

Proctor-vizsgálat új értelmezési lehetőségei

The Two-branch Method

Examples of BC theory's applications – Part2

Subert - Phong

1 Bevezető, előzmények

A földművek, a szemcsés anyagok, a vasúti-, közúti- és vízépítési műtárgyak építőanyagainak egyik legfontosabb paramétere a tömöríthetőség, melyet valamennyi szabályozás fontos alkalmassági vizsgálatként kezel. A tömöríthetőségi vizsgálat fő jellemzője a viszonyítási sűrűség, mint a tömörség egy lehetséges és igen elterjedt számításának viszonyítási alapja.

A viszonyítási sűrűséget a laboratóriumban eddig a Proctor-vizsgálatokkal (egyszerűsített vagy módosított módon) végezhetjük el, Proctor, vagy CBR edényben. Az EN szabványok európai vizsgálati azonban újabb vizsgálati módszereket is megengednek a tömöríthetőségi vizsgálatokra, azaz a viszonyítási sűrűség meghatározására, mint a vibrohengeres, vibroasztalos és vibrokalapácsos vizsgálatok.

A tömöríthetőségi vizsgálatok mellé újabb követelmények, ajánlások is megjelentek, látszólag a tömörségi előírásoktól függetlenül. Az FGSV 516 és az ÚT 2-1.222 ÚME például egyes esetekben $\leq 12\%$ levegőtartalom biztosítását is kéri az előírt tömörség elérése mellett. Ez annyira új még, hogy a magyar tenderek többsége még teljesen mellőzi. A megengedett telítettségre sincs előírás (sem koncepció), sem a szabványokban, sem a tenderben. Bár az említett levegőtartalom ilyen előírásnak is értelmezhető (mivel a telítettség a víztartalom és a hézagtényező ismeretében számítható), mégsem tekinthető gyakorlatnak.

Kivitelezéseknél ma még szokatlanak tekintik a tömörítendő anyag nedvességtartalmának helyszíni mérését éppúgy, mint az alkalmassági vizsgálatban a beépítési víztartalmi határok korrekt megadását. Ez utóbbi alatt nem egyszerűen a legnagyobb száraz sűrűség előírt tömörséggel összeszorozott sűrűségi értéket értjük, hanem a száraz és nedves ág megkülönböztetését, a plasztikusság, vagy a telítettség miatti nedves tömörítés – optimális víztartalomra *aszimmetrikus* – beépítési korlátainak megadását.

2 Laboratóriumi tömöríthetőségi vizsgálatok

A módosított Proctor-vizsgálat alkalmazása viszonyítási sűrűségként jellemző Magyarországon is, hasonlóan a legtöbb európai országhoz. Az erre vonatkozó régi vizsgálati előírás az MSZ 14043/7 volt, az uniós csatlakozás óta az MSZ EN 13286-2 szabvány (illetve ennek 7.4 pontja ajánlott, mint a módosított Proctor-vizsgálat) érvényes, jelentősebb eltérés nélkül. A magyar földmű tervezési előírás, az ÚT 2-1.222 szerint az európai előírásokat tükröző EN 13286-2 szabvány lép életbe megjelenése esetén azonnal. Ez 2005-ben megtörtént.

Tömöríthetőségi szabványok

Újabban tehát nem csak a döngölős Proctor-vizsgálatok, hanem más tömörítést alkalmazó vizsgálati módszer alkalmazása is megengedett. Ilyen:

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

Egymással való egyenértékűségük e vizsgálatoknak egyelőre nem ismeretes, átszámításuk nincs. Várhatóan ezek nem fognak egyezni a különböző modellhatás miatt. Az alapvető feltétel azonban ezek összehasonlításánál, hogy a *tömörítési munka* megegyező legyen.

Nyilvánvaló, hogy a későbbiekben elsődleges kérdés lesz az, hogy a valós tömöríthetőségi lehetőségekhez (gépekhez), melyik laboratóriumi tömöríthetőségi vizsgálat áll

közelebb. Nem kerülhető el, hogy a különböző tömörítési módokkal kapott viszonyítási sűrűségeket ne hasonlítsuk össze, azonos, vagy annak feltételezett tömörítési munka mellett.

Ezért *fontos*, az EN 13286-2-ben munkavégzési mennyiség – szerintünk hibás – számítási módjára és az abban megadott adatokra (mely hivatkozásra, összehasonlításra alkalmasnak vélhető) tévedéseire időben rávilágítani.

A hiba alapja

- A döngölő területe más, mint a kokilla területe, ugyanakkor a számítás a teljes felület döngölését feltételezi minden ejtésnél (a negyede helyett!)
- a kokillára helyezett feltét magassága csak közelítőleg van szabályozva (>50mm), de a munkavégzés számítása során sem ennek magassága, sem térfogata, nincs figyelembe véve. A térfogatra vetített munkavégzésnél ugyanis véleményünk szerint nem a maradó hengertérfogatot, hanem a tömörítéskori, magasított henger térfogatát (azaz a magasító eltávolítása nélküli henger paramétereit) kellene figyelembe venni.

Fentiek hatása akkor is jelentős, amikor az egyes Proctor-vizsgálat típusokon belüli eltéréseket elemezzük, de igen súlyos tévedéseket okozhat majd, amikor más tömörítési módokhoz való összehasonlításhoz használnánk. Egy ilyen esetünk volt, amikor a B&C dinamikus tömörségmérő berendezés helyszíni munkavégzését kellett összehasonlítanunk a laboratóriumi Proctor-vizsgálattal, melyet itt is bemutatunk.

Munkavégzés számítása

Az EN 13286-2 számítása szerintünk téves módon adja meg a végzett tömörítési munka értékét, mert nem veszi figyelembe, hogy a tömörített terület csak negyede az edény területének. Vitatjuk a tömörített magasság figyelembe vett értékét is, mert a feltét magasságát nem veszi figyelembe.

Számításaink szerint, a módosított Proctor-vizsgálat munkavégzése a következő:

Döngölési terület $\pi \cdot 5,1^2/4 = 20,4 \text{ cm}^2$, az edény területe $81,67 \text{ cm}^2$. Arányuk = 4,0. A döngölőfej a mintasablon felültének egy negyedét tömöríti egy ejtéssel, majd a sablon elfordul és a döngölő így körbe tömöríti a teljes mintafelületet. A 25 ütés/réteg/4 = 6,25 ütés/felület alapján átlagosan 31,25 ejtés adódik az összesen 5 rétegre, a jelenleg számolt 125 (!!!) ejtés helyett. A munkavégzés $W = m \cdot g \cdot h = 4,5 \text{ kg} \cdot 0,46 \text{ m} \cdot 31,25 = 64,7 \text{ mkp/minta}$, illetve $64,7 \cdot 9,81 = 634,7 \text{ Joule}$ (nem pedig annak négyszerese).

Esetünkben további hiba, hogy a 116mm-es edénymagassághoz +50mm feltét, azaz 166mm tömör anyag magassághoz is tartozik, így $0,7925 \text{ mkp/cm}^2$ felületarányos, illetve $64,7/1356 \text{ cm}^3 = 0,048 \text{ mkp/cm}^3$ térfogatra vetített fajlagos munkavégzések voltak számíthatók.

3 A CWA15846 dinamikus tömörség vizsgálat munkavégzése

A CWA (vagy ÚT 2-2.124) szerinti kialakítással, 163mm tárcsaátmérővel megadott berendezés döngölési alapterülete $208,57 \text{ cm}^2$, ejtési magassága 75cm, az ejtett tömeg 11kg. A végzett munka $W = 8,25 \text{ mkp}$, a munka/felület aránya = $8,25/208,57 = 0,0395 \text{ mkp/cm}^2$, a feltételezett 20 cm hatékony réteg-vastagság mellett egy ejtésnél.

A laboratóriumi módosított Proctor-vizsgálattal (EN 13286-2 7.4 pontjával) *megegyező munkamennyiségű* tömörítést a helyszínen fentiek szerint a B&C dinamikus tömörségmérőnél $(0,792/0,0395) \cdot (20/16,6) = 24 \text{ db}$ ejtésszámmal érhetjük el, ahol a munkavégzés aránya mellett a 20cm-es feltételezett rétegvastagság és a 16,6cm laboratóriumi rétegvastagság arányát is figyelembe vettük. E szerint az elméletileg minimálisan létrehozható 70,8% relatív tömörségi foktól a 100%-ig terjedő tömörítéshez 24 ejtés szükséges. A mérési esetekre jellemzően feltételezhető a legalább 80-85 % induló tömörség. A 100% tömörségi fok

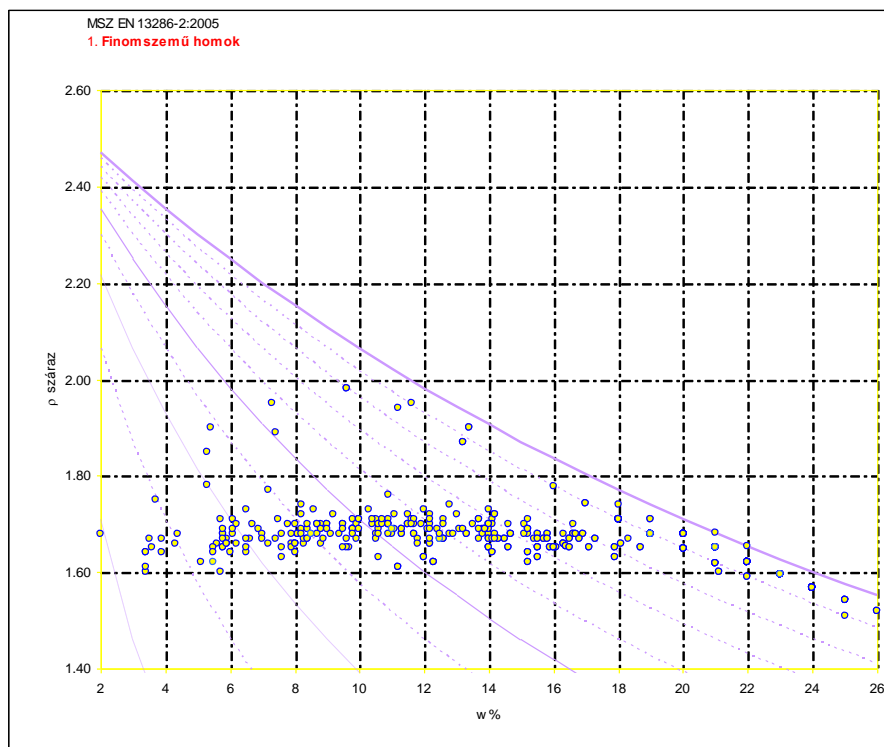
eléréséhez $(100-80)/(100-70,8) \cdot 24 = 16,4$ ejtés felel meg, arányosítva az ejtések hatására bekövetkező tömörödést.

Az ÚT2-2.124 ÚME és a CWA specifikációban előírt 18 ejtéssel tehát a B&C dinamikus tömörségmérő berendezés 78,1%-100% közötti relatív tömörségi fok tartományban alkalmazható.

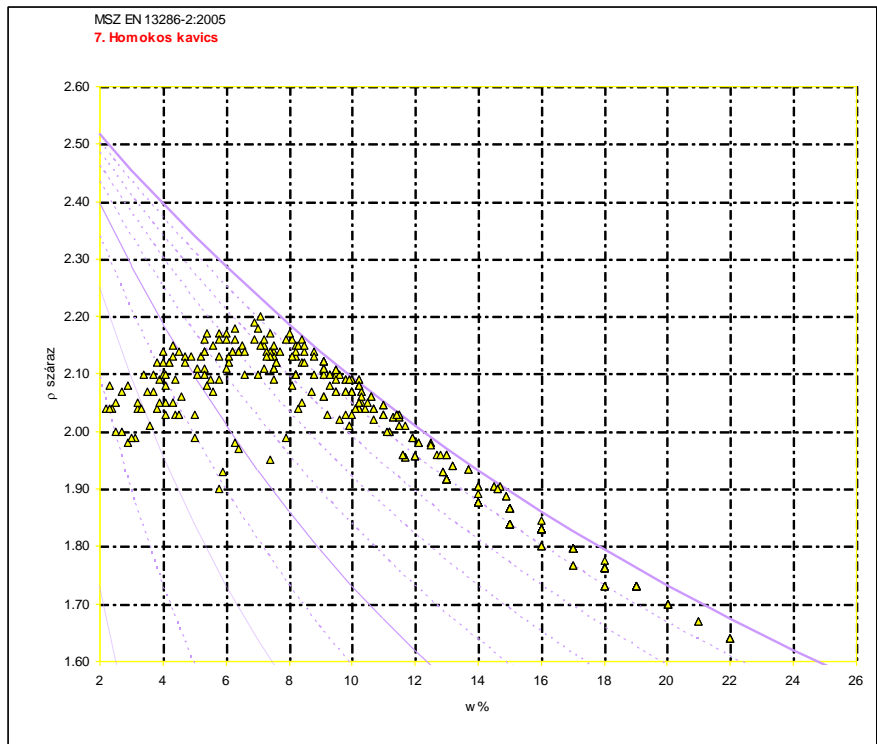
4 A Proctor-vizsgálat és a Proctor-görbe jellemzői

A töltésanyagok és szemcsés anyagok alkalmassági vizsgálata többnyire hiányos, vagy elnagyolt, holott igen jelentős információkat hordoz a kivitelezés gyakorlati vonatkozásában. Feltétlenül szükségesnek tartjuk, hogy a különböző víztartalmak mellett meghatározott Proctor-minta pontok ($w_i\% - \rho_{di}$) száma legalább 5 db legyen, de nagyobb munkáknál jobb, ha még ennél is több 6-8 pontot adnak meg - több helyszíni mintavételtől - egy feldolgozásban ábrázolva.

A jelenlegi előírások a Proctor-vizsgálatból meghatározott ρ_{dmax} viszonyítási sűrűsége sem pontossági igényt nem támasztanak, sem megbízhatósági (tűrés) intervallumot nem adnak (tömörségi foknál sem). Emiatt a tömörségi fok hibája elérheti a 4-5%-ot is, mely a tömörségmérés más műszerpontossági paramétereivel halmozódva még tovább nőhet. Elemzést végeztünk egy nagyszámú körvizsgálatból (Közlekedéstudományi Intézet 2005 évi Proctor körvizsgálat), mely valóban igen nagy eltéréseket mutatott, valamennyi anyagtípusnál (1. ábra, 2. ábra, és 3. ábra)



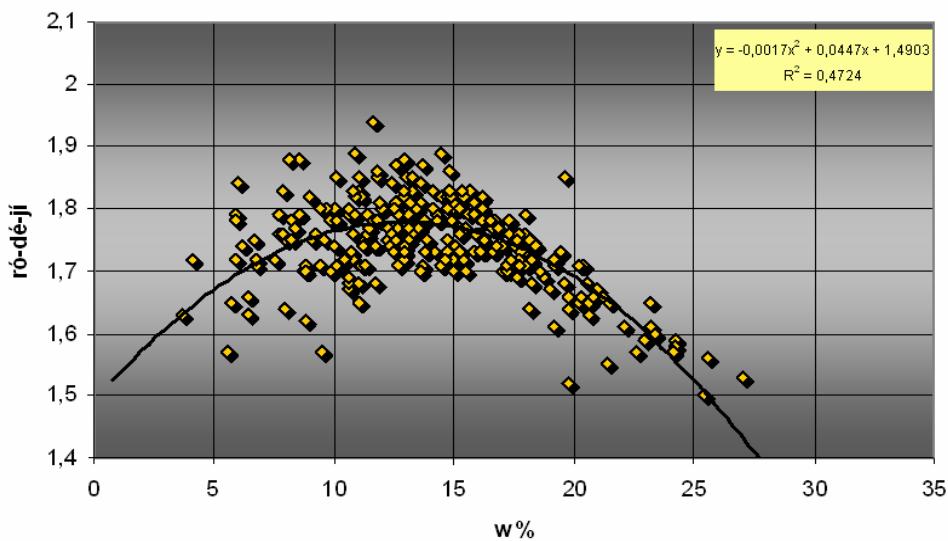
1. ábra Proctor körvizsgálat: Finom homok



2. ábra Proctor körvizsgálat: Homokos kavics

Meg kell említsük, hogy fenti ábrák tartalmazzák az általunk ajánlott, úgynevezett „számított virtuális” Proctor-pontokat is a nedves ágon $S \geq 0,95$ felett, a hézag nélküli sűrűségből számítva (ezek nem jól mérhetőek). Fontos a Proctor alkalmassági vizsgálatnál, hogy ismerjük a telítési vonalakat, melyek közül kitüntetett a w_{opt} -hoz tartozó telítési vonal (az ábrán például $S = 0,88$). Eddig legfölbjebb az $S = 1,0$; $S = 0,9$ néha $S = 0,8$ telítési vonalat ábrázoltuk. A telítési vonalakat a Proctor-vizsgálatból és a hézagmentes anyagsűrűségből számítani lehet akár $S = 0,1$ -re is. Azt tapasztaltuk, hogy ezek számítása és ábrázolása segít a Proctor pontok regressziós görbéjének újszerű értelmezésében.

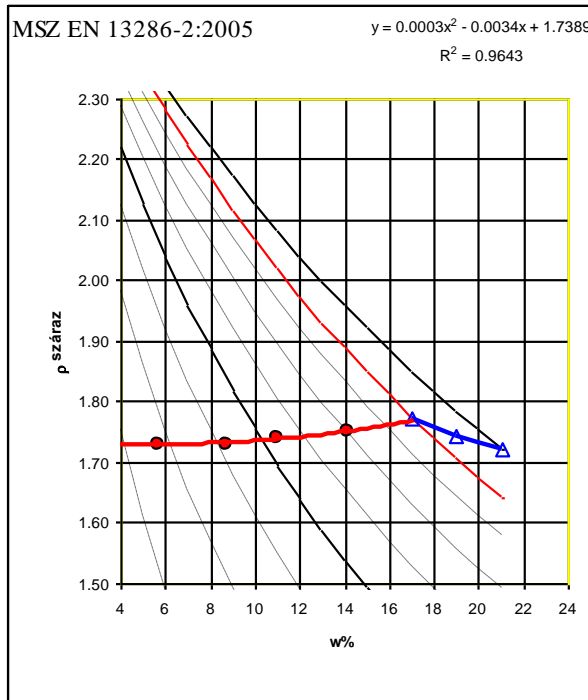
Izszapos homokliszt (KTIKV-2)



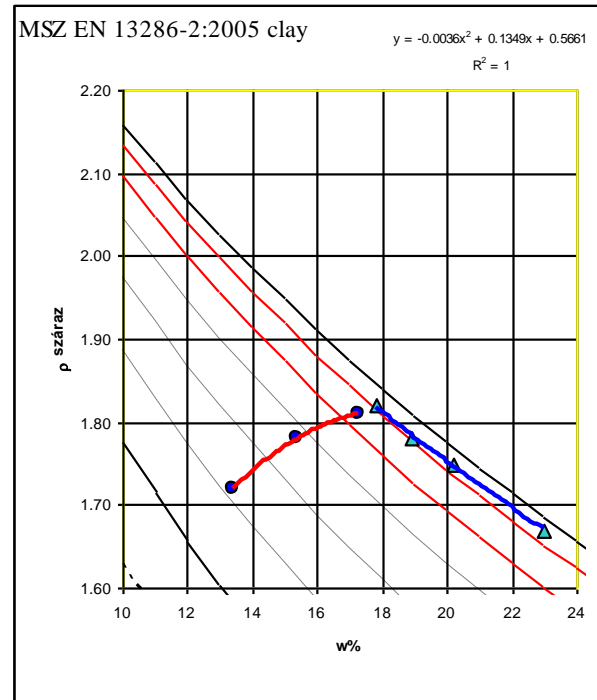
3. ábra Akkreditált laborok által mért Proctor-pontok egy körmintából

5 Proctor-görbe új értelmezési lehetősége

Több ezer Proctor-pontot, valamint a körvizsgálatok elérhető adatait feldolgoztuk (2006 Phong - Subert). Megállapítottuk, hogy az eddig alkalmazott és jellegzetesnek tartott görbék gyakran nem helytállóak. A telítési vonalak ábrázolása fontosnak bizonyult és az $S=0,9$ telítési vonaltól balra a „száraz” anyagviselkedést, míg az $S = 0,9$ telítési vonaltól jobbra – jól szétválaszthatóan - a nedves viselkedést jellemzik.



4 (a) homok



4 (b) agyag

4. ábra Proctor görbe feldolgozása a „two-branch” módszerrel

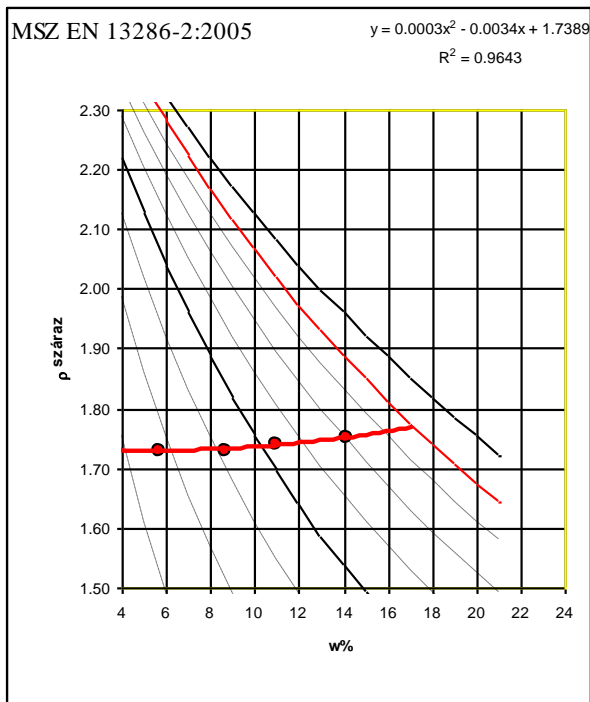
Száraz viselkedés

A száraz viselkedést az $S=0,9$ -es telítési vonaltól balra eső Proctor-pontok regressziós vizsgálatával végeztük (a többi mért Proctor-pontot elhagyjuk a számításból). Ez általában domború, vagy néha homorú görbe, esetenként egyezik csak az eddigi, általánosan kialakult görbékkel. Bár ez az új értelmezés a w_{opt} körüli értékeknél okozza a legkisebb változást a korábbi értelmezéshez képest, de akkor is jelentős elméleti megfontolásnak minősül. (5. ábra) A dinamikus tömörségmérés megengedett tartománya ebben a száraz tartományban helyezkedik el, a nedvesség korrekciós tényező is ebből számítható.

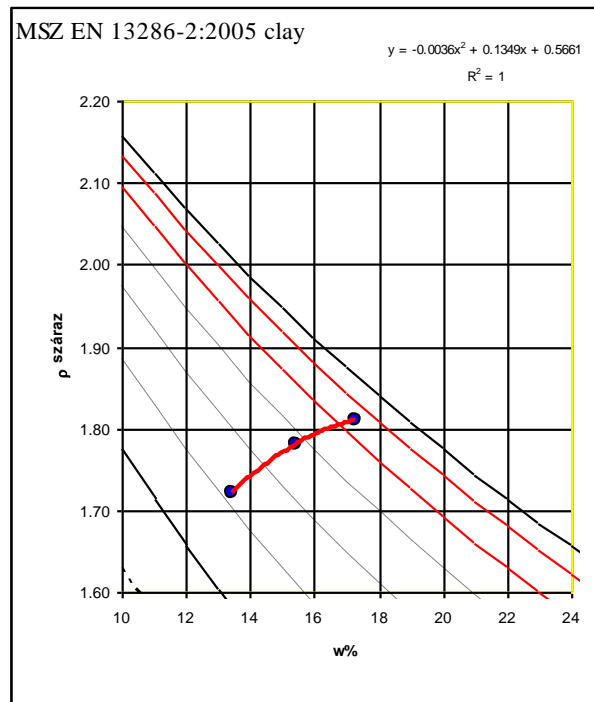
Nedves viselkedés

A nedves viselkedés görbét az $S=0,9$ -es telítettség feletti víztartalmakra vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy az mindig jellegzetesen belesimul a telítési vonalak közé és közelít az $S=1$ telítettséghez (6. ábra).

Mivel az $S = 0,95$ telítettség fölött a helyszíni tömörítés nem lehetséges, és nincs értelme a dinamikus méréseknek sem, ezért ennek a szakasznak a feldolgozása csak esetenként lehet fontos. Ilyenkor ugyanis már nincs elég levegő a rendszerben a tömörítés végrehajtásához, a víz pedig nem nyomható össze. A szabványok ezért tiltják a telített talajon történő mérést (és tömörítést is).

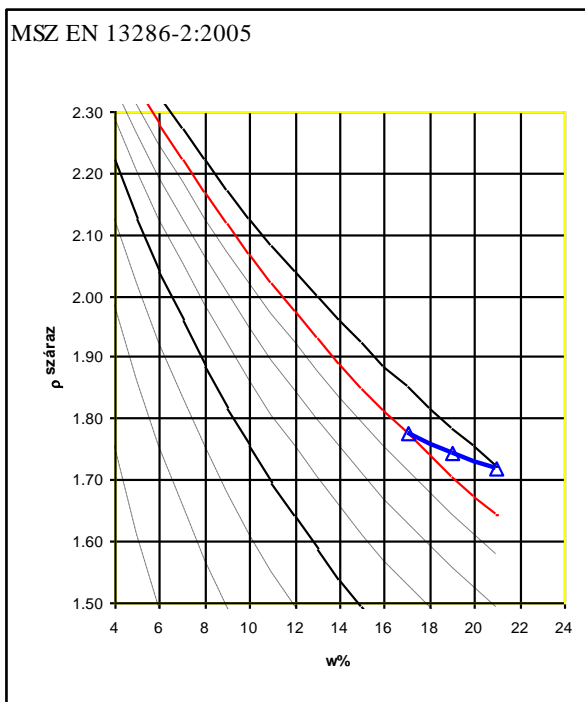


5 (a) homok

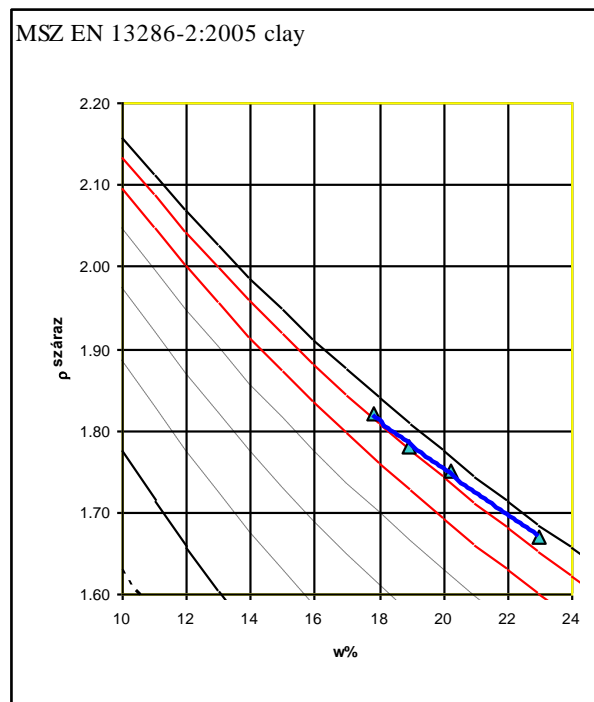


5 (b) agyag

5. ábra A száraz ágra jellemző Proctor-görbe szakasz az új elmélettel



6 (a) homok



6 (b) agyag

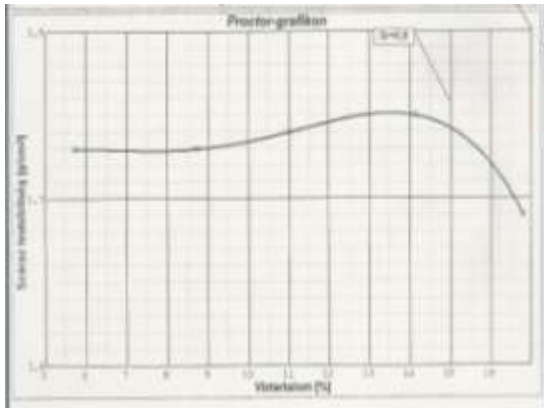
6. ábra A nedves ágra jellemző Proctor-görbe szakasz az új elmélettel

Összetett Proctor-görbe

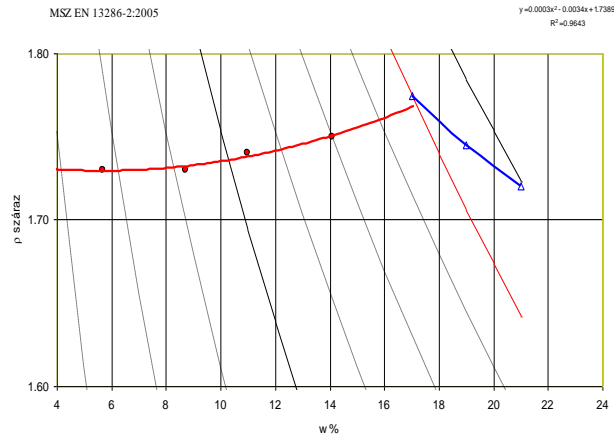
Fentiekből jól látható, hogy a nedvességtartalomtól függő tömöríthetőséget jellemző Proctor-görbe tulajdonképpen nem egy, hanem két szakaszból áll, mely *egy pontban találkozik és egymáshoz a két görbének matematikai értelemben semmi köze nincs*. A jobb oldali ág a telítési vonalakba simuló és sokkal egyszerűbben és pontosabban számítható, mint ahogyan

mérhető. Ezen a szakaszon (távol a w_{opt} -tól) akár virtuális Proctor-pontok is felvehetők, számítással meghatározva értékeiket.

A száraz-ági görbe a mért Proctor-pontokból regressziós analízissel számítható és egyben az adja a nedvesség korrekciós görbét is (ρ_{di}/ρ_{dmax}). Az általunk vizsgált esetekből kiemeltük azokat a homokokat, ahol a Proctor-görbe jellemző alakja korábban hullámos (sinusgörbe-szerű) volt. Ezek a görbék jellemzően a w_{opt} alatt, a száraz tartományra voltak jellemzők. Az új feldolgozásban egyértelmű, hogy a pontok összekötésével más, a valósághoz vélhetően közelebb álló homorú görbék keletkeztek (lásd 7. ábra, 8. ábra).



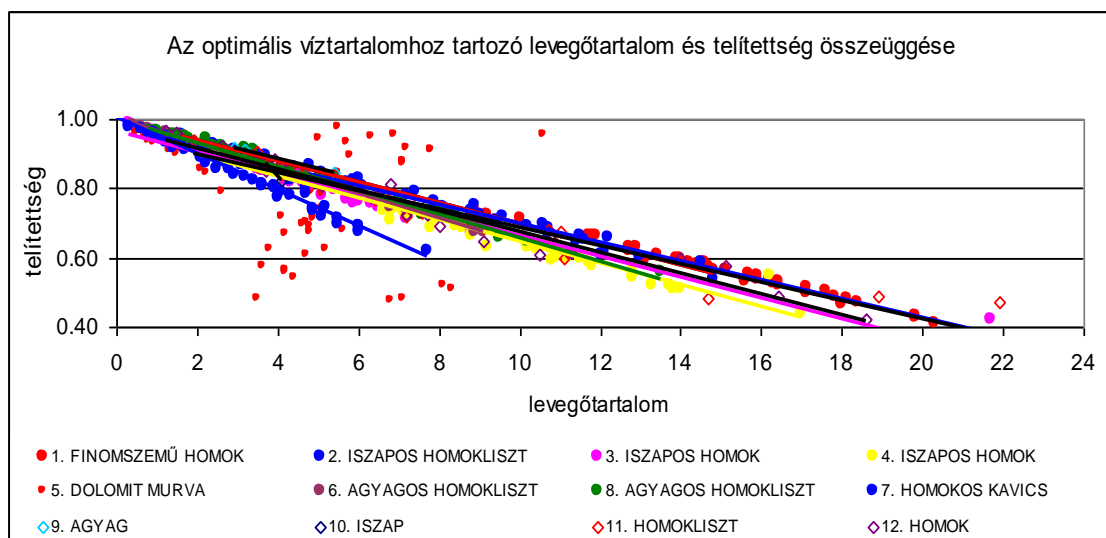
7. ábra Hagyományos feldolgozású „szinuszos” Proctor-görbe ($w_{opt} = 13,5\%$)



8. ábra Új módszerrel feldolgozott „összetett” Proctor-görbe ($w_{opt} = 17,0\%$)

6 Az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom és telítettség

Nyolc különböző fajtájú anyagnál megkerestük az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom és telítettség közötti összefüggést. Ez lineárisnak vehető és közelítőleg jól egyeznek egymással különböző anyagoknál is, kivéve esetünkben egy dolomit murvát.



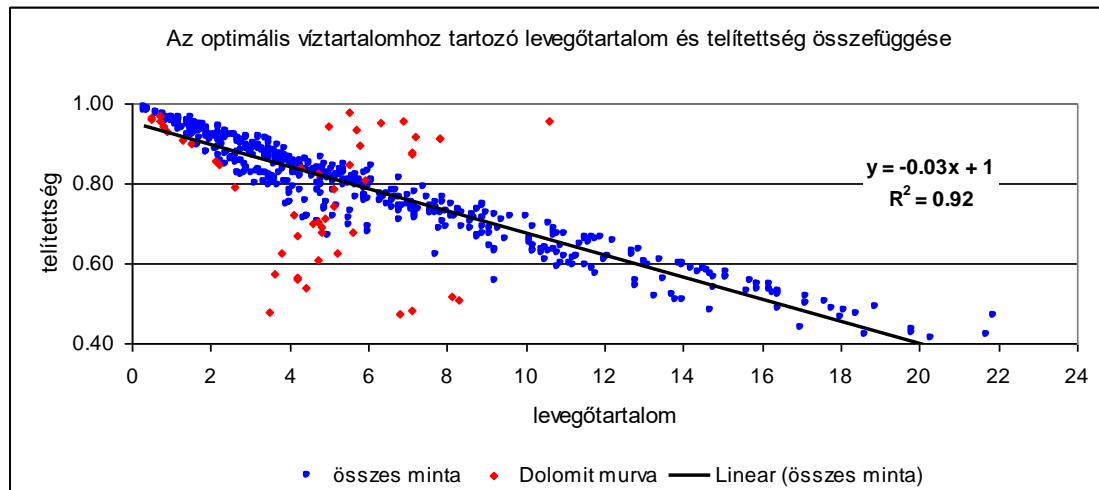
9. ábra A w_{opt} -hoz tartozó levegőtartalom és telítettség összefüggése

A feldolgozott nyolc nagyon különböző anyag és 566 db Proctor eredmény alapján megállapítottuk az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom és telítettség közelítő összefüggést, mely a következő:

$$S_r = 1 - 0.03l$$

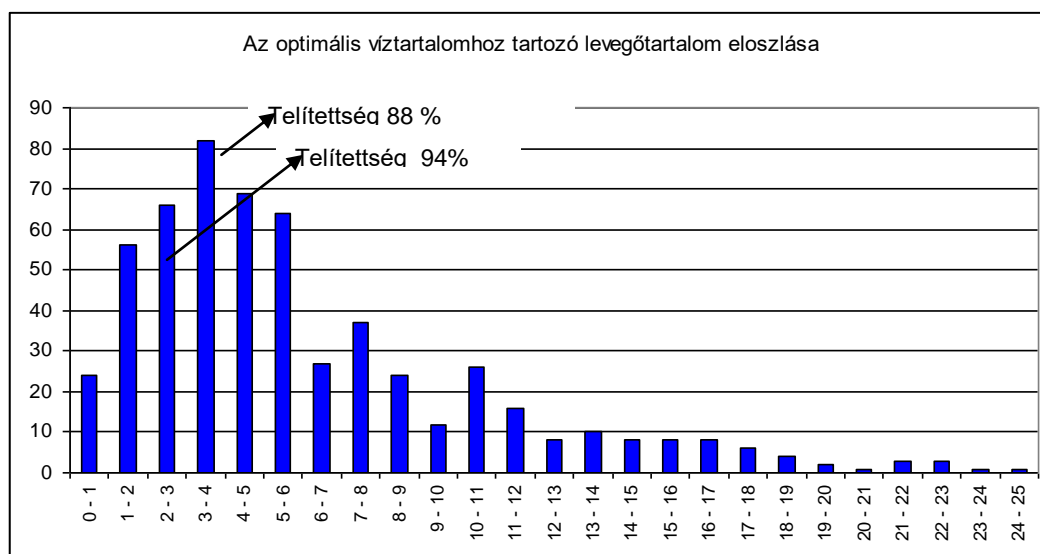
ahol: l a levegőtartalom és S_r a telítettség.

Jellemző, hogy 12 tf%-nál jóval alacsonyabb hézagok adódnak az optimális víztartalomnál (elérhető legnagyobb száraz sűrűsénél).



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

A rendelkezésünkre álló Proctor-vizsgálati eredmények eloszlása lognormális jellegű és a 11. ábrán mutatjuk be. A w_{opt} -nál meghatározott levegőtartalom nagy gyakorisággal, jellemzően az 1-6 tf% tartományba esik. A regresszió-analízisből megállapított összefüggést felhasználva a telítettség ennek megfelelően **S=88–94%** között van, amely a tapasztalattal jól megegyezik és a B&C dinamikus tömörségmérés gyakorlati alkalmazhatóságát tekintve döntő fontosságú. A 95%-ot meghaladó telítettségek esetében a dinamikus vizsgálatok (nagy tárcsás LFWD, kistárcsás LFWD, valamint KUAB), alkalmazása kerülendő, mert a víz a dinamikus ütések hatására nem nyomódik össze.

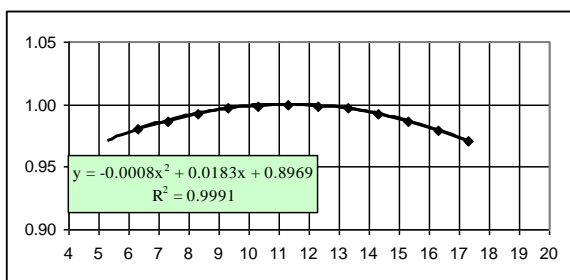


11. ábra Az optimális víztartalomhoz tartozó levegőtartalom gyakorisági eloszlása

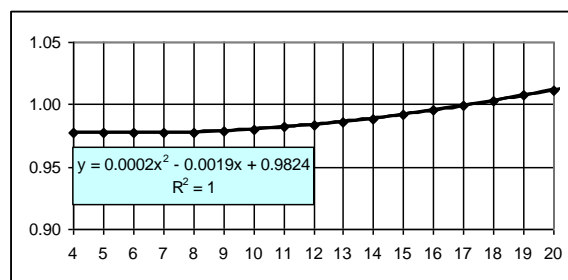
7 Következtetések

Az összetett Proctor-görbe - **Complex Proctor Curve (CPC)** új értékelési elmélete elemzéséből vizsgálódásaink alapján a következő alapvető következtetések tehetők.

- a ρ_{dmax} és w_{opt} jellemzően 2-6% közötti (azaz jóval 12% alatti) levegőtartalommal rendelkezik és általában $S=0,88-95$ telítettségű volt a vizsgálati halmazban (566 db)
- a Proctor-görbe meghatározását nem összevontan a bal oldali száraz és jobb oldali nedves ággal, hanem külön-külön kell elemezni és meghatározni, mivel a száraz ág és nedves ág matematikailag is teljesen más, de fizikailag is teljesen eltérő viselkedést jellemez. Ha ezt nem vesszük figyelembe, akkor torz, egyes pontjaiban nem a valóságos tömöríthetőségi viselkedést jellemző görbét kapunk
- a két ág Proctor-görbéje közötti *bizonytalan sáv* viszonylag kicsi és az $S=88-95$ telítési vonalak között jellemző elhelyezkedése
- az $S=0,88-0,95$ telítési vonalaktól balra eső Proctor-pontok regressziós analízise a száraz ágra jellemző, az építési körülményekkel egyező, de a korábbi értékelési módszernél pontosabb, megbízhatóbb görbét ad. A száraz – igen száraz tartományban például az új feldolgozási módszer eltünteti (csökkenti) a korábbi, úgynevezett „hullámos” Proctor-görbét, mely számos vitát okozott
- az új értékelési módszerrel az optimális víztartalomtól távoli pontok tömöríthetősége is pontosabban becsülhető az eddig használt módszernél
- a nedves (jobb oldali) ág külön regressziós-matematikai elemzése ugyan lehetséges, de gyakorlatilag teljesen értelmetlen. Jellegét tekintve egyrészt meghatározó, hogy a telítési vonalak közé simul, másrészt lényeges, hogy ilyen telítettségénél sem valós tömörítés, sem dinamikus tömörségvizsgálat nem végezhető el
- lehetséges a görbe a nedves ágon számított, azaz virtuális Proctor-pontok felvétele a regressziós vizsgálatához. Ezek pontossága lényegesen meghaladja a valóságban mérhető értékekét a víz mintából való kifolyása miatt. Ezzel a távoli pontokkal a jobb oldali görbe illesztését pontosabbá tehetjük
- A normalizált Proctor-görbe (ρ_{di}/ρ_{dmax}) maximuma értelemszerűen 1,0 és az anyagra jellemző tömöríthetőségi viselkedést mutatja a nedvesség változásának hatására. Ez az úgynevezett T_{rw} nedvességkorrekciós görbe, mely a dinamikus tömörségmérésben a relatív tömörségi fok dinamikus tömörségi fokra történő átszámításához alkalmazunk. Az itt bemutatott módszer alkalmazása esetén nagyobb víztartalom tartományban jobb megbízhatósággal számítható a nedvesség korrekciós tényező
- Az új módszer végül segít a többi (EN 13286-3-4-5) laboratóriumi tömöríthetőségi vizsgálat eredményeinek pontosabb értékelésében, azok összehasonlítását, mivel a w_{opt} feletti nedves ág értelmezése valamennyi esetben ugyanaz lehet. Az összehasonlítás így csak a w_{opt} alatti víztartalmak melletti tömöríthetőségre, illetve ezek görbületére, a tömörítés intenzitásának összehasonlítására szorítkozhat.
- a módszer lehetővé teszi a CWA15846 szerinti B&C mérőeszközzel, a helyszínen végzett tömörítéssel, ennek megfelelő edénnyel, úgynevezett „helyszíni Proctor-vizsgálatok” kifejlesztését és beillesztését a próbabeépítések vizsgálati közé. Számos esetben igen nagy segítség és a változó anyagminőség miatti problémák tisztázása már a helyszínen lehetségessé válhat.



12. ábra Egy nedvesség-korrektíós tényező számítása a régi módszerrel



13. ábra Ugyanennek a nedvesség-korrektíós tényezőnek a görbéje az új módszerrel

8 Összefoglalás

A CWA15846 B&C dinamikus tömörségmérési módszer a helyszíni tömörítés módszerét alkalmazza minden egyes helyszíni mérési ponton azzal, hogy 18 ejtéssel a tömörítést elvégzi a tárcsa alatt. Az így számított tömörödési görbéből az adott víztartalomhoz tartozó kezdeti, relatív tömörségi fok számítható. A tömörítési mód (és a mérési pontok alakváltozási viselkedése is) ezért igen hasonló a laboratóriumi Proctor-vizsgálathoz, azzal, hogy a laboratóriumi vizsgálat valamennyi nedvességtartalom mellett vizsgált pontján 100%-os relatív tömörséget érünk el, „egységnyi” tömörítési munka alkalmazásával.

A tömöríthetőségi vizsgálatok szerepe az alapanyag minősítésében döntő. A tömörségi fokot eddig a mért sűrűségekből a viszonyítási sűrűség arányából számítottuk. Ez a Proctor-görbe maximuma, a mért legnagyobb száraz sűrűség a viszonyítási sűrűség, ezért ennek meghatározási módja és pontossága, megbízhatósága döntően befolyásolja a mérés jóságát.

A dinamikus tömörségi fok meghatározásánál a Proctor-vizsgálat szerepe kisebb jelentőségű, mert csak az anyag száraz viselkedését tükröző görbét, annak görbületét vesszük figyelembe. Ennél a módszernél a Proctor-görbe görbülete a fontos, nem a sűrűség abszolút értéke. A w_{opt} -tól távoli nedvességeknél a valóságtól eltérő eredmények okozhatnak pontatlanságot, vagy nagyobb hibát, ezért az új módszer a dinamikus tömörségmérés pontosságát fokozó módszer.

A Proctor-vizsgálatok nagyszámú adatokkal (566 db) történő elemzése jól kimutatta az általánosítható hasonlóságokat és megengedhető következtetéseket. Jelentős eredmény a pontosság növelésében az a módszer, hogy az $S=0,88-95\%$ -kal jellemzett bizonytalan sávval elválasztott pontokat külön-külön elemezzük. Ezzel a ρ_{dmax} értékeit a valós viselkedéssel egyező módon nedves és száraz viselkedésre jellemző, két görbeszakaszra bontjuk. Ezeket külön – külön vizsgáljuk, és a görbék egyenletét számítással, regressziós analízissel határozzuk meg.

Az új Proctor-görbe értékelési módszer alapvetően megváltoztatja a ρ_{dmax} becslési pontosságát, a viszonyítási sűrűség megbízhatóságát, ezzel jobb pontosságot nyújt valamennyi gyakorlatban alkalmazott tömörségméréshez, köztük a CWA15846 szerinti B&C dinamikus tömörségméréshez, a T_{rw} nedvességkorrektíós tényező és görbe meghatározásához is.

Szakirodalmi jegyzék

- FGSV FGSV 516:2003 Merkblatt für die Verdichtung des Untergrundes mit Unterbaues im Straßenbau.
- Measuring Method for Dynamic Compactness & Bearing Capacity with SP-LFWD
CWA 15846, WS33
- MSZ EN 13286 – 2 Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 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. Part 3: Test methods for laboratory reference density and water content. Vibrocompression with controlled parameters.
- EN 13286 – 4 Unbound and hydraulically bound mixtures. Part 4: Test methods for laboratory reference density and water content. Vibrating hammer.
- ÚT2-2.124 Measuring of dynamic compactness and dynamic bearing capacity with small plate light falling weight deflectometer.
- Dr József Pusztai– Dr Emőke Imre– Dr János Lőrincz– István Subert – Trang Quoc Phong: Development of large surface dynamical compactibility measurements with location identification and the continuous on site measuring of the sinking of the compacting cylinders. Report of COLAS R+D in year 2007.
- Subert: Method for measuring Compactness-rate with New Dynamic LFWD. XIII. Danube-European Conference on Geotechnical Engineering Ljubljana, Slovenia, 2006
- Subert: „Dynamical compactibility measurements on Hungarian highways and reconstruction in cities” Geotechnical Conference 2006 in Ráckeve, Hungary (17-18. of October 2006.)
- Subert I.: „Dinamikus tömörségmérés aktuális kérdései. A dinamikus tömörség mérés újabb tapasztalatai” Geotechnika Konferencia 2005 Ráckeve. (2005. október 18-20.)
- Subert I.: „Új, környezetkímélő, gazdaságos mérőeszközök a közlekedésépítésben” Geotechnika Konferencia 2004 Ráckeve. (2004. október 26-27.)
- Subert I.: „A dinamikus tömörség- és teherbírásmérés újabb paraméterei és a modulusok átszámíthatósági kérdései” Közúti és mélyépítési szemle 55. évf. 2005. 1. sz.
- Subert I.: „B&C Dynamic Compactness Test” Mélyépítés 2004 October - December (p.:38-39).
- Subert I.: “B&C – egy hasznos társ” Magyar Építő Fórum 2004/25.