a talajon áthaladó gamma-sugárzást detektor észleli; és a mérési idő alatt összeszámlált impulzusok száma a talaj nedves sűrűségével arányos. Lapszondás és tűszondás mérések is történtek. A tömörségi fok meghatározásához kell még a víztartalom értéke és a viszonyítási sűrűség, amihez a terepi száraz sűrűséget hasonlítják. Európában jellemzően az EN 13286-2 szerinti „módosított-”, német területen még az „egyszerűsített” Proctor, legnagyobb száraz sűrűség alkalmazása használatos. A vizsgálat időigénye 15-25 perc és három párhuzamos vizsgálatot kell végezni, azt átlagolni. Két laboráns mérőszemélyzet az előírás.



3. ábra: Izotópos tömörségmérés MC-3



4. ábra: Mérési helyek távolsága

4. HOMOK-KITÖLTÉSES MÓDSZER

A mérés (ASTMD4914) elve, hogy a vésővel, kanállal kiszedett talajmintát homokkal helyettesítik, hogy a térfogatát meghatározzák. A felületre körlemez nyílású sablont felhelyezik, majd a nyílásán át gondosan kiszedik, mérik a tömegét és a víztartalmát. Ezután száraz homokkal feltöltik a mélyedést, a térfogatot számítva. Kifejezetten idő- és energiaigényes, sőt „négykézlábos” módszernek tartják. A módszer másik változata, amikor az üregbe gumimembrán, abba pedig mért térfogatú víz kerül. A kapott terepi sűrűségből számítják – a viszonyítási sűrűséget figyelembe véve – a tömörségi fokot.

A Bangkoki Ramkhamhaeng Egyetemen a CWA15846 dinamikus tömörségmérés validálási vizsgálatként harminc darabos összehasonlító tömörségmérésre kerülhetett sor, melynek értékelése szerint a homokkitöltéssel számított tömörségi fok és a B&C dinamikus tömörségi fok egy tizedre egyező értéket mutatott. A homokkitöltéssel vizsgálatának időigénye 25-35 perc a helyszínen, egy laboráns elegendő. Párhuzamos vizsgálatot nem alkalmaznak.



5. ábra: ASTM Sand-filling homok-kitöltés vizsgálat



6. ábra: ASTM Sand-filling homok-kitöltés vizsgálat

Sikeres magyar vizsgálat, mely a Light Falling Weight terhelési módszert alkalmazza, kistárcsás mérőeszközre történő átalakításával egy tömörödési görbét állít elő az ejtések sorozatát képezve úgy, hogy adott magasságból, 10 kg tömegű testet csillapítórugó közvetítésével 163mm átmérőjű merev tárcsára ejti 10-18 alkalommal az ejtő súlyt. Ez $p_{din}=0,35$ MPa tárcsa alatti dinamikus terheléssel tömöríti a réteget (CWA 15846, illetve ÚT 2-2.124, e-ÚT 02.09.35). A süllyedési amplitúdók sorozatából határozható meg a relatív helyszíni tömörségi fok (és a dinamikus modulus is), mely az adott víztartalom mellett elért helyszíni relatív tömörítést jellemzi. A dinamikus tömörségi fok a relatív tömörségi fok és a nedvességkorrekciós tényező szorzata. A nedvesség hatását figyelembe vevő tényező a talaj víztartalomtól függő tömörödését jellemzi. ($T_{rw} \leq 1,00$).



7. ábra: ANDREAS új dinamikus tömörség- és teherbírás mérő műszere



8. ábra: ANDREAS új dinamikus tömörség- és teherbírás mérő műszere

A dinamikus tömörségmérés $\pm 2\%$ -os mérési pontossága lehetővé teszi a minőség-ellenőrzés hatékonyságának javítását, a korrekt minőségtanúsítást. A mérés igen gyors a többi mérési módszerhez képest, egy laboráns és 2-3 percet vesz igénybe, valamint párhuzamos méréssel képez átlagot.

A B&C dinamikus tömörségmérési módszer független a sűrűségtől, ezért alkalmas bármilyen anyagok, még az igen alacsony sűrűségű pernye, vagy az inhomogén sűrűségű kohósalak töltések, rétegek mérésére, de az izotópos készülékeket megbolondító meszes stabilizációk vizsgálatára is. A B&C a dinamikus tömörségi fok mérésével egyidejűleg meghatározza a talaj Ed (MPa) teherbírasi modulusát is. Párhuzamos mérést alkalmaz, melyből átlagot számít. Egy laboráns a méréshez elegendő.

5. NAGYTÁRCSÁS KÖNNYŰ-EJTŐSÚLYOS BERENDEZÉS

Mint ismeretes, a 300 mm-es tárcsaátmérőjű BP-LFWD (más nevén német-LFWD) a dinamikus modulus mérési eredményéből számítja az s/v (alakváltozás/tárcsasebesség) hányadost, ami a tömöríthetőséget, az elért tömörséget is jellemezheti. A *teherbírás meghatározására* Európában nagyon terjed a Light Falling Weight Deflectometer típusú berendezések alkalmazása, melynél adott magasságból, 10kg tömegű testet ejtenek. Ez a 300mm átmérőjű merev tárcsa alatt $p_{din}=0,1$ MPa dinamikus terhelést hoz létre (TPBF-StB8.3, RVS08.03.04), $c=2$ hajlékony Boussinesq tárcsaszorzót, valamint 0,5 fix Poisson tényezőt alkalmaz. Az LFWD-típusú teherbírás mérő készülékek előnye, hogy ellensúlyt, terhelő gépkocsit nem igényelnek. Az alakváltozást jellemző átlagos süllyedési amplitúdó a második mérési sorozatából határozható meg. Számítása $E_{vd}=22,5/s$ (N/mm²). A vizsgálat időigénye 10-15 perc a helyszínen, egy laboráns a méréshez elegendő. Párhuzamos vizsgálatot nem alkalmaznak.



9. ábra: Kistárcsás (SP) és nagy tárcsás (BP) LFWD könnyűéjtősúlyos berendezés

6. PORTANCEMETRE – MÓDSZER

A földmű teherbírásának folyamatos mérésére használatos Francia műszer, melyet gépjárművel vontatnak. A teljes mérés a vezetőfülkéből vezényelhető, ahol az adatgyűjtő és feldolgozó rendszer is helyet kap. A vibrációs terhelésű kerék, ennek érzékelő kerete a tréler vázára vannak függesztve. A mérés 1m/sec sebességű. A vizsgálat nagy előnye, hogy folyamatos menetben 30 perc alatt 1800 méter hosszú réteg mérhető a helyszínen. Egy laboráns (informatikus) és egy vezető szükséges a mérés elvégzéséhez. Párhuzamos vizsgálatként oda-vissza mérnek egymás melletti nyomon.



10. ábra: Portancemetre folyamatos teherbírás mérési módszer

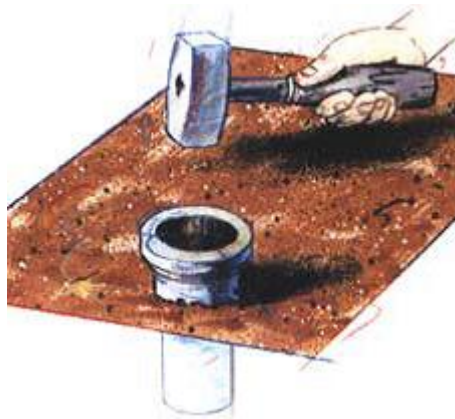


11. ábra: Portancemetre folyamatos teherbírás mérési módszer

7. KISZÚRÓHENGESER TÖMÖRSÉG-MÉRÉSI MÓDSZER

A Portugáliai összehasonlításban nem alkalmazták ezt a mérési módszert. A kiszúróhengeres módszer hazánkban jól ismert, igen régóta alkalmazott eljárás, pontossága azonban egyes becslések, vélemények szerint rosszabb az izotópos mérésnél. A terepi sűrűség meghatározásához kell a hengerben maradó anyag tömege, a víztartalom értéke, majd az így számított száraz terepi sűrűség és a viszonyítási sűrűség aránya a tömörségi fok. Európában jellemzően az EN 13286-2 szerinti „módosított”, német területen még az „egyszerűsített” Proctor, legnagyobb száraz sűrűség alkalmazása használatos. A vizsgálat időigénye 10-15 perc és három párhuzamos vizsgálatot kell végezni, azt átlagolni. Egy laboráns elegendő a méréshez.

Az M35-ös autópályán tudunk pernye-töltésen történt összehasonlító mérésről. A B&C mérés (CWA módosítás előtti) értékei néhány százalékkal alacsonyabbak voltak, mint a kiszúró-hengeres eredmények.



12. ábra: Kiszúróhengeres módszer



13. ábra: Durham MDI

8. DURHAM MDI (MOISTER DENSITY INDICATOR) SŰRŰSÉG- ÉS VÍZTARTALOMMÉRŐ

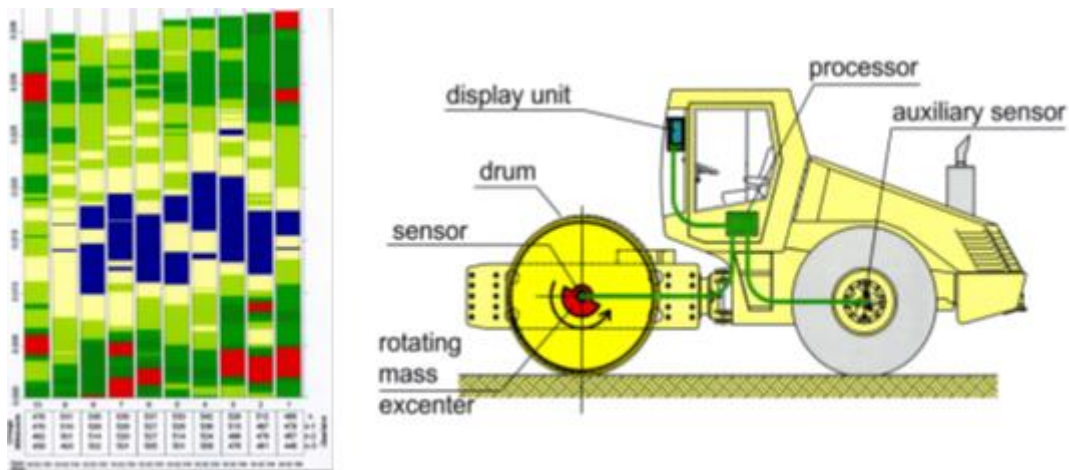
Dielektromos állandó elvén működő amerikai műszer. Nem csak a víztartalmat, hanem a sűrűséget is e módszerrel méri, megfelelő kalibrálás után. Hibája kisebb, mint az izotópos műszereké, de a viszonyítási sűrűség alkalmazását nem nélkülözheti. A terepi sűrűség meghatározásához kell a mért víztartalom értéke, majd az így számított száraz terepi sűrűség és a készülékbe a kezelő által beütött viszonyítási sűrűség aránya adja a tömörségi fokot. Az EN 13286-2 szerinti „módosított-”, illetve az „egyszerűsített” Proctor, legnagyobb száraz sűrűség alkalmazása is lehetséges, ugyanúgy, mint a többi viszonyítási sűrűséget alkalmazó mérésnél. A vizsgálat időigénye 10-15 perc. Amerikai mérési előírás tudomásunk szerint elkészült, de európai változatáról nincs tudomásunk. Vélhetően egy laboráns is elegendő a méréshez.

9. CONTINUOUS COMPACTION CONTROL (CCC) – NAGYFELÜLETŰ TÖMÖRSÉGMÉRÉS

Nagyfelületű tömörítések tömörség- és teherbírás mérésére, melyet Professzor H. Brandl vezetésével Prof Kopf és Prof Adam fejlesztettek ki. Ez a módszer nagy felületű földmunkák minősítésére alkalmazható. A tömörítő BOMAG hengerre szerelt gyorsulásmérővel határozzák meg a mért amplitúdók változásaiból a Evib modulust és az Omega mérőszámot. A fejlesztő a Terrameter, és az Omega-értékének kidolgozását Dipl.-Ing. Uwe Blancke végezte, a Bomag GmbH keretében).

A mérési eredmények egy 3 dimenziós képen ábrázolhatók, színekkel. A tömörségi fokkal a próbabeépítésen tapasztalati úton hozzák összhangba, majd a végső 3D-s mérési eredményt nagyfelületű minősítésként is elfogadják.

Szlovéniában a Szlovén Műszaki Egyetem Geotechnika Tanszéke szakvéleményében a B&C dinamikus tömörségi fok és a CCC Evib értéke között kiemelkedően jó korrelációt mutatott ki.



14. ábra: CCC nagyfelületű tömörség és teherbírás vizsgálata

10. STATIKUS TEHERBÍRÁSI MODULUSOKBÓL MEGHATÁROZOTT TÖMÖRSÉGI TÉNYEZŐ

A teherbírást Evorában a statikus tárcsás vizsgálattal hagyományosan (hazánkban is használt) 300mm-es (ASTM D1194) és a $d=600$ mm-es Francia szabvány (NF P 94-117-1) szerint is vizsgálták. A második felterhelésből származó Ev2 teherbírasi modulus és az első terhelésből adódó Ev1 modulusok aránya a hazánkban is ismert tömörségi tényező (Tt), melynek a tömörséget közelítően jellemző hatást tulajdonítunk (lásd ÚT2-3.206 e-ÚT 07.04.13). A mérési módszerek felterhelési szakaszai és értékelése néhány ponton eltér a hazánkban megszokottól.

A vizsgálat időigénye 25-35 perc a helyszínen, egy laboráns a méréshez elegendő. A terheléshez ellensúly szükséges. Párhuzamos vizsgálatot nem alkalmaznak.



15. ábra: Statikus teherbírás vizsgálat $d=600$ mm tárcsával

11. YOUNG-FÉLE MODULUS

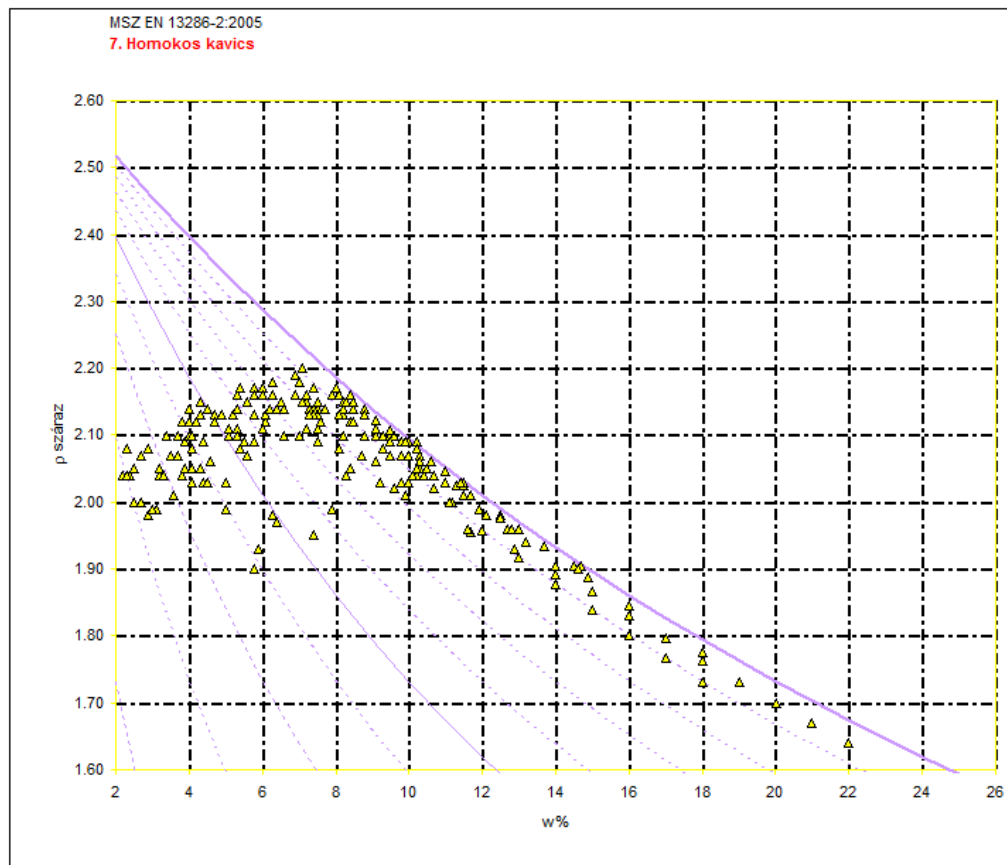
A megfelelő teherbírási jellemző meghatározására alkalmas a GeoGauge elektromechanikus módszert (D 6758 –02) is alkalmazták. Ezt a gyártó a tömörségmérés mellé, a réteg teherbírási homogenitásának ellenőrzésére javasolja alkalmazni. A műszert a szemcsés, kohézió nélküli anyagok mérésére ajánlják, valamint kissé iszapos és agyagos anyagok elemzésére, amelyek nincsenek kitéve a nedvességtartalom változásának. A módszer hátránya, hogy a mérési eredményt könnyen megzavarja a környezet vibrációs terhelése. Tudomásunk szerint a tömörség nem jellemezhető, a teherbírásból viszont következtetni lehet a próbatömörítés alapján várható megfelelőségre. A vizsgálat időigénye 10-15 perc a helyszínen, egy laboráns a méréshez elegendő. Párhuzamos vizsgálatot nem alkalmaznak.



16. ábra: Geogauge-műszer Evorában

12. VISZONYÍTÁSI SÚRÚSÉG KÉRDÉSEI

A módosított Proctor-vizsgálatra vonatkozó előírás Magyarországon az MSZ 14043/7, az uniós csatlakozás óta az MSZ EN 13286-2 szabványt is alkalmazzuk (illetve ennek 7.4 pontja ajánlott, mint a módosított Proctor-vizsgálat), jelentősebb eltérés nélkül. Magyarországon 2005 óta az európai előírásokat tükröző EN 13286-2 szabvány is érvényben van.

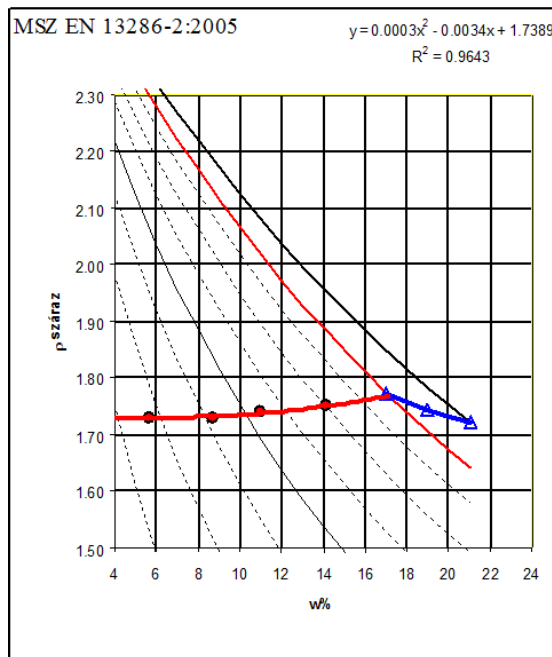


17. ábra: Proctor körvizsgálat: Homokos kavics

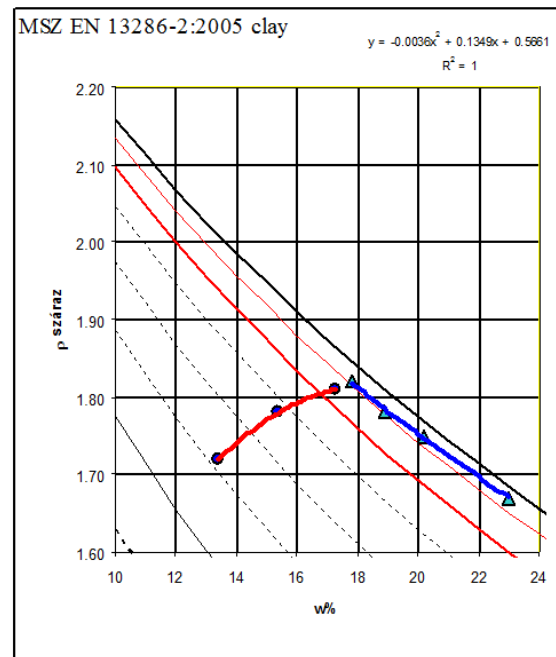
Nem eléggé közismert, hogy a viszonyítási sűrűséggel számított (hazánkban is minősítésre alkalmazott) izotópos tömörségi fok hibája egyes méréseknél elérheti a 4-6Trp%-ot is. A tömöríthetőségi vizsgálat olyan hosszadalmas és körülményes, hogy nagy mintaszámú mérési sorozat a vizsgálati szórás meghatározására igen ritkán készül, pedig azt az ÚT2-1.222 is javasolja a próbabeépítések fejezetében. Elemzést végeztünk egy nagyszámú körvizsgálatból (KTI 2005. évi Proctor körvizsgálat), mely a problémát jól bemutatja.

A tendencia jellemzésére a 18. ábrán feltüntettük a nagy víztartalmak tartományában néhány „virtuális” számított értékeket is annak jellemzésére, hogy a jellegzetes Proctor-görbe alakjánál igazoljuk, hogy az a telítési vonalak közé simul a nedves ágba (lásd 17. és 18. ábra).

Nem részletezzük, csak utalunk korábbi publikációinkra, melyben javasoltuk a w_{opt} -hoz tartozó telítési vonal (például $S=0,88$ és $S=0,95$) és a száraz ági Proctor-görbe metszéspontjától balra, illetve jobbra eső szakasz szétválasztását. Ennek oka az, hogy az anyag viselkedése döntően megváltozik a nedves ágba és ezért matematikailag sem szabad azonos feltételekkel (azaz egy görbeként) kezelni. A közös pont a két típusú görbe között tény, de ez nem ad felhatalmazást arra, hogy azokat azonos matematikai modellként is egy görbeként kezelhessük.



homok

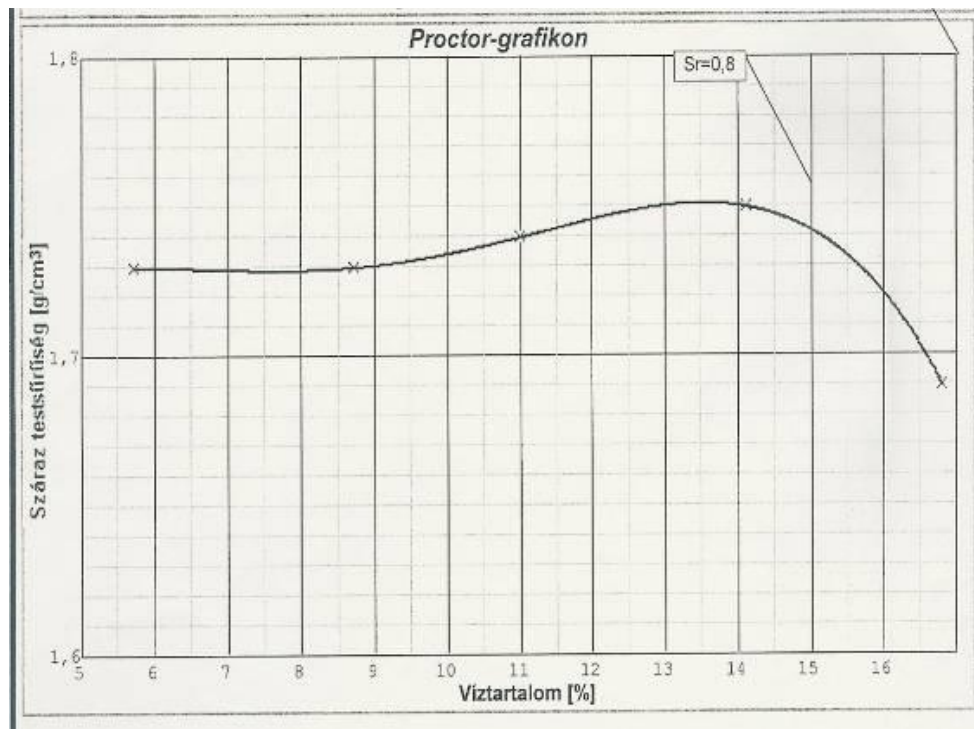


agyag

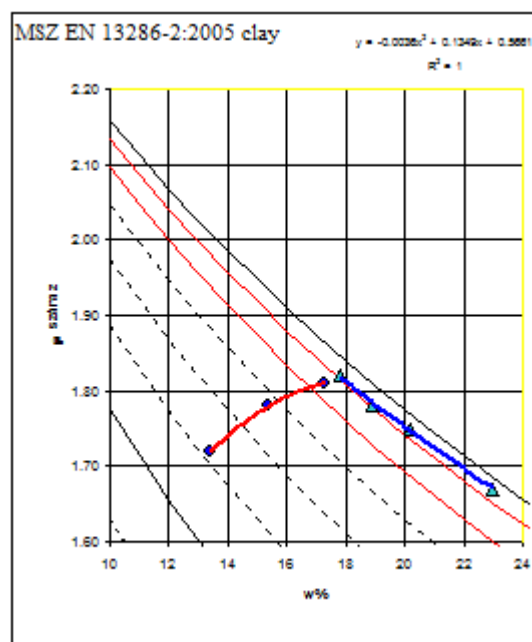
18. ábra: Proctor görbék az „összetett-görbe” feldolgozási módszerrel

A „két szakasz egy görbe” összetett Proctor-görbét értékelő új elméletet (2006 Phong – Subert) szerint vizsgálva megállapítható, hogy más optimális víztartalmat mutatnak a feldolgozások, mint a hagyományos módszerrel. Kimutattuk, hogy a száraz ág görbéje többnyire domború, de néha egy egyenes, vagy akár kissé homorú görbe lehet. A nedves viselkedési görbeszakasz mindig jellegzetesen belesimul a telítési vonalak közé és végül közelít $S=1$ telítettséghez (18. ábra). Mivel magas telítettségénél a helyszíni tömörítés sem lehetséges, ezért nincs értelme a görbe bevonásának a matematikai modellbe. A Proctor-görbe a mért pontokból regressziós analízissel számítható és egyben megadja a dinamikus tömörségméréshez szükséges nedvességhorrekció görbét is ($T_{rw} = \rho_d / \rho_{d_{max}}$).

Példaként bemutatunk egy jellemző esetet, amikor az optimális víztartalom eltér. Az új feldolgozásban egyértelmű a töréspont. (lásd 19. és 20. ábra).



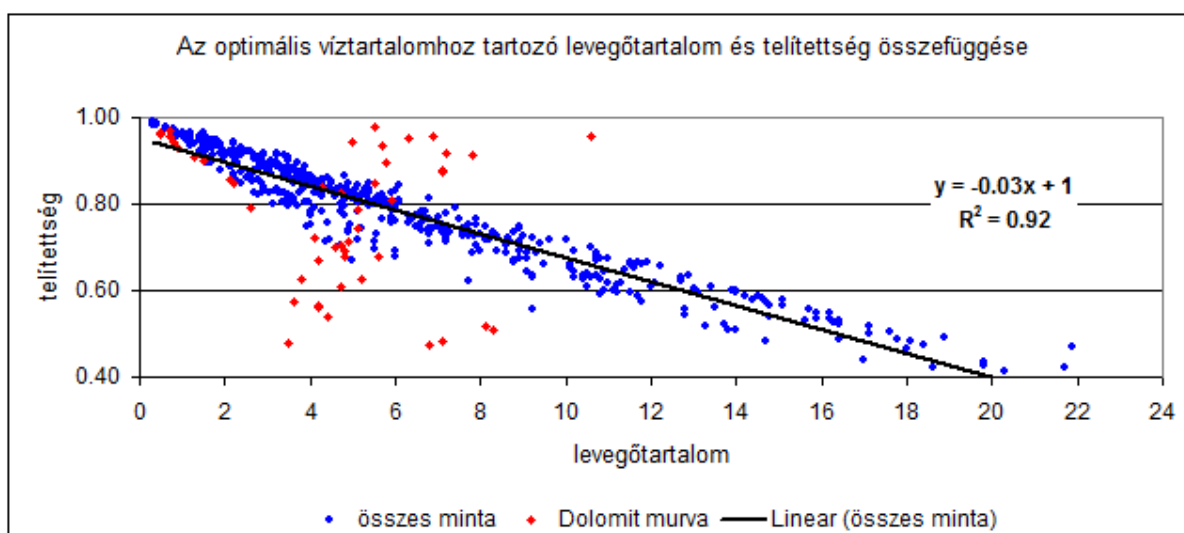
19. ábra: Hagymányos feldolgozású Proctor-görbe



20. ábra: Új módszerrel feldolgozott, összetett Proctor-görbe

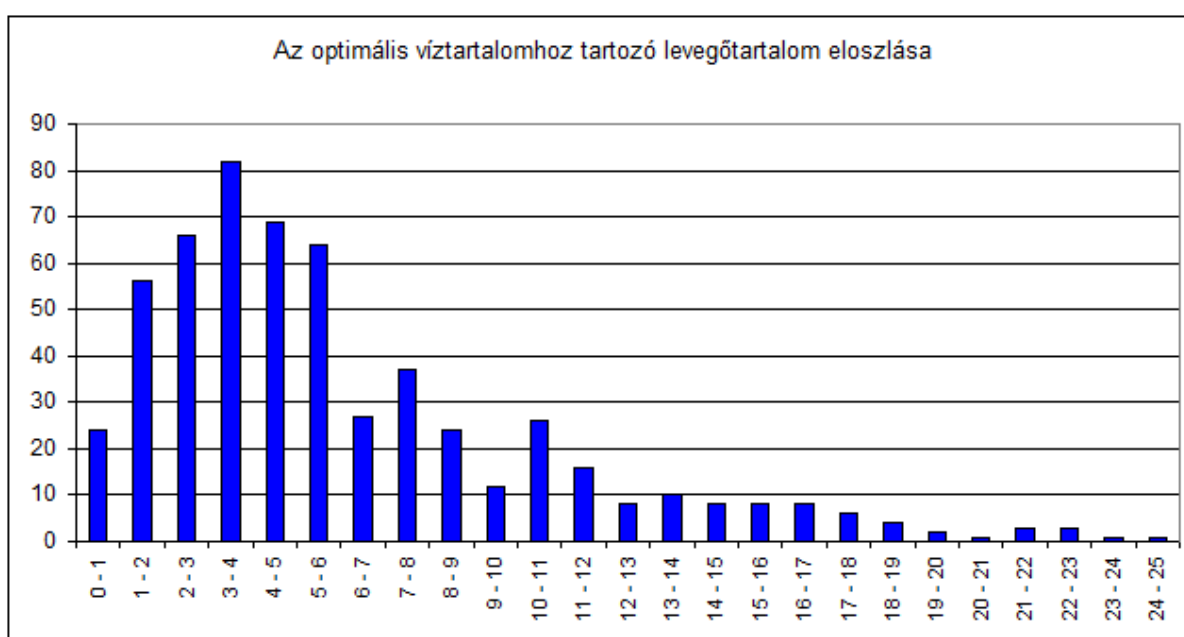
13. TELÍTETTSÉG ÉS LEVEGŐTARTALOM ÖSSZEFÜGGÉSE A TÖMÖRSÉGGEL

Egy kutatás keretében 566 db Proctor-eredmény feldolgozásával, nyolc különböző hazai anyagra megállapítottuk az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom és telítettség összefüggését. Jellemző, hogy 12 tf%-nál (ÚT2-1.222-ben kötött anyagnál javasolt értéknél) jóval alacsonyabb levegőtartalom adódott általában, az optimálisnak bizonyuló víztartalomnál. Ez az elérhető legnagyobb száraz sűrűségnél helyezkedik el, ami a 100% tömörségi foknak felel meg.



21. ábra: A w_{opt} -hoz tartozó levegőtartalom és telítettség általános összefüggése

A regresszió-analízisből összefüggést felállítva a 100% tömörséghez tartozó, optimális telítettség $S=88-94$ közöttinek mutatkozott. Ez a dinamikus tömörségmérés szempontjából döntő fontosságú, mert dinamikus módszerek csak háromfázisú rendszerekben alkalmazhatók (nagyárcsás LFWD, valamint KUAB sem), mert a víz az ütések hatására nem nyomódik össze. A 22. ábra szerint a telítettség javasolt alsó értékét $S=0,88$ -ban jelölhetjük meg, mint ebből a statisztikai vizsgálatból adódó következtetést. E szerint az optimális víztartalomhoz tartozó telítettség közelítően a levegőtartalom háromszoros súlyal levonva egyből.



22. ábra: Az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom gyakorisági eloszlása

14. ÖSSZEFOGLALÁS

A dinamikus tömörségmérés fogalma 2003-ban jelent meg a világon, egy magyar K+F nyomán. A módszer egyedülálló, mert nem a sűrűségarányból, hanem az ejtések során mért alakváltozások sorozatából határozza meg a tömörségi fokot, elméletileg levezetett módon és nagyszámú regresszió analízissel igazolva.

A Portugáliai Műszaki Egyetem Geotechnikai Tanszéke (Prof Correia) meghívására, egy kísérleti ottani szakaszon – sok más európai és amerikai műszer és módszer mellett – az új magyar B&C dinamikus tömörség- és teherbírás mérő berendezés is tesztelésre került. Célunk e kísérleti próbabeépítés során alkalmazott módszerek bemutatása volt a Portugáliai Evora város mellett, ahol egy új, nagysebességű vasútvonal épült.

Az új Magyar dinamikus tömörségmérés gazdasági hatékonysága kiemelkedő. Sem a bekerülési, sem az üzemeltetési költségek nem jelentősek, míg a mérés pontossága az eddig alkalmazott izotópos mérésnél jóval kedvezőbb.

A tanulmány második része bemutatta a Proctor vizsgálat egy új szemléletű, „összetett-görbe” szerinti magyar értékelést az optimális víztartalom és legnagyobb száraz sűrűség megállapítására, valamint egy K+F kutatásban felhasznált 566 db módosított – Proctor eredmény feldolgozásával, nyolc különböző anyagra, regressziós analízissel az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom és telítettség összefüggésével. Ennek eredménye szerint jellemző, hogy 3-4tf% levegőtartalom adódik az optimális víztartalomnál.

15. IRODALOMJEGYZÉK

Brandl H., Kopf F., Adam D.: Continuous Compaction Control (CCC) with differently excited dynamic rollers. Federal Ministry of Traffic, Innovation and, Road Research Volume 553, Vienna 2005

Correia A. Gomes, Brandl H. (2001) Geotechnics for Roads, Rail Tracks and Earth Structures. A.A. Balkema Publishers, Lisse, NL ISBN 90 2651 844 7

FGSV 516:2003 Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes mit Unterbaues im Straßenbau.

CWA 15846 “Measuring Method for Dynamic Compactness & Load capacity with SP-LFWD”

MSZ 1583 Dinamikus tömörség-és teherbírás mérés SP-LFWD berendezéssel (Measuring Method for Dynamic

ÚT2-2.124 (e-UT 09.02.35) Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű-ejtő súlyos berendezéssel. “Measuring of dynamic compactness and dynamic load capacity with small plate light falling weight deflectometer”

MSZ EN 13286 – 2 “Unbound and hydraulically bound mixtures 2. Test methods for the determination of the laboratory reference density and water content. Proctor compaction”

MSZ EN 13286 – 3 “Unbound and hydraulically bound mixtures 3. Test methods for laboratory reference density and water content. Vibro-compression with controlled parameters”

EN 13286 – 4 “Unbound and hydraulically bound mixtures 4. Test methods for laboratory reference density and water content. Vibrating hammer”

Prof Dr Kézdi (Kalher) Árpád Talajmechanika I-II. TK. 1972. Budapest (Soil Mechanics Part I)

Prof Dr Nemesdy Ervin: Utak és Autópályák Pályaszerkezete TK 1971 Budapest Pavements of Road & Motorways

Prof Dr Nemesdy Ervin: Utak és autópályák tervezési alapjai TK 1974 Budapest

Palotás László: Mérnöki Kézikönyv Műszaki Kiadó

Dr Boromisza Tibor Talajmechanika, Alapozás I Szakközépiskolai Tankönyv

Dr Boromisza Tibor, Bertz Gyula Ébényi Miklós: Építőanyagok TK1974 Az építőipari, az út- és vasútépítési, a vízügyi szakközépiskolák számára

Adam & F. Kopf “Operational devices for compaction optimization and quality control”

A. Petkovsek (2006): Report on usage of Andreas dynamic load bearing capacity and compactness deflectometer University of Ljubljana Katedra za mehaniko tal z laboratorijem. 2006 Ljubljana

Panarat (2006): Comparison of B&C LFWD and sand filling method – Ramkhamhaeng University, Thailand

Subert (2015): CWA15846:2008 Modification Draft and Main Background Studies. Engineering Geology – Rock Mechanics 2015 Congress. BMGE Hungary. p.:379-394

Subert (2015): Önellenzés – Stabilizációk tömörség és teherbírás mérése / Self control – Compaction-rate & Bearing Capacity Measuring on Stabilizations. Kézdi Á Konferencia Budapest 2015

Subert (2015): Egyszerűsített és módosított Proctor-vizsgálati eredmények összehasonlítása. Hozzászólás Dr Szendefy János – Vámos Máté cikkéhez. Műszaki Ellenőr-Építési Hibák kiadványa Mélyépítés és Geodézia 2015/05

Subert I. – Phong T.Q.: “New intendments of Proctor tests” Mélyépítéstudományi Szemle 2007

Király Á. – Subert I.: The questions of efficiency of the quality tests of earth works in Hungary

Dr J.Pusztai– Dr E.Imre– Dr J.Lőrincz– I.Subert – T.Q.Phong: “Development of large surface dynamic compactibility measurements with location identification and the continuous on site measuring of the sinking of the compacting cylinders” Report of COLAS K+F year 2007.

Subert: Method for measuring Compactness-rate with New Dynamic LFWD. XIII. Danube-European Conference on Geotechnical Engineering Ljubljana, Slovenia, 2006

Subert I.: „Dynamic compactibility measurements on Hungarian highways and reconstruction in cities” Geotechnical Conference 2006 in Ráckeve, Hungary (17-18. October 2006.)

Fáy M. – Király Á. – Subert I.: “Modelling of the use of city traffic with new measurement of dynamic compactness and dynamic bearing capacity” Városi Közlekedés, 2006

Fáy M. – Király Á.: – Subert I.: “Recovering and solution of an earth work-compactness anomaly” Mélyépítéstudományi Szemle. 2006

Subert I.: „Actual questions of dynamic compactibility measurement. New experiences of dynamic compactibility measurement.” Geotechnical Conference 2005 Ráckeve, Hungary.

Subert I.: „New, environmental friendly, economical measuring gauges in traffic constructions” Geotechnical Conference 2004 Ráckeve, Hungary.

Subert I.: „New parameters of dynamic compactness and load bearing capacity measurements and the questions of conversion of the modulus.” Közúti és Mélyépítési szemle 55. évf. 2005. 1. sz.