

e-UT 09.02.xx:202x

Jogszabályi véleményezésre

**DINAMIKUS TÖMÖRSÉG-
ÉS TEHERBÍRÁSMÉRÉS
KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS BERENDEZÉSEL**

Jogszabályi véleményezésre (2022. november)

**ÚTÜGYI
MŰSZAKI
ELŐÍRÁS**

Az ütügyi műszaki előírások kidolgozására, kiadására és közzétételére vonatkozó szabályokról szóló, 16/2017. (V. 25.) NFM rendelet 7. § (1) bekezdésében kapott felhatalmazás alapján az **Ütügyi Műszaki Szabályozási Bizottság a(z) xx/202x. (xx. xx.) számú határozattal** a Koordináló szerv által előkészített

**DINAMIKUS TÖMÖRSÉG- ÉS TEHERBÍRÁSMÉRÉS KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS
BERENDEZÉssel** című,
e-UT 09.02.xx számú

ütügyi műszaki előírást elfogadta.

Ez az ütügyi műszaki előírás **202x. xxx 15-én** lép hatályba.

Az e-UT 09.02.xx:202x *Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés könnyű ejtősúlyos berendezéssel* című ütügyi műszaki előírás hatálybalépésével egyidejűleg az

- e-UT 09.02.31:1998 *Dinamikus teherbírásmérés*
- e-UT 09.02.32:1998 *Teherbírásmérés könnyű ejtősúlyos berendezéssel*
- e-UT 09.02.34:2000 *Dinamikus teherbírásmérés (KUAB). Mérési eredmények feldolgozása*
- e-UT 09.02.35:2005 *Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel*

című ütügyi műszaki előírások hatályukat veszítik azzal, hogy az e-UT 09.02.xx:202x számú ütügyi műszaki előírás hatálybalépését megelőzően a közút építetője vagy kezelője által megkötött szerződések esetében **202x. xx 15-ig** alkalmazhatóak. Az alkalmazás feltétele a közút építetőjének vagy kezelőjének erre irányuló nyilatkozata, amit a vonatkozó dokumentumokban meg kell hivatkozni.

Koordináló szerv: Magyar Közút Nonprofit Zártkörűen Működő Részvénytársaság

TARTALOM

1. AZ ALKALMAZÁS FELTÉTELEI.....	5
1.1. Az előírás tárgya	5
1.2. Az alkalmazás területei	6
2. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK	7
3. VIZSGÁLATI MÓDSZER	10
4. A VIZSGÁLAT ESZKÖZEI.....	10
4.1. Mérőkészülék	10
4.1.1. Mechanikus terhelőberendezés	11
4.1.2. Terhelőtárcsa	11
4.1.3. Vezérlő-adattároló egység	11
4.2. Mintavételi eszközök	11
4.3. Anyagok	11
4.4. A mérőkészülék üzemmódjai.....	12
4.4.1. Mérő üzemmód	12
4.4.2. Teszt és kalibrációs üzemmód (SP-LFWD és BP-LFWD).....	12
5. VIZSGÁLATOK.....	13
5.1. A mérés helyének előkészítése	13
5.2. A mérőeszköz előkészítése méréshez	13
5.2.1. A műszer felkészítése	13
5.2.2. A mérőeszköz ellenőrzése	13
5.2.3. Dátumbeállítás	14
5.3. A dinamikus teherbírásmérés végrehajtása.....	14
5.3.1. Mérés végzése általános esetben (SP-LFWD és BP-LFWD).....	14
5.3.2. Ejtési művelet (SP-LFWD és BP-LFWD)	14
5.3.3. Helyszíni mérés különleges körülmények között (SP-LFWD és BP-LFWD).....	15
5.4. SP-LFWD dinamikus tömörség- és teherbírásmérés végrehajtása.....	15
5.4.1. Általános eset.....	15
5.4.2. A mérés műveletei.....	15
5.4.3. A mérés tömörítési munkájának ellenőrzése	16
6. MÉRÉSI EREDMÉNYEK	16
6.1. Behajlás, süllyedési amplitúdó	16
6.2. Dinamikus teherbírási modulus	16
6.2.1. Mértékadó dinamikus modulus	17
6.2.2. Egyenértékű dinamikus modulus	18
6.3. A dinamikus tömörségi fok (SP-LFWD)	18
6.3.1. Mértékadó tömörségi fok	19
6.3.2. Egyszerűsített tömörségmérés	20
7. VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV	20
7.1. Tartalmi követelmények	20
MELLÉKLET	22
M1. A könnyű ejtősúlyos mérőberendezések kalibrációja.....	22

M1.1. Gyári kalibrálás.....	22
M1.2. Kalibrációs eljárás	22
M1.3. Saját ellenőrzés (SP-LFWD és BP-LFWD)	24
FÜGGELÉK.....	25
F1. A számításokban alkalmazott kifejezések	25
F2. Műszaki követelmények (SP-LFWD és BP-LFWD).....	25
F3. Ajánlások a műszerkialakításra, üzemmódra, kiegészítőkre és tartozékokra.....	26
F3.1. A könnyűejtősúlyos berendezés és mérések jellemzői	26
F3.2. Nyomtató	27
F3.3. Tartozékok	28
F4. A nedvességkorrekciós tényező számítása és alkalmazása SP-LFWD esetén	28
F4.1. Példa	29
F5. Számítások bemutatása	30
F5.1. Kistárcsás tömörség- és teherbírásmérés SP-LFWD mérőeszkővel	30
F5.2. Evt teherbírásmérés BP-LFWD mérőeszkővel	33
F6. Átszámítások – összefüggések	35
F6.1. Az SP-LFWD átszámításai és összefüggései (Csak irodalmi hivatkozással együtt szabad megadni!)	35
F6.2. Az BP-LFWD átszámításai és összefüggései	41
A szövegben említett és kapcsolódó magyar nemzeti szabványok, útügyi műszaki előírások és jogszabályok	42

1. AZ ALKALMAZÁS FELTÉTELEI

1.1. Az előírás tárgya

A földmű és alapozás szerepe meghatározó valamennyi építési munkában, legyen az mély- vagy magasépítés. Fontos a gyors információ a földmű állapotáról, a tömörítőeszköz hatékonyságáról, vagy a tömörítéssel elért paraméterekről, a kivitelezés előtt, alatta, valamint minősítése a megépítése után. A dinamikus könnyű ejtősúlyos berendezések nagy előnye, hogy ellensúly alkalmazása nélkül, gyorsan és egyszerűen elvégezhetőek a mérések, akár szűk, gépekkel nehezen hozzáférhető helyeken is.

Lehetséges annak megállapítása, hogy az adott altalaj megfelel-e a tervezett teherbírési elvárásoknak, illetve alkalmas-e a tömörítésre helyszíni állapotában, vagy ha nem, akkor a mért paraméterek ismerete segítség a javítási technológia kiválasztásához és kidolgozásához. A földmű, altalaj, nem hidraulikus kötőanyagú alapréteg, szemcsés javító-, védőrétegek tömörítés utáni minősítésére könnyen, és az elvárt pontossággal alkalmazhatóak.

Rendkívül fontossá vált az építés alatt az, hogy kellő információmennyiség álljon rendelkezésre a szükséges döntésekhez. Ehhez a dinamikus méréseknél alkalmazható 21. századi (ICT) technológia lehetőséget nyújt, melyet ki kell használni. Lehetségessé vált az okostelefon műszerként való alkalmazása, az adattovábbítás gyors és megválasztható módja, a digitális, papírmentes jegyzőkönyv és dokumentálás, valamint a térinformatika széles körű, hetköznapi alkalmazása.

A dinamikus mérések nagy előnye gyorsaságuk és egyszerűségük, illetve a forgalom dinamikus terhelésével modelhatásuk hasonló.

A tudományos kutatások és publikációik hatására a dinamikus kézi mérőeszközök száma az alkalmazás lehetőségével arányosan nőtt, valamint más mérésekkel való összefüggéseket is kidolgoztak, ezzel segítve a minőség biztosításához és a gondos kivitelezéshez kapcsolódó méréseket. Az önellenőrzés lehetőségének megteremtése a dinamikus mérés lehetőségének terjedésével létfontosságúvá vált, mert az építés alatt a kivitelező által is ellenőrizhető lett a tömörség és teherbírás.

A nagytárcsás dinamikus teherbírás mérés fél évszázada jelent meg, és számos típus kialakulásához vezetett. Szükséges a különböző műszertípusok kialakításának, az üzemmódoknak főbb és egységes szabályozása, a kalibrálhatóság és az egységes mérési előírások rögzítése, felhasználói oldalról. Megjelent az alakváltozás mérésén alapuló kistárcsás tömörségmérési módszer, ezzel a dinamikus módszerrel a tömörségi fok is meghatározhatóvá vált a teherbírás mérése mellett.

Jelen előírás kitér a kalibrálás módjára a kalibrációs eljárásban alkalmazandó egységes szabályozás érdekében, mely alapvetően szükséges ahhoz, hogy az erre szakosodott laboratóriumok a minősítő méréseket kellő pontossággal és ismételhetőséggel el tudják végezni.

A mérést végző személyzet munka-, és egészségvédelme szempontjából előnyös az ilyen, izotópmentes vizsgálati módszer alkalmazása, melyek a munkavállalókra nézve kisebb kockázatot jelentenek, alkalmazásuk során az egészségükre gyakorolt káros hatás nincs, a műszerek tárolása és szállításuk során különleges előírások nincsenek.

Jelen előírás összevonta a dinamikus nagytárcsás mérőeszköz és mérés korábbi e-UT 09.02.32:1998 előírásait a kistárcsás dinamikus tömörség és teherbírás mérésére alkalmazott e-UT 09.02.35:2005 előírással, és egységes keretben szabályozza a két hasonló, de tárcsa alatti terhelésben jelentősen eltérő dinamikus mérést.

Jelen előírás alkalmazza a valamennyi mérési eljárásra, kalibrációra megfogalmazott szakmai szempontot és lehetővé teszi a földművek dinamikus teherbírásának és dinamikus tömörségének meghatározását mind gyártásközi, mind minősítési céllal.

1.2. Az alkalmazás területei

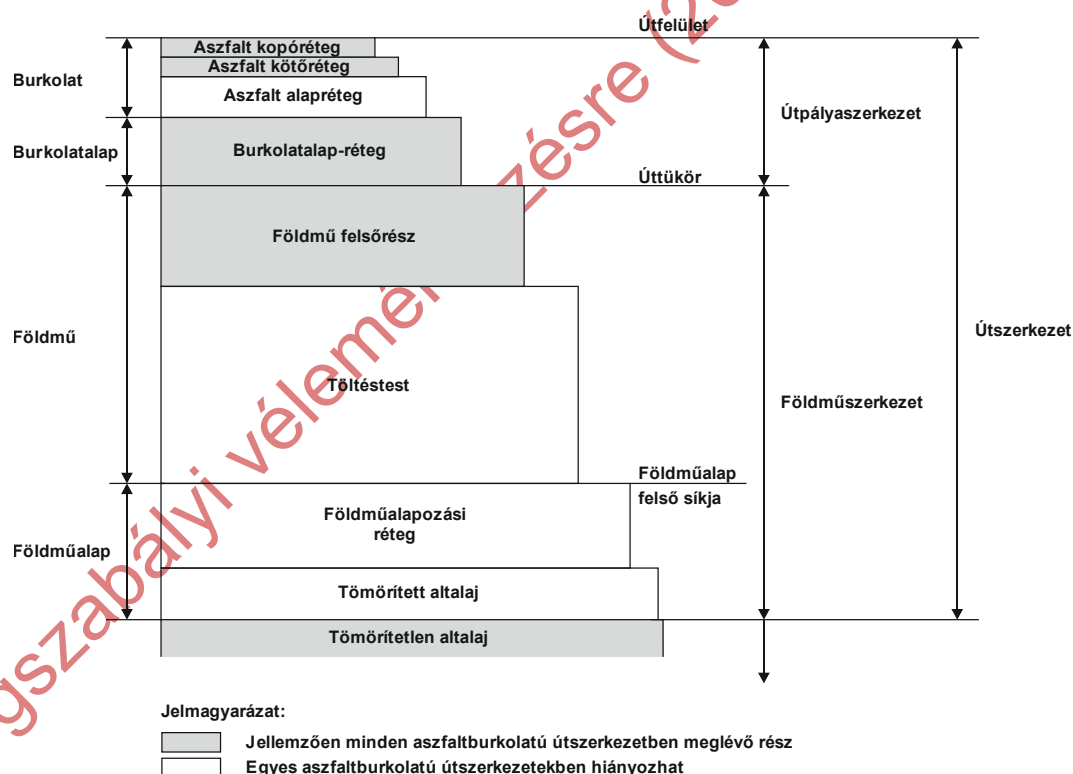
Ez az ÚME hatálytalanítja az e-UT 09.02.32:1998 (ÚT 2-2.119) Teherbírásmérés könnyű ejtősúlyos berendezéssel, illetve az e-UT 09.02.35:2005 (ÚT 2-2.124) Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel” című útügyi műszaki előírásokat.

A dinamikus mérési módszerek alkalmazhatóságát az e-UT 06.02.11 Közutak létesítésének általános geotechnikai szabályai útügyi műszaki előírás 4.5. pontja szabályozza, mely a dinamikus mérések alkalmazását is lehetővé tette.

A nagytárcsás és a kistárcsás dinamikus vizsgálati módszer alkalmazása és szabályozása fontos a kivitelezésben alkalmazandó önellenőrzés eléréséhez, valamint az egységes és pontos minősítéshez a mélyépítés minden területén, valamint a magasépítés alapozási munkáin és közműbekötéseinél.

A teherbírással és tömörségi fokra vonatkozó határérték-előírások alkalmazhatósága biztosított, az átszámítások és összefüggések ismeretében pedig az építés közben szerezhető információk jelentősen bővülnek. Ezzel a szükséges döntések nagyobb biztonsággal hozhatók meg, a megfelelő minőség és tartós élettartam pedig hosszabb időszakokra biztosítható.

Az ejtősúlyos berendezésekkel ellenőrizhető a földműalap tömörsége és teherbírása. A töltéstest építése során ellenőrizhető vele a töltés tömörsége, valamint a földmű felsőrész építésekor annak tömörsége és teherbírása. Az eszköz alkalmas az elő- és háttöltések, valamint az egyéb földműrészek (visszatöltések, padka stb.) ellenőrzésére is.



1. ábra – Útszerkezet felépítése

Megjegyzés: 1) A burkolatalap rétegei lehetnek: kötőanyag nélküli, hidraulikus kötőanyaggal stabilizált továbbá rugalmas kötőanyaggal stabilizált rétegek. (AC jelű aszfaltkeveréket burkolatalapként nem szabad építeni.); 2) A földműalap legalább egy rétegből áll;

3) Amennyiben egyfajta rétegből (pl.: aszfalt kötőréteg, burkolatalap-réteg) több épül, úgy a második rétegtől meg kell jeleníteni a sorszámnevet (pl.: második aszfalt kötőréteg).

2. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK

2.1. Állapotjellemző faktor

Az ÁJF az SP-LFWD műszerrel mért teherbírást és a tömörséget egyetlen számmal jelöli, mely alkalmas annak elbírálására, hogy adott szerkezetnél, szerkezeti rétegnél a mért értékek, a kockázat, a terhelés, a szerkezeti réteg helye és a szerkezeti réteg funkciója alapján a talajállapot milyen, alkalmas-e, vagy sem a továbbépítésre. Alkalmazása lehetővé teszi a pontos besorolást, a megfelelőség igazolását eltakarás előtt, és természetesen a minősítést is. Számítása a nedvességtartalmat is tartalmazó SP-LFWD teherbírásból (E_d) és dinamikus tömörségi fokból (T_{rd} , %) történik. Jele: ÁJF

2.2. Behajlás (süllyedési amplitúdó)

Egy adott pontban, meghatározott terhelési körülmények (terhelés, terhelési idő) között mért függőleges elmozdulás, amely a dinamikus mérés során jellemzi a vizsgált anyagréteg függőleges irányú alakváltozását.

Jele: s , mértékegysége: mm.

2.3. Dinamikus teherbírási modulus

Könnyű ejtősúlyos teherbírásmérő berendezéssel meghatározott teherbíráseérték, amelynél az ejtősúly emelése kézi erővel történik.

Jele: SP-LFWD mérésnél E_d , illetve $E_{dvég}$, BP-LFWD mérésnél E_{vd} , mértékegysége MPa, N/mm², vagy MN/m².

2.4. Dinamikus tömörségi fok

Az SP-LFWD műszerrel mért helyszíni relatív tömörség (T_{rE}) és a nedvességkorrekciós tényező (T_{rw}) szorzata, amelyben az adott nedvességtartalmú réteg relatív tömörségi fokát az optimális víztartalom mellett létrehozható legnagyobb tömörségre számított. Más, sűrűségarányok mérésén alapuló tömörségméréssel meghatározott tömörségi fokkal (T_{rp}) számszakilag egyező érték.

Jele: T_{rd} , mértékegysége: %.

2.5. Dinamikus tömörségmérés

Térfogatváltozás mérésén alapuló, SP-LFWD műszerrel végrehajtott vizsgálati módszer, melynél a módosított Proctor-tömörítési munkának megfelelő munkát 18 ütéssel sorozattal hajtják végre a helyszínen. A tömörségi fokot 0,35 MPa tárcsa alatti terhelés hatására létrejött süllyedési amplitúdók sorozatából (a tömörödési görbéből) határozza meg. A dinamikus tömörségi fok a helyszíni relatív tömörségi fok és a nedvességkorrekciós tényező szorzata.

2.6. Ejtés

A könnyű ejtősúlyos mérőberendezés ejtősúlyának szabályozott módon történő egyszeri leejtése. Az ekkor mért süllyedési amplitúdók (s_{ij}) és tárcsasebesség (v_{ij}) az i = sorozat melletti j = 1–3 indexszel kerülnek azonosításra.

Az első ejtés süllyedési amplitúdója: s_{01} , mértékegysége: mm.

2.7. Helyszíni relatív tömörségi fok

Adott mérési helyen, adott anyagon, adott víztartalom mellett, SP-LFWD műszerrel végrehajtott vizsgálati módszerrel, rögzített tömörítési munkával elérhető legnagyobb térfogati tömörség viszonya az eredeti térfogati tömörségi állapothoz képest, amelyet az ütések miatt elszenvedett tömörödési-alakváltozási görbéből határoz meg.

Jele: T_{rE} , mértékegysége: %.

2.8. Kistárcsás dinamikus teherbírásmérés (SP-LFWD)

A dinamikus teherbírási modulus és a dinamikus tömörségi fok meghatározására elméleti megfontolások alapján kialakított helyszíni vizsgálati eljárás, amely ejtősúlyos terhelési módszerrel létrehozott ütésekkel, gyors terheléssel, jelen előírás szerinti $d=163$ mm-es kistárcsás mérőberendezéssel történik. A dinamikus teherbírást 0,35 MPa tárcsa alatti terhelés hatására létrejött süllyedési amplitúdók második sorozatából, a dinamikus tömörséget a mért maradó alakváltozások ejtési számmal súlyozott átlagából határozza meg. A dinamikus tömörségi fok (T_{rd} , %) és a kistárcsás dinamikus teherbírási modulus (E_{vd} , E_d , MPa, N/mm² vagy MN/m²) meghatározására alkalmas.

2.9. Könnyű ejtősúlyos kézi mérőberendezés

A dinamikus tömörségi fok és/vagy a dinamikus teherbírási modulus (E_{vd} , E_d , MPa, N/mm² vagy MN/m²) meghatározására alkalmas kistárcsás, valamint nagytárcsás kézi berendezés, amelynél terhelést közvetítő acéltárcsára adott magasságból, adott tömegű ejtősúlyt kézzel felemelve az előírt számban leejtenek és mérik a létrejött süllyedési amplitúdókat.

2.10. Mérési adatok

A helyszíni mérés során a gyorsulás és a terhelési idő méréseiből a tárcsa közepén mért alakváltozási értékek egy mérési sorozat végrehajtása során.

2.11. Mérési eredmény

Azonosított feltételek mellett a mérési adatokból képzett eredmény, mely megbízhatósági tartománnyal vagy a mérési hibával megadott tűrésű értékkel és mértékegységgel van megadva.

2.12. Mérőeszköz alkalmassági vizsgálat (saját ellenőrzés)

Eljárás annak megállapítására, hogy a mérőeszköz alkalmas-e a vizsgálati előírás szerinti, megadott hibahatáron belüli mérésre.

2.13. Mérőhely

A jelen előírás szerint előkészített, mérésre kijelölt hely, ahol a mérés elvégzésre kerül.

2.14. Nagytárcsás dinamikus teherbírásmérés (BP-LFWD)

A nagytárcsás dinamikus teherbírási modulus meghatározására szolgáló vizsgálati eljárás. A mérés elve, hogy a $d=300$ mm-es átmérőjű tárcsára ismert nagyságú tömeget ejtenek rugók közvetítésével, adott magasságból. Mérik a tárcsa középpontjának függőleges elmozdulását, ami a felület deformációját jellemzi. A teherbírást 0,10 MPa tárcsa alatti terhelés hatására létrejött süllyedési amplitúdók második sorozatából számított átlagos amplitúdóértékből határozható meg.

A nagytárcsás dinamikus teherbírási modulus Jele: E_{vd} , mértékegysége: MPa, N/mm² vagy MN/m².

2.15. Nedvességkorrekciós tényező

Dinamikus tömörségméréshez szükséges 1,00-nél kisebb vagy egyenlő dimenzió nélküli szám, a módosított Proctor-vizsgálattal meghatározott sűrűséggörbén a mérés helyén mért természetes terapi víztartalomra (w_t) jellemző testsűrűség (ρ_{di}) és a Proctor-vizsgálat során meghatározott legnagyobb száraz testsűrűség (ρ_{dmax}) hányadosa. Anyagtípusra, a nedvességre való érzékenység jellemzésére számított érték, amely a víztartalom változása függvényében, a laboratóriumban elvégzett alkalmassági vizsgálatból előre meghatározható és táblázatosan, vagy grafikusan megadható. Jele: T_{rw} .

2.16. Sorozat

A BP-LFWD esetén a könnyű ejtősúlyos mérőberendezés ejtősúlyának három egymást követő ejtése, melyet a mérőműszer egyenként és a második sorozatnál átlagolva is kijelez.

Az SP-LFWD esetén a mért süllyedési amplitúdók (s_{ij}) és a tárcsasebesség (v_{ij}) $i = 0-5$ sorozatindexszel és $j = 1-3$ ejtésszámmal kerülnek azonosításra. Az eredmények számítása során a mérési sorozatot átlagolják, melyet a sorozat alsó indexe melletti i indexbetűvel jelölnek. Az előterhelés sorozata az $i = 0$ indexű, míg a második sorozat süllyedési amplitúdóinak átlaga: $s_{1á}$, mm. A hatodik sorozat amplitúdóinak átlaga pedig: $s_{5á}$, mm.

2.17. Statikus teherbírási modulus

Statikus teherbírási vizsgálattal meghatározott második terhelésből adódó teherbíráserérték.

Jele: E_2 , mértékegysége: MPa, N/mm², vagy MN/mm².

2.18. Statikus teherbírásmérés

A földmű, altalaj, vagy pályaszerkezeti rétegek MSZ 2509-3 (CEN ISO/TS 22 476-13) szerinti statikus teherbírási modulus meghatározására szolgáló helyszíni vizsgálati eljárás fokozatos és lassú terheléssel és legalább 0,3 MPa végterheléssel, mely alatt a konszolidáció jelentős része lezajlik.

2.19. Teherbírásmérés

A teherbíró képesség mérésének elméleti megfontolások alapján kialakított eljárási módszere, amely a réteg felszínén alkalmazott terhelés hatására bekövetkező behajlás (alakváltozás) mérésével történik. Lehet statikus vagy dinamikus.

2.20. Visszaalakulási (helyszíni reziliens) modulus

Az alternatív pályaszerkezet-méretezés input paramétere. A reziliens modulus általános definíciója alapján a deviátor feszültség és a rugalmas alakváltozás aránya – visszaalakuláskor, a felterhelés utáni tehermentesülés mellett.

Megjegyzés: A helyszíni reziliens modulus számítása a dinamikus tömörségmérés teljes sorozatából lehetséges, a 18 ejtés utolsó ötös és utolsó harmas mozgóátlagából képzett, $n = 24$ ejtéshez tartozó virtuális behajlás, a számított alakváltozásból. A helyszíni reziliens modulus számításakor a módszer azt feltételezi, hogy maradék alakváltozás már nincs, csak rugalmas alakváltozás jön létre a teljes tömörödés végén. Csak a 18 ejtéses, azaz az SP-LFWD műszerrel mért „FULL” (teljes) sorozatból számítható. Az itt megadott módszer elméleti úton került meghatározásra, amelynek ellenőrzése céljából a helyszíni reziliens modulus mérése jelenleg még adatgyűjtés jellegű lehet. Jele: M_r , MPa.

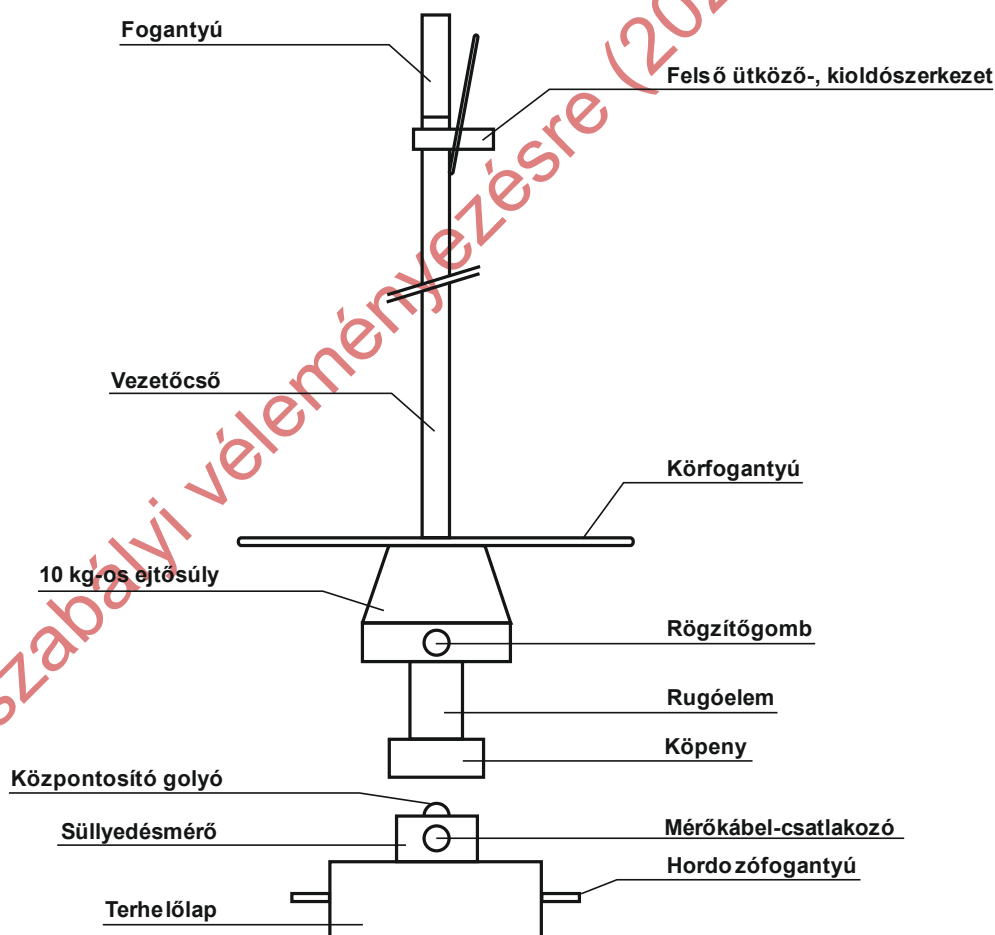
3. VIZSGÁLATI MÓDSZER

A vizsgálat során adott magasságból, ismert tömegű testet csillapító rugó közvetítésével egy adott átmérőjű tárcsára ejtenek. A terhelőtárcsa középpontja alatt mérik a dinamikus terhelés hatására keletkező függőleges irányú elmozdulást, a süllyedési amplitúdót. Az ejtési tömeget és magasságot berendezésenként, az adott rugóállandó és ejtősúly tömegének tűréshatárok közötti megválasztásával, a dinamikus terhelési nyomás előírt értékéhez a gyártónak kell megválasztania.

4. A VIZSGÁLAT ESZKÖZEI

4.1. Mérőkészülék

Mechanikus kézi terhelőberendezésből, terhelőtárcsából, annak középpontjában elhelyezett mérőegységből és a mérést vezérlő-adattároló egységből áll. (2. ábra)



2. ábra – Könnyű ejtősúlyos mérőberendezés elvi rajza

4.1.1. Mechanikus terhelőberendezés

A mechanikus terhelőberendezés ejtő súlyból és vezető rúdból áll. A berendezés a tárcsamérettől függő, előírt nagyságú dinamikus terhelés (p_{din}) előállítására szolgál, ezért úgy kell kialakítani, hogy mérés során az ejtő súly a kalibrálás során meghatározott magasságból leejtve szabadon essen, és a csillapító rugón keresztül adott terhelési időtartam alatt, a megfelelő dinamikus terheléshez szükséges terhelőerőt biztosítson. Az ejtő súly esésének központosságát a vezető rúd biztosítja. A kalibrált ejtési magasságot az ejtő súly felett kialakított felső ütközőn elhelyezett rögzítő/kioldó szerkezetet a rögzítő bilincs helyzetével kell biztosítani. Az ejtő súly kézi emeléséhez annak átmérőjét meghaladó körfogantyúval, a szállítás során történő rögzítéséhez pedig szállításvédelemmel kell ellátni.

A terhelőberendezés műszaki kialakításának (ejtő súly tömege, ejtési magasság, terhelési időtartam) követelményeit az F2. függelék tartalmazza.

4.1.2. Terhelőtárcsa

A terhelőtárcsa középtengelyében kell elhelyezni a gyorsulásmérőt és a központosító egységet. A dinamikus terhelés átadása beépített központosító golyón keresztül történjen. A terhelőtárcsán a kézi szállításra alkalmas fogantyú, a központosító tömbben a jeladó részére mérőüreg legyen kialakítva.

A tárcsa süllyedési amplitúdóját arra alkalmas módszerrel, legalább 0,01 mm pontossággal kell meghatározni a terhelési időtartam alatt. Meghatározására alkalmas módszer a terhelőtárcsa mérőüregébe telepített gyorsulásérzékelő. A függőleges irányú alakváltozást ez esetben az idő és a gyorsulás mérésével kell meghatározni. Az elmozdulás mért adatait a vezérlő-adattároló egységhez (vagy PC) kell továbbítani.

4.1.3. Vezérlő-adattároló egység

A vezérlő-adattároló egységet úgy kell kialakítani, hogy a mérési adatokat folyamatosan, automatikusan regisztrálja, rendelkezzen a méréshez szükséges kezelőgombokkal, üzemmódkapcsolókkal, kijelzővel és adattárolóval, nyomtató- és a kiolvasáshoz szükséges számítógépes csatlakozással. A műszer kijelzőjén mérés során jelenjenek meg a mérési utasítások, a mért adatok, a hibajelek, a tápfeszültség töltési szintje és egyéb, az üzemeltetésre szolgáló tájékoztató adatok. A berendezés rendelkezzen belső órával és a működéshez szükséges saját tápfeszültséggel, akkumulátorral. Ilyen célra PC (notebook, tablet, smartphone) is alkalmazható, megfelelő szoftverrel.

A mechanikus kézi terhelő berendezés, terhelőtárcsa, mérés ajánlott kiegészítő tartozékait az F3. függelék tartalmazza

4.2. Mintavételi eszközök

A mérési hely előkészítéséhez, kialakításához, és a vizsgált réteg anyagtípusának, vastagságának meghatározásához szükséges helyszíni mintavétel eszközei:

- ásó,
- műanyag zsák (talajminta vételéhez),
- légmentesen zárható edény (víztartalom meghatározásához),
- lehúzó lécs (az egyenletes felület biztosításához),
- mérőszalag.

4.3. Anyagok

A vizsgálathoz szükséges egyéb anyagok:

- kiegyenlítő homok durva szemcsés felületnél, kb. 5 kg.

4.4. A mérőkészülék üzemmódjai

A mérőkészülék üzemmódjait és leírását a gyártó (forgalmazó) által készített üzemeltetési útmutatónak kell tartalmaznia. Legalább az alábbi üzemmódok üzemelésének biztosítása szükséges, mind a mérésvezérlős, mind a PC-szoftver esetén.

4.4.1. Mérő üzemmód

4.4.1.1. Teherbírásmérési üzemmód (SP-LFWD és BP-LFWD)

A teherbírásmérések rutinszerű végrehajtására szolgál a mérési helyen. A mérés során háromejtéses előterhelés után, háromejtéses dinamikus terhelésből, átlagképzéssel kerüljön meghatározásra a dinamikus modulus értéke, legalább az alábbi mért értékek kijelzésével a vezérlő-adattároló egységen:

- egyedi értékek: s_{ij} alakváltozások 0,01 mm pontossággal,
- süllyedési amplitúdók átlagértéke: $s_{i\bar{a}}$, sorozatok átlagai mm, 0,01 mm pontossággal,
- E_d dinamikus modulus (SP-LFWD): E_d , MPa, N/mm² vagy MN/m², 0,1 N/mm² pontossággal,
- E_{vd} dinamikus modulus (BP-LFWD): E_{vd} , MPa, N/mm² vagy MN/m², 0,1 N/mm² pontossággal.

A mérésnél lehetővé kell tenni a terhelési görbék egyezőségének ellenőrizhetőségét a mérés végrehajtásakor.

4.4.1.2. Tömörség- és teherbírásmérési üzemmód (SP-LFWD esetén)

A kistárcsás mérés során minden ejtésnél meg kell határozni a süllyedési amplitúdókat. A 4.4.1.1. méréssel egyezően az első hat ejtésből (két sorozat) az első három ejtés előterhelésnek, a következő három ejtés pedig már dinamikus terhelésnek minősül, majd ezt követően további 12 ejtés (négy sorozat) szükséges a dinamikus tömörégi fok meghatározásához. Tömörégi fok csak kistárcsás mérőeszközzel határozható meg a szükséges tömörítő munka miatt.

A mért értékekből matematikai átlagképzéssel kerüljön meghatározásra sorozatonként az átlagos süllyedési amplitúdó, a második és a hatodik sorozatból a dinamikus modulus értéke, hat sorozatból együttesen a helyszíni relatív tömörégi fok és a dinamikus tömörégi fok, legalább az alábbi mért értékek kijelzésével. Egyszerűsített tömörégmérésnél a 9. ejtés után a meredekséget meg kell vizsgálni, ha az $<0,05$, akkor a további pontokat (a biztonság javára elhanyagolva) egyenesből kell felvenni.

A 4.4.1.1. ponttal egyezően, továbbá meg kell határozni az alábbiakat:

- egyedi értékek: s_{01} , alakváltozás 0,01 mm pontossággal,
- süllyedési amplitúdók átlagértékei: $s_{0\bar{a}}$, $s_{1\bar{a}}$, $s_{2\bar{a}}$, $s_{3\bar{a}}$, $s_{4\bar{a}}$, $s_{5\bar{a}}$ mm, 0,01 mm pontossággal,
- helyszíni relatív tömörégi fok: T_{rE} , %, 0,1 pontossággal,
- nedvességkorrekciós tényező: T_{rwi} , 0,01 pontossággal (választott érték),
- dinamikus tömörégi fok: T_{rd} , %, 0,1 pontossággal.

A vizsgálat alatt az s_{11} , s_{12} , s_{13} három dinamikus terhelésénél a terhelőtárcsa út-idő süllyedési görbét (grafikonját) a vezérlő-tároló (PC) egység adja meg.

4.4.2. Teszt és kalibrációs üzemmód (SP-LFWD és BP-LFWD)

Saját ellenőrzésre és a kalibrálásra alkalmazott üzemmód. Ebben az üzemmódban csak egy ejtés süllyedési amplitúdó-mérése történik (nem szükséges az átlagérték). A kalibrációs üzemmódban a kijelzőn kiegészítésként jelenjen meg a terhelőtárcsa maximális süllyedési sebessége (v , mm/s), valamint a gyártó által előírt ellenőrizendő adatok, mint például a kalibrációs faktor vagy a gravitációtól közvetlenül függő mérési érték.

5. VIZSGÁLATOK

Törekedni kell a vizsgálati hely anyagának előzetes vizsgálatára, megismerésére (Proctor, szem-megoszlás, víztartalom). Előzetes értéként a gyártói terméktanúsítvány (Proctor és szemmegoszlás) is felhasználható.

A mérés kézi technikáját a mérőszemélyzetnek el kell sajátítania, különös tekintettel a visszapattanó ejtő súly körfogantyújának balesetmentes és biztonságos megfogására és a súly rögzítésére. Alacsony dinamikus modulusoknál számítani kell arra, hogy az ejtő súly alig pattan vissza.

A vizsgálat jellege lehet feltáró, tájékoztató (QA), vagy minősítő mérés (QC).

5.1. A mérés helyének előkészítése

A méréshez a vizsgálat helyét gondosan elő kell készíteni. Az előkészített felületnek síknak, és az anyagrétegre jellemzőnek és egyenletes textúrájúnak kell lennie. A felületre a terhelőtárcsának teljes felületen billenésmentesen kell felfeküdnie. Az előkészített felület átmérője a terhelőtárcsa átmérőjénél legalább 50 centiméterrel nagyobb és közel vízszintes legyen. Egyenetlen felületet lehúzóléccel, lemetsszel kell síkra alakítani.

Ha a földmű, illetve a vizsgálandó anyagréteg felülete laza, kiszáradt, repedezett vagy egyenetlen, akkor szükséges mértékig ezt az anyagot el kell távolítani és a mérés helyét az előírt nagyságú területen így kell kialakítani. Fagyott, vagy inhomogén rétegen a mérés végrehajtása tilos.

Amennyiben a jó felfekvés más módon nem biztosítható, a felületen lévő egyenetlenségeket légszűrő homokkal kell kitölteni. Az előkészítés során törekedni kell arra, hogy a kiegyenlítő homok vastagsága ne haladja meg a hézagok kitöltéséhez feltétlenül szükséges mértéket: csak a felület hézagait, egyenetlenségét töltsse ki és biztosítsa a teljes felületű felfekvést. A felület előkészítésének módját – amennyiben annak anyaga jelentősen eltér a vizsgált szerkezet anyagától – a mérési jegyzőkönyvben fel kell tüntetni.

5.2. A mérőeszköz előkészítése méréshez

5.2.1. A műszer felkészítése

A mérőberendezés alkalmasságának ellenőrzését, és a mérésre való felkészítést a napi mérési feladatok előtt az alábbi szempontok betartásával kell elvégezni:

- a mechanikus terhelőberendezés működésének ellenőrzése (kioldószerkezet, vezetőső, szállításvédelem, tisztítás és szilikonos kenés),
- az ejtő súly szabad esésének ellenőrzése,
- az elektronikus adatátviteli eszköz/vagy csatlakozók sértetlensége,
- a csatlakozó kábelek épségének ellenőrzése (ha van),
- a mérő-vezérlő (PC) egység akkumulátorának töltöttségi szintje.

A mérőkészüléken ekkor kell elvégezni az ellenőrző mérést az 5.2.2. pont szerint. Abban az esetben, ha az ellenőrzés során mechanikai sérülés, szorulás, adatátviteli problémák, szennyezettség, korrózió jelei tapasztalhatók a hibát el kell hárítani.

5.2.2. A mérőeszköz ellenőrzése

A vizsgálandó területre való elindulás előtt a mérőeszköz működését ellenőrizni szükséges.

5.2.3. Dátumbeállítás

A mérés előtt meg kell győződni a dátum helyességéről. Erről az 5.2.2. pont szerinti ellenőrző mérés során célszerű megbizonyosodni. Amennyiben a dátum- és időadatok nem pontosak, azok beállítását is el kell végezni a berendezés kezelési vagy üzemeltetési útmutatója szerint.

5.3. A dinamikus teherbírásmérés végrehajtása

5.3.1. Mérés végzése általános esetben (SP-LFWD és BP-LFWD)

A mérőhely előkészítése után a mérőberendezést az alábbiak szerint kell elhelyezni:

- a terhelőtárcsa elhelyezése az előkészített felületre, határozott mozdulattal, nem leejtve, jobbra-balra 45–45°-os elforgatással, billenésmentes felfekvést biztosítva,
- a terhelőtárcsa jeladójának összekapcsolása a vezérlővel (PC) a mérőkábelén (vagy az adatátviteli eszközön) keresztül,
- a még rögzített ejtősúlyt állítása a terhelőtárcsa-központosító golyóra,
- az ejtősúly szállításvédelmet biztosító csapjának kioldása,
- a terhelősúly felhúzása és rögzítése,
- a mérő-vezérlő egység (PC) mérőállásba kapcsolása.

5.3.2. Ejtési művelet (SP-LFWD és BP-LFWD)

5.3.2.1. A mérési ponton három ejtéssel előterhelést kell végezni (5.3.2.2–5.3.2.4.).

5.3.2.2. Az ejtősúlyt (ha nincs felemelve) ütközésig fel kell emelni és a rögzítőkarral rögzíteni. Ügyelni kell arra, hogy emelés közben a tárcsáról a központosító golyó fészket ne emeljük fel és a tárcsát se mozdítsuk el. Az ejtősúly kioldószerkezetéhez való hozzákapcsoláskor mindkét kezünket egyszerre használjuk úgy, hogy a rögzítőelem bilincsére felülről feltámasztjuk két hüvelykujjunkat. Az ejtősúlyt közvetlenül az ütközőig kell felemelni addig, hogy az a rögzítőt érintse. Az ejtősúlyt lassan feljebb húzva, a rögzítő/kioldószerkezet a súlyt megfogja. A túl gyors, hirtelen megemelés hibás méréshez vezethet.

5.3.2.3. A vezetőrúd tárcsára közel merőleges beállítása mellett az ejtősúlyt ki kell oldani, visszapatnása után a körfogantyút elkapva és megemelve ismételtén a rögzítőberendezésbe fogni.

5.3.2.4. A harmadik ejtés-előterhelés után második sorozatként három mérőejtés következik (5.3.2.6–5.3.2.10.).

5.3.2.5. Az előterhelések adatait nem szükséges a BP-LFWD esetében tárolni, de a SP-LFWD esetén igen.

5.3.2.6. A vezetőrúd közel függőleges helyzetben a terhelőtárcsára merőlegesen, finoman rá kell nyomni és az ejtősúlyt ki kell oldani, visszapatnása után a súlyt felemelve ismét befogni. Előnyös, ha a vezérlőkészülék hangjelzéssel is jelzi, ha felkészült a következő ejtésre. Ejtés után meg kell győződni arról, hogy a vezérlőegység a mérést elfogadta-e. Ha nem, akkor a mérést a tárcsa áthelyezésével egy új helyen meg kell ismételni.

A kijelzőn a mért süllyedési amplitúdó legyen jól leolvasható: s_{11} .

5.3.2.7. Újabb ejtés után az ejtősúlyt elkapva és felemelve rögzítjük. A kijelzőn jelenjen meg a mért újabb süllyedési amplitúdó: s_{12} .

5.3.2.8. Utolsó ejtés után az ejtősúlyt elkapva, finoman helyezzük alsó állásba. A kijelzőn mindhárom süllyedési amplitúdó és ezek átlaga is leolvasható kell legyen: s_{11} , s_{12} , s_{13} és s_{14} .

Amennyiben az egyes süllyedési amplitúdó-értékek jelentősen eltérnek az átlagtól, a mérést meg kell ismételni. Ha elfogadjuk, akkor a dinamikus teherbírásmérés befejeződött.

5.3.2.9. A kijelzőn a süllyedési amplitúdók átlagértéke mellett ekkor a dinamikus modulus értéke is kerüljön kijelzésre, a mérés számával. A mérés sorszáma a mérés jelölésére szolgál, mérésenként automatikusan eggyel növekedjen. A mérési helyszín pontos azonosítását és a körülményeket (réteg, anyagtípus) mérési naplóban kell vezetni.

5.3.2.10. A mérési adatok szükség esetén legyenek kinyomtathatók, vagy újra megtekinthetők. A mérés befejezése után a mérő-vezérlő egységet ki kell kapcsolni, az ejtő súlyt a szállításhoz biztosítani kell. Ilyenkor kell a kiegészítő és azonosító adatokat is feljegyezni

5.3.2.11. A mérőberendezést a következő mérőhelyre kell áthelyezni, a súlypontban elhelyezett fogantyúkkal, két kézben szállítva. Ügyeljünk arra, hogy a központosító rúd szára ne ütdjön semmihez, ne sérüljön a szállításkor.

5.3.2.12. Amennyiben egy ejtés végrehajtása után a kijelzőn hibaüzenet jelenik meg, a mérést újra el kell végezni. A behajlási amplitúdó jelentős eltérése esetén a mérést nem lehet folytatni. A hibát okozhatja a terhelőtárcsa, vagy az ejtő súly központosításának bemozdulása is. Amennyiben az ejtések ismétlése után a hibajelzés folyamatosan jelentkezik, akkor a mért anyag, vagy a jeladó, a csatlakozó, esetleg a kábel (vagy adatátvitel) hibája állhat fenn. A készülékhiba okának felderítéséhez célszerű az alkalmassági vizsgálatot (M1.2. melléklet) elvégezni.

1. táblázat – Az egyes mérések során alkalmazott ejtések száma

BP-LFWD nagytárcsás	SP-LFWD kistárcsás
teherbírásmérés	tömörségmérés
Három ejtés előterhelés	Legalább kilenc ejtés egyszerűsített mérés*
Három ejtés mérés	18 ejtés teljes sorozat

* Megjegyzés: A tömörödési görbe meredeksége függvényében akár 18 is lehet, amelyet a mérőszoftver dönt el.

5.3.3. Helyszíni mérés különleges körülmények között (SP-LFWD és BP-LFWD)

Különleges körülményt jelent a munkahelyeken, részleges visszatöltések felületén, lejtős felületen végzett mérés. Ezekben az esetekben a mérés során kiemelt figyelmet kell fordítani a balesetvédelmi óvó rendszabályokra (omlásveszély, közlekedés). Mért csak ott lehet, ahol a biztonságos mérési feltételek biztosítottak. Lejtős területen a vizsgálat végzésénél gondolni kell a terhelőtárcsa elcsúszására, elmozdulására, mérni csak a mérőhely közel vízszintes kialakításával lehet.

5.4. SP-LFWD dinamikus tömörség- és teherbírásmérés végrehajtása

5.4.1. Általános eset

A kistárcsás mérőberendezés előkészítése szintén az 5.3.1. pont szerinti. A dinamikus tömörségmérés a teherbírásméréssel egy időben történik, ezért az előterhelésként leadott ejtések süllyedési amplitúdóját is mérni kell. A dinamikus teherbírásméréséhez szükséges második sorozat után további négy sorozat szükséges három-három ejtéssel. Ily módon összesen 18 ejtést kell végezni, valamennyinél meghatározva a süllyedési amplitúdót.

5.4.2. A mérés műveletei

Teljes mérés hat sorozat (18 ejtés) mindegyikénél meg kell határozni a süllyedési amplitúdót. Ebből az első hat mérési adat dinamikus teherbírásméréshez is és a dinamikus tömörségvizsgálathoz is szükséges. A mérés végrehajtása az 5.3.2. pontban leírtakkal megegyező. A második sorozat után azonban további négy sorozatban három-három ejtést kell végezni a terhelőtárcsa elmozdítása nélkül. Az így módon összesen 18 ejtéssel tömörített rétegre jutó munkavégzés ekkor a Proctor-

vizsgálatnál alkalmazott tömörítőmunka mennyiségével közel egyező. Közelítő tömörségmérés leg-
alább 10, legfeljebb 18 ejtés, melyet a mérőeszköz ad meg, a tömörödési görbe végmeredeksége-
nek függvényében.

A mérések közötti kijelzés és hibajelzés az 5.3.2. ponttal egyező azzal a különbséggel, hogy ejtési
hiba esetén sohasem ismételhető az ejtés, új mérőhelyen új felállás szükséges.

Az ejtéseket folytatva, a vezérlő-mérő egység ugyanúgy sorozatonként jelezze ki a süllyedési amp-
litúdókat. Végül az összesen rendelkezésre álló mérések sorozata: s_{ij} , ahol $i = 0-5$ a mérési sorozat-
ot, $j = 1-3$ az ejtések számát jelöli. Ezzel a 18 ütés során egyenként bekövetkezett süllyedési amp-
litúdók ismertté válnak.

5.4.3. A mérés tömörítési munkájának ellenőrzése

A mérés pontosságának érdekében a 28 cm-nél vastagabb vagy laza anyagréteg, vagy nem réteges
terítés esetén, természetes településű anyagok vizsgálatakor, illetve alacsony tömörségi fok tarto-
mányban ($D_m \geq 3$ deformációs mutató esetén) szükséges annak ellenőrzése, hogy a tömörítési
munka elegendő volt-e. Ezt a következő módon kell ellenőrizni:

- az első tömörségmérés (18 ejtés) után a tárcsa elmozdítása nélkül újabb mérést végzünk.
Ha ez a második mérés $T_{rE} < 98\%$, akkor a korábbi mérési eredményt korrigálni kell; ha
nagyobb vagy egyenlő, akkor a további mérések korrekció alkalmazása nélkül elfogadhatók,
- a tömörítési munka miatti korrekció:

$$CWC = \frac{T_{rE2, \%}}{100}; \quad \text{pl. } CWC = \frac{97}{100} = 0,97$$

A továbbiakban mindaddig ezt a korrekciót kell alkalmazni, amíg a mérési sorozat tart, azonos hely-
színen, azonos rétegvastagságnál, azonos anyagnál.

A korrekciót a T_{rwk} korrigált nedvességkorrekciós együttható számításánál vesszük figyelembe a
6.3. pontban leírtak szerint.

*Megjegyzés: Minősítő méréseknél, vagy próbabeépítésnél a mérés alatt adott rétegen, anyagon a
tömörítési munkát az – első mérés után a tárcsa elmozdítása nélkül – mindig ellenőrizni kell! A tö-
mörítési munka miatti korrekciót mindaddig figyelembe kell venni, amíg a körülmények hasonlóak
(helyszín, anyag, rétegvastagság).*

6. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

6.1. Behajlás, süllyedési amplitúdó

A süllyedési amplitúdó a tárcsa mért süllyedése, jele: s_{ij} , mértékegysége: mm, ahol $i = 0-5$, azaz hat
sorozatot, és sorozatonként $j = 1-3$ ejtést jelöl. Ejtésenként az egyedi értékeket is rögzíteni kell, vagy
a vezérlőegységben tárolni kell. Az egyedi értékekből sorozatonként matematikai átlagot kell ké-
pezni. Az átlagok jele: $s_{i\bar{a}}$, valamennyi három-három ejtés átlaga. A süllyedési amplitúdók és azok
átlagos értékeit legalább 0,01 mm pontosan kell megadni.

6.2. Dinamikus teherbírási modulus

A dinamikus modulus (E_d , vagy E_{vd} , MPa, N/mm² vagy MN/m²) értékét az alábbi képlettel kell szá-
mítani, az s_{11} , s_{12} és s_{13} süllyedési amplitúdók számított $s_{1\bar{a}}$ átlagértékéből:

- SP-LFWD mérésnél:
$$E_d = \frac{c(1-\mu^2) \cdot p_{din} \cdot r}{s_{1\bar{a}}} = \frac{c \mu}{s_{1\bar{a}}}$$

- BP-LFWD mérésnél: $E_{vd} = \frac{22,5}{d}$

ahol:

- c – Boussinesq-féle tárcsaszorító ($c = \frac{\pi}{2}$ merev, $c = 2$ hajlékony, vagy más választott érték),
- $s_{1á}$ (E_{vd} esetén d) – a tárcsa közepének átlagos függőleges elmozdulása 4–5–6 ejtésnél, 0,01 mm pontossággal,
- μ – Poisson-tényező (MSZ 2509-3 vagy CEN ISO/TS 22 476-13 szerinti értelmezésben):
 $\mu = 0,3$ szemcsés, 0,4 átmeneti, vagy 0,5 kötött talaj/anyag,
- r – a terhelőtárcsa sugara, mm.
- $p_{din} = \frac{F_{din}}{A}$ – a tárcsa alatti dinamikus terhelés nagysága, MPa, N/mm² vagy MN/m²,

ahol:

A – terhelőtárcsa felülete, mm²,

$$F_{din} = \sqrt{2}m \cdot g \cdot h \cdot K$$

ahol:

m – az ejtő súly tömege, kg,

g – nehézségi gyorsulás az adott földrajzi szélességi fokon, m/s²,

h – ejtési magasság, m,

K – rugóállandó, N/m.

Különleges dinamikus teherbírási modulus a $E_{dvég}$ végmodulus, mely a dinamikus tömörségvizsgálat végzése során teljesen betömörített réteg elérhető legnagyobb teherbírását jellemzi és értéke az E_d számítási képlettel, az s_{51} , s_{52} , s_{53} süllyedési amplitúdókból képzett $s_{5á}$ átlagértékéből számítható.

A mért dinamikus teherbírási modulusok értékét egy tizedesre kerekítve kell megadni.

Az SP-LFWD esetén a dinamikus modulus teljes értelmezhetősége érdekében az eredmény mellett meg kell adni, vagy fel kell tüntetni a képletben alkalmazott, választott c szorzót, illetve fel kell tüntetni az alkalmazott Poisson-tényezőt is.

6.2.1. Mértékadó dinamikus modulus

Egy méteren belül mért, legalább két dinamikus modulusból matematikai átlagot kell képezni, és a mértékadó dinamikus modulus értékét egész számra kerekítve kell megadni. Ha ezek egyedi eltérése az átlagtól nagyobb, mint az átlagérték 20 százaléka, akkor harmadik mérés elvégzése is szükséges, a mérés eredménye ekkor a három mérés átlaga. A teljes értelmezhetőség érdekében az eredmény mellett meg kell adni, vagy fel kell tüntetni a tárcsaátmérőt és az alkalmazott p_{din} dinamikus terhelést is.

Jele:

- SP-LFWD mérésnél: $E_{dM,D,p}$ illetve,
- BP-LFWD mérésnél: $E_{vdM,D,p}$.

6.2.2. Egyenértékű dinamikus modulus

A mért eredményekből kutatásokhoz, összefüggésekhez, összehasonlításra egy választott c és egy választott tényezőkkel számított egyenértékű dinamikus modulus lehet képezni különböző adathalmazok egységesítésére. Egyenértékű dinamikus modulus csak egyforma tárcsaméretű és dinamikus terhelésű mérési eredményekből képezhető:

- SP-LFWD esetén: $E_{dE,D,p} = E_d \cdot k_\mu \cdot k_c$
- illetve BP-LFWD esetén: $E_{vdE,D,p} = E_{vd} \cdot k_\mu \cdot k_c$

ahol:

k_μ – Poisson-tényező miatti átszámítási szorzó, ha az a mérésakor nem állítható be,

k_c – tárcsamodell szorzó átszámítási szorzója, ha az a mérésakor nem állítható be.

Megjegyzés: Ha $c = 2$ és $\mu = 0,5$ tényező az összehasonlításra választott, akkor: $k_\mu = 0,923$, $\mu = 0,3$ szemcsés anyag esetén és $k_\mu = 1,120$, $\mu = 0,5$ kötött anyag esetén, $k_\mu = 0,785$.

Az egyenértékű dinamikus modulus értékét egy tizedesre kerekítve kell megadni. Teljes értelmezhetőség érdekében az eredmény mellett meg kell adni, vagy fel kell tüntetni a tárcsaátmérőt (pl. 163 mm) és az alkalmazott dinamikus terhelést: pl. $p_{din} = 0,35$ MPa.

6.3. A dinamikus tömörségi fok (SP-LFWD)

A dinamikus tömörségi fok (T_{rd} , %) a helyszíni relatív tömörség és a nedvességkorrekciós tényező szorzata:

$$T_{rd} = T_{rE} \cdot T_{rw} \equiv T_{rp}$$

A mérőeszköz tömörítési munkájának (CWC) ellenőrzése esetén:

$$T_{rd} = T_{rE} \cdot T_{rwk},$$

ahol:

$$T_{rwk} = \left(\frac{T_{rE2, \%}}{100} \cdot T_{rw} \right) = CWC \cdot T_{rw}$$

Az így kapott tömörségi fok (T_{rd}) elméleti levezetéssel igazoltan a sűrűségarányos méréssel meghatározott tömörségi fokkal (T_{rp} , %) egyező.

Megjegyzés: Nem réteges tömörítés, vagy nagy vastagságú visszatöltés esetén az első mérésakor mindig ellenőrizni kell, hogy a $CWC \geq 0,97$, ha nem, akkor a korrekciót az ezt követő mérésekre is alkalmazni kell.

A dinamikus tömörségi fokot a helyszíni relatív tömörségből (T_{rE} , %) és a nedvességkorrekciós tényezőből (T_{rw}) számítjuk. A helyszíni relatív tömörséget a 18 (vagy 10–18) ütés során mért és a 6.1. pontban definiált süllyedési amplitúdók $s_{ij} \geq s_{i,j+1}$ feltétel szerint korigált (hullámzó alakváltozási sort korigáló) görbéjéből kell meghatározni úgy, hogy a $\sum s_{ij}$ az alakváltozás és az első süllyedési amplitúdó (s_{01}). Az összes alakváltozás ($\sum s_{ij}$), ahol $i = 0 - 5$ és $j = 1 - 3$, egyedi süllyedési amplitúdók összege. A süllyedési amplitúdók különbségéből (az ejtés számával súlyozott maradé alakváltozásból) számított helyszíni relatív tömörség:

$$T_{rE, \%} = 100 - 1,25\phi \cdot D_m$$

ahol:

ϕ – a Proctor-vizsgálat $G_d = \text{constans}$ modellből számított $\Delta V_{mm} - T_{rd}$, % összefüggés lineáris együtthatója, mely általánosságban és jellemzően $0,380 \pm 0,020$ -nek vehető,

D_m – deformációs mutató, a maradó alakváltozás ejtési számmal súlyozott átlaga, mm:

$$D_m = \frac{\left| \sum_{i=1}^{i=17} d_i \cdot \sum_l^i \Delta s_l \right|}{17},$$

ahol:

$\text{SUM} \Delta s_i = \Delta s_1 + \Delta s_2 + \dots + \Delta s_i$ – az egymást követő korrigált süllyedési amplitúdók summa különbségeinek adott ejtési számig számított összege (az $(i = 1 - 18)$ ejtési számhoz tartozó alakváltozás-különbségek összege),

ahol:

$\sum \Delta s_1 = \sum (s_{i+1} - s_i)$ – a maradó alakváltozás,

d_i – az ejtés száma.

Megjegyzés: $G_d = \text{constans}$ modell alatt az azonos száraz tömegű mintákból különböző víztartalmakkal készült, Proctor-próbatestek $V_n = \text{const} = 2065,5 \text{ cm}^3$ választott modellről $G_d = \text{constans}$ modellre átszámított adatait értjük. A w_{opt} -hoz tartozó legkisebb térfogat és a többi minta térfogata közötti különbség a ΔV , melynek alapterülettel osztott, a magasságkülönbséget jellemző értéke a ΔH_{mm} , amit az adott Proctor-tömörítési fokhoz tartozó alakváltozásként értelmezünk. Ez a dinamikus tömörítésmérés alapelve.

A nedvességkorrekciós tényező (T_{rw}) számítása:

$$T_{rw} = \frac{\rho_{di}}{\rho_{dmax}}$$

A T_{rw} nedvességkorrekciós tényező a laboratóriumi Proctor-féle alkalmassági vizsgálatból meghatározott sűrűségarány. A ρ_{dmax} értékét az anyagminta legalább négy pontos, MSZ EN 13 286-2 (vagy az MSZ 14 043-7) szerinti módosított Proctor-vizsgálatból kell meghatározni és ρ_{di} értékét a Proctor-vizsgálati görbéről kell leolvasni, a mérési hely anyagmintájának MSZE CEN ISO/TS 17 892-1 szerinti víztartalmának (w_t) ismeretében, melyet a helyszínen, vagy laboratóriumban kell meghatározni. Nagyobb munkánál, vagy nagy felületen alkalmazott anyagtípus (pl. védőréteg) esetén a T_{rw} szorzó előre, a víztartalomtól függően táblázatosan elkészíthető és a helyszínen azonnal alkalmazható (lásd F3. függelék).

6.3.1 Mértékadó tömörítési fok

Minősítő mérések esetében egy méteren belül, egy időben mért, két dinamikus tömörítési fokból matematikai átlagot kell képezni és a mértékadó dinamikus tömörítési fok értékét egész számra kerekítve kell megadni. Példa: $T_{rdM} = 95\%$

Ha a számításba bevont dinamikus tömörítési fok eltérése az átlagtól nagyobb, mint 3%, akkor az átlag számításába újabb, harmadik mérés bevonása is szükséges. Ekkor az így kapott három mérés átlaga lesz a tömörítési fok, az eltérés vizsgálata nélkül.

Ha a dinamikus tömörítés mérésekor a D_m deformációs mutató értéke >3 és ugyanakkor a mért dinamikus modulus $E_d < 10 \text{ MPa}$, akkor a mérést nem értékelhetőnek kell feltüntetni (mért érték megadása nélkül), mert a helyi tömöríthetőség feltételei korlátozottan állnak fenn. Ekkor a vizsgált

réteg tömörítőgéppel sem tömöríthető megfelelően. Anyagváltás, vagy szellőztetés, beavatkozási technológia szükséges!

6.3.2. Egyszerűsített tömörségmérés

A réteg gépi tömörítésétől függően, de jellemzően az esetek jelentős részében a 18 ejtés előtt betömörödik a mért terített réteg, azaz az ejtések száma csökkenthető. Ha a tömörödési görbe végének meredekségét a mérés alatt – szoftveresen – ellenőrizzük és az már 5 százaléknál kisebb, akkor a többi, hátralévő süllyedési amplitúdó ezzel a meredekséggel már lineárisan számítható. Ez a valóban végigmért tömörödési görbénél legfeljebb egy T_{rE} , % értékkel rosszabb helyszíni relatív tömörségi fokot ad, azaz a biztonság javára e módszer biztonsággal alkalmazható, ezért minősítő mérésnek is alkalmas.

Megjegyzés: Próbátömörítésen, összehasonlító, vagy párhuzamos méréseken mindig a teljes mérési sorozatot kell alkalmazni.

7. VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

7.1. Tartalmi követelmények

A vizsgálati jegyzőkönyvben fel kell tüntetni jelen műszaki előírás számát, a vizsgáló (vagy laboratórium) azonosító adatait, továbbá:

- a mérőberendezés típusát,
- a mérés helyét, a vizsgált földműszerkezetet és réteget,
- a kapcsolódó dokumentumok megnevezését (Proctor-sűrűségek, víztartalom),
- a mérés átlagadatait,
- a vizsgálati részeredményt
(dinamikus modulus, dinamikus végmodulus, dinamikus tömörségi fok),
- a mértékadó eredményt,
- a vizsgálatot végző személy nevét, aláírását és az aláírás dátumát,
- a vizsgálati jegyzőkönyv műszaki tartalmáért felelős személy nevét, kiadás dátumát.

Tartalmazhatja továbbá a munkamenethez szükségnek ítélt adatokat, pl.:

- a mérőberendezés gyári számát,
- az utolsó kalibrálás időpontját,
- a mérés egyéb egyedi adatait,
- a mérés sorszámát,
- az eredményt befolyásoló időjárási jellemzőket, és
- egyéb körülményeket,
- munkaszám,
- mérőszemélyek kódja,
- lapszám,
- logó,
- cím,

- elérhetőség,
- telefon,
- fax,
- email.

Jogszabályi véleményezésre (2022. november 8.)

MELLÉKLET

M1. A könnyű ejtősúlyos mérőberendezések kalibrációja

A mérőeszközök kalibrálása a gyártó saját eljárása vagy az itt leírtaknak megfelelően történjen.

M1.1. Gyári kalibrálás

A gyártó által átadott készüléket gyári kalibrációval kell ellátni. Ez legalább az ejtősúly tömege, magassága és a központosító golyóra átadott terhelés legyen. A beállított ejtési magasság az ejtősúly tömege és a rugóállandó alapján számítottal legyen egyező. A beállítási paramétereket és a mérőegységet jellemző kontroll értékeket, valamint ezek megengedett eltérését a gyártónak a használati útmutatóban meg kell adnia.

M1.2. Kalibrációs eljárás

A joghatással járó mérésekre (pl akkreditált labor) az alkalmazott mérőműszert tízezer mérés után, de legalább évenként egyszer az erre jogosult laboratóriumban kalibráltatni kell. Kalibráció előtt a mérőeszközt a gyártó által kijelölt szakműhelyben felül kell vizsgáltatni, a szükséges javításokat elvégezni, és/vagy a gyártó által kijelölt alkatrészeket ki kell cserélni (csúszócsapágy, vagy a műgumi rugóelem). Ha a rugóelem nem cserélhető, akkor azt is kalibrálni szükséges, a gyártó által megadott eljárással.

Alkalmazhatók fém tárcsarugók, vagy műgumi, vagy gumi csillapító elemek. Ha a rugóelem műanyag, vagy műgumi, akkor az a gyártó előírása szerinti gyakorisággal – célszerűen a kalibrálással egy időben, de legalább három évenként – új rugóra kell cserélni. A gyártónak a rugóelem csereidőszakát, homogenitását (0–40 °C közötti, 5% belüli, hőmérséklettől való függetlenségét, valamint a megengedhető K , N/m rugóellenállás 5%/évnél kisebb öregedését, felkeményedését) elővizsgálattal, szaklaboratóriumban mért méréssel kell meghatározni és a használati útmutatóban megadni a szükséges csereidőszakot. A hőmérséklet változása miatti – megengedett – eltérést új rugóelemeken legalább 500 mm/perc terheléssel, és legalább 10 kN-ig mérve kell igazolni 5% tűrésen belül. A rugóelemcserére előírt időintervallum végére érve a mért rugóelem legfeljebb +5%-os tűrése megengedett.

A mérőműszer időközi meghibásodása miatti javítás, vagy főalkatrészcsere esetén a kalibrált mérőberendezést újra kell kalibrálni.

Kalibrációs eljárás során a vizsgált mérőberendezéstől független mérőrendszerrel kell ellenőrizni a mérőeszköz által mért és kijelzett értékeket. A kalibrációhoz tartozó adatok legalább a beállított ejtési magasság, és az ejtősúly tömege, valamint a mért alakváltozás legyen. Az eljárást legalább a rugóelem központosító golyója alatt mért dinamikus terhelő erő, a terhelési idő, valamint a terhelési idő alatti elmozdulás mérésének, ezek szórásának meghatározásával kell lefolytatni erre jogosult, gyártó által kijelölt kalibráló laboratóriumban, mely megfelelő kalibrációs eljárás kidolgozását és alkalmazását feltételezi. A kalibrációt a gyártó által megadott adatokból kiindulón kell elvégezni és szükség esetén az ejtési magasság megváltoztatásával kell korrigálni.

A kalibráló független erőmérő egysége legyen alkalmas az erő mérésére, valamint 18 ms alatti lefutásának, illetve a maximumának mérésére. A kalibráló alakváltozás-mérő egység legyen alkalmas legalább három szegmensben (azaz 120 fokként elhelyezett) mérőponton, a 18 ms alatti terhelés alatti alakváltozás – alábbiakban részletezett, megfelelő tartományban történő – mérésére, melyhez a folyamatos érintkezést a mérőtárcsa és az alakváltozás-mérő között lehetőleg a terhelés irányával ellentétes oldalról (azaz alulról) kell biztosítani. Ellenkező esetben a felülről való mérés egyenértékűségét a kalibrálónak igazolni kell tudnia eljárási leírásában.

A kalibrációról jegyzőkönyvet és ennek alapján bizonyítványt kell készíteni. A jegyzőkönyvet legalább öt évig kell tárolni és megbízó kérésére átadni. A kalibrálási bizonyítvány a berendezés

azonosító adatai mellett térjen ki legalább a gyártói adatokra, a mérőberendezés állapotára (kopás, sérülés, ejtés szabadsága) valamint:

- a mért dinamikus terhelő erő átlagára és szórására ($A\sigma$, σF),
- a mért terhelési idő átlagára és szórására (AT , σT).
- az alakváltozás egyedi eltéréseinek átlagára és maximumára.

Az alakváltozás-mérés kalibrálása: a süllyedési amplitúdók egyezését legalább a

- 0,60–1,00 mm közötti és az
- 1,01–1,80 mm közötti tartományban

kell vizsgálni.

Az egyes tartományokat 18 méréssel kell vizsgálni, melyből a legnagyobb és legkisebb értéket el kell hagyni mind a kalibráló pad, mind a műszer méréséből. A maradék 16 mérési eredményt átlaggal és szórással kell jellemezni és meg kell határozni a független mérőegységhez képest mért eltérést. Fel kell tüntetni az eredmények mellett a mérés bizonytalanságát. A megbízhatóságot legalább $p=0,9$ valószínűség ($\alpha=0,1$ szignifikancia szint) és Student-eloszlás alkalmazásával kell meghatározni.

A terhelés kalibrálása a műszerről történt leolvasás átlagához történő hasonlításal történjen. Az egyes tartományokat legalább 18 méréssel kell vizsgálni, melyből a legnagyobb és legkisebb értéket el kell hagyni mind a kalibráló pad, mind a műszer méréséből.

A megengedett eltérés a dinamikus terhelő erő maradék 16 darabos sorozatával mért átlaghoz kell viszonyítani:

- SP-LFWD és BP-LFWD esetén a dinamikus terhelési erő átlaga $7070 \text{ N} \pm 2\%$, azaz 6928–7212 N közötti, egy tizedes pontossággal mérve,
- SP-LFWD esetén a szükséges dinamikus tömörítési munka miatt a tárcsa alatti terhelés 0,345–0,350 MPa közötti kell legyen. Ehhez szükséges terhelési erő az előző feltételbe is kell illeszkedjen. A dinamikus terhelési erő átlaga emiatt 7056–7212 N közötti legyen, egy tizedes pontossággal mérve. A tárcsa alatti terhelést ezért külön kalibrálni nem kell, a terhelő erő gyári beállításának ellenőrzése, tanúsítása elegendő,
- SP-LFWD és BP-LFWD esetén a mért terhelési idő átlaga 16–20 ms közötti legyen, egy tizedes pontossággal mérve.

Az eltérések vizsgálata: a 18 mérésből a legnagyobb és legkisebb értéket el kell hagyni mind a kalibráló pad, mind a műszer méréséből. A maradék 16 alakváltozás-mérés eltérését a leolvasásokból kell képezni. A megengedett legnagyobb eltérés az alakváltozás 16 darabos sorozatából:

- a 0,60–1,00 mm tartományban: legfeljebb 0,10 mm,
- az 1,01–1,80 mm tartományban: legfeljebb 0,15 mm

lehet.

A kalibráció után a mechanikus terhelőberendezés és az elektromos mérőberendezés összehangolt egységet képez. A kalibráció adatait (beállított ejtési magasság, tömeg, kalibráció dátuma) a mérőműszeren feltűnő helyen fel kell tüntetni.

A mérési bizonytalanság számításához a szórás $\sigma = \sqrt{\sigma F^2 + \sigma s^2}$ kifejezésből kell számítani, ahol σs alatt az 1,01–1,80 mm-es alakváltozási tartomány szórását kell érteni.

M1.3. Saját ellenőrzés (SP-LFWD és BP-LFWD)

M1.3.1. Általános előírások

A felhasználó által végzett saját ellenőrzés a napi mérési feladat előtt kell megtörténjen, hogy a készülék megfelelő működőképességéről felhasználó meggyőződhesen.

M1.3.2. Ellenőrzés (SP-LFWD esetén)

A mérőberendezést az 5.2. pontban leírtak szerint összeállítva, teszt-kalibrációs üzemmódba helyezzük. Kapcsoljunk saját ellenőrzés (teszt) állásba és ellenőrizzük az alapbeállítási értékeket. A gyorsulásmérő kijelzését egyeztessük a gyártó által megadott egyedi értékkel és tűréssel.

Kétség, vagy probléma esetén ellenőrizni kell a Kontroll értéket, valamint a kalibrációs faktort, ezek eltérését a gyártó által megadott értéktől).

Megjegyzés: Kontroll érték (alapállás): $K1$ = gyártó által megadott érték, megadott $\pm\Delta$ tűréssel. A terhelőtárcsa vízszintes tengelye körüli 180 fokos átfordítása (fejreállítása) után a mérőműszer kijelzése a kontroll érték fordított állásban $K2$ legyen, $\pm\Delta$ tűréssel. Amennyiben ez nem teljesül, a berendezés nem működőképes. Kalibrációs faktor: a műszer memóriájában rögzített szám, melyet a gyártó a használati és üzemeltetési útmutatóban meg kell adjon. Amennyiben ez az érték más, vagy változása meghaladja a megadott tűrési értéket, a készüléket a fent leírt módon (negatív nehézségi gyorsulás alapján) korrigálni kell. A kalibrációs faktor megállapítása ($K1$ és $K2$ megállapítása) a műszer szoftverébe is beépíthető.

M1.3.3. Egyedi mérés (SP-LFWD és BP-LFWD)

A mérőberendezés egyedi mérést is végre kell tudjon hajtani, a működés ellenőrzése, vagy a kalibrálás elvégezhetősége miatt. Ez a menüpont a mérési állapotból nem szabad, hogy elérhető legyen, csak a kalibrációs üzemmódból.

M1.3.4. A mérési módszer megbízhatósága, pontossága (SP-LFWD és BP-LFWD)

A megbízhatóság és pontosság megállapításához az MSZ ISO 5725-2:2020 szabványban definiált ismételhetőségi szórás s_r , és a reprodukálhatósági szórás s_R , értékeinek megadása, vagy nagy mintaszám mellett statisztikai módszerekkel meghatározott vizsgálati megbízhatóság számítása szükséges. A mérés pontosságát a kalibráció során kell ellenőrizni.

A könnyű ejtősúlyos mérőberendezés az előírás szerinti mérésre alkalmas, ha az amplitúdók $n=16$ mintaszám mellett

- ismételhetőségi szórása: $s_r \leq 0,8$,
- reprodukálhatósági szórása: $s_R \leq 1,2 \leq 1,2$.

FÜGGELÉK

F1. A számításokban alkalmazott kifejezések

A dinamikus teherbírási modulust a 6.2. pontban megadott képletből kell számítani.

Alakváltozás mérése gyorsulásmérő alkalmazása esetén:

$$s = \frac{a}{2} \cdot t^2$$

ahol:

a – a mért gyorsulás,

t – a mért idő.

Az SP-LFWD esetén a helyszíni relatív tömörséget (T_{RE} , %), a nedvességkorrekciós tényezőt T_{rw} vagy a korrigált nedvességkorrekciós tényezőt (T_{rwK}), a dinamikus tömörségi fokot (T_{rd} , %) a 6.3. pontban megadott képletből kell számítani.

F2. Műszaki követelmények (SP-LFWD és BP-LFWD)

A mechanikus terhelőberendezés (ejtősúly) kialakításának követelményei:

- az ejtősúly tömege (fogantyúval együtt): $10 \pm 0,5$ kg
- a vezetőrúd teljes tömege (rugóelemmel és ejtősúllyal): $5 \pm 0,5$ kg
- dinamikus terhelés (p_{din}) SP-LFWD esetén $0,35 \pm 0,035$ MPa
- dinamikus terhelés (p_{din}) BP-LFWD esetén $0,10 \pm 0,01$ MPa
- ejtési magasság kalibrálás szerint, de általában $h = 72 \pm 5$ cm
- terhelési időtartam: 18 ± 2 ms

A terhelőtárcsa kialakítási követelményei:

- a terhelőtárcsa átmérője SP-LFWD esetén: 163 ± 1 mm
- a terhelőtárcsa átmérője BP-LFWD esetén: $300 \pm 0,5$ mm
- a terhelőtárcsa vastagsága: ≥ 20 mm
- a terhelőtárcsa teljes tömege (hordozófogantyúkkal): $15 \pm 1,0$ kg

Alakváltozás mérésére alkalmazott gyorsulásmérő javasolt műszaki adatai:

- a beépített gyorsulásmérő ajánlott mérési tartománya: $16 - 35$ g

Egyéb alakváltozás-mérő és a gyorsulásmérő alkalmazása esetén:

- mérési időtartam: 18 ± 2 ms
- feldolgozott mérési jel: legalább 18 jel/18 ms
- alakváltozás leolvasási pontossága: legalább 0,01 mm legyen
- időmérés pontossága: legfeljebb $\pm 1,5$ s naponként

F3. Ajánlások a műszerkialakításra, üzemmódra, kiegészítőkre és tartozékokra

F3.1. A könnyűejtősúlyos berendezés és mérések jellemzői

A könnyűejtősúlyos vizsgálat során adott magasságból, ismert tömegű testet csillapító rugó közvetítésével egy adott átmérőjű merev tárcsára ejtenek. A terhelőtárcsa középpontja alatt mérik a dinamikus terhelés hatására keletkező függőleges irányú elmozdulást, a süllyedési amplitúdót.

A számítás feltételezi, hogy a terhelőtárcsa terhelése a rugalmas, homogén, izotrop féltérre adódik át. A telítési vonalból megállapítható, hogy a nem összenyomható szilárd anyagból álló szemcsés réteg háromfázisú (levegő + szilárd rész + víz), nem telített és a vizsgálat során is az marad.

A mérő-vezérlő egység (PC) működését és működtetését gépkönyvben, vagy üzemeltetési útmutatóban a gyártónak (forgalmazónak) kell megadnia, mely legalább a következőket kell tartalmazza:

- berendezés beüzemelése,
- vezérlőegység (PC) kezelése, funkciók, csatlakozások,
- üzemmódok:
 - ellenőrző üzemmód,
 - mérő üzemmód,
 - kalibráló üzemmód,
 - nyomtató üzemmód (alternatív),
 - adatátviteli üzemmód (amennyiben szükséges);
- üzemmódok működése, lefolyása,
- berendezés tárolása, karbantartása,
- a műszer kalibrációja.

A vezérlőegységnek (PC) a mért adatokból az eredmény és a grafikonok számítását és tárolását is el kell végezni. Biztosítani célszerű a lehetőséget a tárolt vizsgálati adatok helyszínen történő ki-nyomtatására, illetve az adattárolóból PC-re történő felküldésére, ha a mérésvezérlő külön egység.

BP-LFWD esetén az adott ejtési magasság és az ejtősúly 10,0 kilogrammos tömege mellett 7070 N dinamikus terhelő erő adódik át a 300 mm átmérőjű tárcsára, amely 0,1 N/mm² normálirányú dinamikus nyomásnak felel meg. Az alakváltozást jellemző süllyedési amplitúdók második mérési sorozatából meghatározható a BP-LFWD szerinti dinamikus teherbírasi modulus (E_{vd}).

SP-LFWD esetén 10,2 kilogrammos ejtőtömeg és 73,5 cm ejtőmagasság esetén 7200 N dinamikus terhelőerő adódik át a tárcsára, amely megfelelő rugóállandó és 163 mm tárcsaátmérő esetén 0,35 MPa dinamikus nyomásnak (p_{din}) felel meg. Az alakváltozást jellemző süllyedési amplitúdók második mérési sorozatából meghatározható az E_d dinamikus teherbírasi modulus, illetve a hatodik mérési sorozatból a végmodulus $E_{dvég}$, mértékegysége MPa, N/mm² vagy MN/m².

Az SP-LFWD kistárcsás mérőberendezésnél az alakváltozást jellemző süllyedési amplitúdók teljes, azaz hat mérési sorozatából határozható meg a helyszíni relatív dinamikus tömörségi fok (T_{rE}). A számítás figyelembe veszi, hogy az optimális víztartalomnál a legjobb a tömöríthetőség, attól eltérő esetben a nedvességkorrekciós tényezővel ($T_{rw} \leq 1,00$) számítható módon csökken. A helyszíni dinamikus tömörségmérés a Proctor-munkavégzésnek megfelelő helyszíni tömörítés során létrejött tömörödési görbe meghatározásán alapul, melyből a helyszíni relatív tömörség (T_{rE} , %) és a tényleges terepi w_t víztartalom, a nedvességkorrekciós tényező (T_{rw}) ismeretében a T_{rd} , % dinamikus tömörségi fok számítható. A tömörödési görbe jellege a réteg előzetes gépi tömörítésének hatékonyságától függő, a tömörítetlen állapot és a teljesen tömörített térfogati állapot közötti. A helyszíni relatív tömörség (T_{rE} , %) megmutatja továbbá azt is, hogy az adott nedvességtartalom (telítettség)

mellett további tömörítés még végezhető-e, emiatt ideális eszköz a gyártásközi minőség-ellenőrzésben.

Megjegyzés: Az SP-LFWD vizsgálati módszer a kiadott uniós CWA 15 846:2008 Measuring Method for Dynamic Compactness and Bearing Capacity with SP-LFWD (Small-plate Light Falling Weight Deflectometer) mérési szabvány szerinti követelményeket és előírásokat is figyelembe veszi.

F3.2. Nyomtató

Az adatok helyszíni kinyomtatására szolgáló alkalmazott tartozék, mellyel a vezérlő-adattároló egységről (PC) lehet a helyszínen adatokat kinyomtatni. A nyomtatás tartalmi követelményei, ha a tartozékok között szerepel:

- azonosító adatok:
 - mérőműszer száma,
 - mérés száma,
 - dátum.

F3.2.1. BP-LFWD kistárcsás dinamikus teherbírásmérés

- a tárcsa alatti terhelés: p , MPa vagy MN/m^2 ,
- út-idő grafikonok az s_{11} , s_{12} és s_{13} méréseknél,
- egyedi mért értékek számszerűen,
- alakváltozások mm: s_{11} , s_{12} , s_{13} ,
- maximális terhelőtárcsa-sebesség: v_{11} , v_{12} , v_{13} mm/s,
- átlagértékek: $s_{1\bar{a}}$, 0,01 mm és $v_{1\bar{a}}$,
- $\frac{s_{1\bar{a}}}{v_{1\bar{a}}}$ hányados,
- eredmény: E_{vd} dinamikus modulus BP-LFWD, 0,1 MPa pontossággal, N/mm^2 vagy MN/m^2 .

F3.2.2. SP-LFWD kistárcsás dinamikus tömörségmérés

Teberbírás:

- tárcsa alatti terhelés: p , MPa vagy MN/m^2 ,
- út-idő grafikonok az s_{11} , s_{12} és s_{13} méréseknél,
- egyedi mért értékek számszerűen,
- alakváltozások mm: s_{ij} , s_{ij} , $s_{ij} \dots$, $i = 0 - 5$, $j = 1 - 3$,
- maximális terhelőtárcsa-sebesség: v_{ij} , v_{ij} , v_{ij} , mm/s,
- átlagértékek: $s_{1\bar{a}}$, 0,01 mm és $v_{1\bar{a}}$,
- $\frac{s_{1\bar{a}}}{v_{1\bar{a}}}$ hányados,
- eredmény: E_d dinamikus modulus SP-LFWD, 0,1 MPa pontossággal, N/mm^2 vagy MN/m^2 .

Tömörség:

- nedvességkorrekciós tényező: T_{rw} ,
- egyedi értékek: s_{01} , s_{53} ,
- átlagértékek: $s_{0\bar{a}}$, $s_{1\bar{a}}$, $s_{2\bar{a}}$, $s_{3\bar{a}}$, $s_{4\bar{a}}$, $s_{5\bar{a}}$,

- süllyedési amplitúdók az ütések számának arányában (tömörödési görbe),
- eredmény: helyszíni relatív tömörségi fok, T_{rE} , %,
- bevitt adat: nedvességhorrekciós tényező értéke, T_{rw} ,
- eredmény: dinamikus tömörségi fok, T_{rd} , %.

F3.2.3. Ha nyomtatás is készül

A nyomtatványon helyet kell biztosítani a helyszíni azonosító, kézi feljegyzések számára, mint például:

- a projekt neve,
- mérési hely azonosítása (km-szelvény, oldal, méter, vagy GPS-koordináta),
- a vizsgált réteg megnevezése,
- mérőszemélyzet neve, vagy kódja,
- időjárás,
- egyéb megjegyzés részére.

F3.3. Tartozékok

A mérőüzem biztosításához, nagyobb tömegű mérések elvégzéséhez, az adatok átviteléhez legalább a következő tartozékok biztosítása ajánlott:

- hálózati töltőberendezés és csatlakozó,
- tápfeszültség-csatlakozó, 12 V-os,
- adatátviteli csatlakozókábel, vagy adatátviteli eszköz,
- nyomtatókábel (ha kell).

F4. A nedvességhorrekciós tényező számítása és alkalmazása SP-LFWD esetén

Az SP-LFWD dinamikus tömörségmérés mérési eredménye a helyszíni relatív tömörség (T_{rE} , %), mely azt mutatja, hogy a réteg milyen tömörségű a tényleges víztartalom mellett elérhető legnagyobb tömörséghez képest. Új vizsgálati paraméter, mely a tömörítőeszközök (hengerlés) hatékonyságának megítélésében jelentős. Ismeretében eldönthető, hogy az adott nedvességtartalom mellett további tömörítés még végezhető-e a rétegen. A T_{rE} , % helyszíni relatív tömörség tehát ténylegesen a hengerlési-tömörítési munkát minősíti. A helyszíni relatív tömörség méréséhez nem szükséges a nedvességhorrekciós tényező ismerete.

A dinamikus tömörségi fok számításához a mért helyszíni relatív tömörséget korrigálni kell, attól függően, hogy a helyszíni víztartalom (w_{opt}) az optimálistól milyen mértékben tér el. Azt az arányt, mely a Proctor-vizsgálattal meghatározott, tényleges víztartalomhoz tartozó száraz sűrűség és az optimális víztartalomhoz tartozó legnagyobb száraz testsűrűség hányadosa, nevezzük nedvességhorrekciós tényezőnek:

$$T_{rwi} = \frac{\rho_{di}}{\rho_{dmax}}$$

$$T_{rw} \leq 1, w_{opt}\text{-nál } T_{rw} \equiv 1,00$$

A Proctor-vizsgálat elvégzése és a telítettségi vonalak számítása tehát a dinamikus tömörségvizsgálathoz is szükséges, a $T_{rwi} - w_i$ nedvességhorrekciós görbe, vagy táblázat megadásához. Adott

anyagra előre meghatározandó a T_{rwi} legalább a $w_{opt} \pm 5$ százalékos környékére két-három százalékonként, az optimális víztartalomtól felfelé és lefelé is (leolvasva a módosított Proctor-vizsgálat görbéjéből az ezekhez tartozó sűrűségeket, elosztva a ρ_{dmax} sűrűséggel).

Az anyagtípusonként így kiszámított T_{rwi} értékek elegendők ahhoz, hogy a helyszínen, a tényleges víztartalom mérésével a tömörségméréshez alkalmazzuk. A dinamikus tömörség mérésekor mindig kell mintát venni a víztartalom laboratóriumi megállapítására. Igen előnyös, ha megfelelő műszerrel a helyszínen meg tudjuk határozni a természetes terepi víztartalmat (w_t).

F4.1. Példa

Dunaharaszti homok: $\rho_{dmax} = 1,85 \text{ g/cm}^3$ és $w_{opt} = 9,9\%$

Száras ág					w_{opt}	Nedves ág				
-5%	-4%	-3%	-2%	-1%		+1%	+2%	+3%	+4%	+5%
0,956	0,973	0,989	0,995	0,999	1,000	0,997	0,989	0,962	0,940	0,892

A T_{rw} nedvességkorrekciós táblázat meghatározása az MSZ EN 13 286-2 (vagy MSZ 14 043-7) szerinti alkalmassági vizsgálattal, négy-öt különböző víztartalommal történjen, az $S=0,95$ telítési vonalig terjedően egyenletesen elosztott Δw víztartalom-lépcsőkkel. A Proctor-görbe meghatározása a mért négy-öt Proctor-pontból előnyösen ötöd-hatod fokú, de legalább másodfokú közelítő görbével történjen, a regresszió szorosságának ellenőrzésével, vagy a pontok egyszerű összekötésével. Az így meghatározott görbe egyenletéből $\Delta w = 1\%$ -os lépcsőnként kell a ρ_{di} -értékeket számolni és a ρ_{dmax} -hoz viszonyítva a nedvességkorrekciós tényező értékét táblázatosan megadni.

Megjegyzés: Proctor-görbe regressziós egyenlete paramétereinek matematikai meghatározása az $S=0,92$ telítési vonal felett felvett, a mért sűrűségeknél kisebb sűrűségű virtuális segédpontokkal javítható. Ehhez a házag nélküli szemcsesűrűség ismerete szükséges.

A T_{rw} értékei a $T_{rE} = 100$ százaléknak mért helyszíni relatív tömörségnél pontosan a dinamikus tömörségi fok/100 értéket jelentik, azaz a maximális $T_{rE} = 100\%$ tömörítéssel $w_{opt} + 5\%$ helyszíni víztartalomnál jelen példa szerint legfeljebb 89,2% tömörségi fok (T_{rd}) érhető el – azaz az anyag beépítési víztartalmától függően ez számítható. Ha a mért helyszíni relatív tömörség például $w_{opt} - 5\%$ száraz ági helyszíni víztartalomnál $T_{rE} = 96,2\%$ és $T_{rw} = 0,956$, a dinamikus tömörségi fok, $T_{rd} = 0,956 \cdot 96,2 = 92\%$ lesz.

A gépi tömörítés az optimális víztartalom felett a nedves ágban lényegesen nehezebb, melyet a T_{rw} -értékek jól jeleznek és ezek előre számíthatók is. A nedves ágban további probléma lehet a tömörítéshez szükséges kellő levegőtartalom, mely a levegőtartalom/optimális levegőtartalom arányból jelezhető és a telítettség, mely az alkalmassági vizsgálatból ρ_s ismeretében számítható. Ezért a telítési vonalakat (S) mindig kell számítani.

A tömörségi fok előírt határértékéből a kivitelezés során feltétlenül elérendő helyszíni relatív tömörségi fok is számítható. Ilyenkor a gépi tömörítéssel ennek elérésére elegendő törekedni. Ha például a $w_{opt} - 3\%$ helyszíni víztartalmat mértünk és $T_{rp} = T_{rd} \geq 95,0\%$ tömörségi fok a minősítési követelmény, akkor ennek kielégítésére fenti példánkból számítva $\frac{T_{rd}}{T_{rw}} = \frac{95,0}{0,989} \geq T_{rE} = 96,1\%$ feltétel teljesülése szükséges a mérésnél. Ha ezt a kivitelezés során biztosítjuk, a minősítő tömörségmérések is megfelelőek lesznek!

A tömörítési munka várható hatékonyságát is előre becsülhetjük a T_{rw} nedvességkorrekciós tényező ismeretében.

Ha a helyszíni víztartalom (w_t) a fenti példát alkalmazva $w_{opt} + 4\%$, akkor $T_{rE} = 100\%$, azaz maximális helyszíni relatív tömörségre történt gépi tömörítés mellett is legfeljebb $100 \cdot 0,940 = 94,0\%$ tömörségi fokot (T_{rd}) tudunk elérni, azaz 95 százalékot semmiképpen! Ilyenkor vagy új anyagtípust kell választani, vagy a beépítendő anyag víztartalmát szellőztetéssel, szárítással csökkenteni.

A mérési módszer és elmélete segít egy új kivitelezői szemlélet kialakításában és elterjesztésében, mert rávilágít az alkalmazott szemcsés anyagok, talaj optimális nedvességtartalmának fontosságára és a hengerlési munkával elérhető, könnyen ellenőrizhető tömöríthetőségre. Az SP-LFWD berendezés alkalmazhatóságát nagyban segíti kis mérete, könnyű kezelhetősége. Környezetvédelmi és egészségügyi vonatkozásai miatt kiemelendő, hogy a módszer izotópporrás nélkül, környezetbarát módon használható.

F5. Számítások bemutatása

F5.1. Kistárcsás tömörség- és teherbírásmérés SP-LFWD mérőeszközzel

Az ajánlott számítógépes feldolgozás megértésére egy példán bemutatunk egy számításmintát a dinamikus tömörség- és teherbírás mérésére. A mérésből származó, letöltött adatok a 3. ábrában találhatók.

- készülék gyártási száma (Device Nr),
- mérés száma (Measure Nr),
- mérés időpontja,
- mérőszemélyzet azonosítója (ID),
- mérés típusa (SB, SBC, SBCP), ahol:
- S=small-plate, B=teherbírás, BC=teherbírás+tömörség,
- BCP= egyszerűsített tömörség+teherbírásmérés,
- Boussinesq-féle tárcsaszorító
(Modell:
 - merev: $c = \frac{\pi}{2}$,
 - hajlékony: $c = 2$,
 - jellemzően: $\frac{\pi}{2}$,
- alkalmazott Poisson-tényező (μ),
- a helyszínen alkalmazott T_{rw} nedvességkorrekciós tényező mérésakor bevitt értéke,
- dinamikus terhelőerő, N ,
- tárcsa sugara, $r = \frac{D}{2}$,
- $s_{01} - s_{53}$ a mérésből származó süllyedési amplitúdók (mm·100 dimenzióban),
- $s_{01} - s_{536}$ a mérésből származó tárcsasüllyedések sebessége.

STX		
Device	Nr =	4080408
Measure	Nr =	140
2014. 01. 19	13:56:24	
User	ID =	1
Type	=	SBC
Model	=	1,571
Poisson	=	0,3
Trw	=	0,998
Fdin	=	7200
Radius	=	81,5
s01=	257	V01= 409
s02=	75	V02= 181
s03=	68	V03= 157
s11=	54	V11= 152
s12=	47	V12= 135
s13=	40	V13= 124
s21=	38	V21= 129
s22=	38	V22= 124
s23=	35	V23= 118
s31=	33	V31= 116
s32=	31	V32= 124
s33=	38	V33= 126
s41=	32	V41= 124
s42=	32	V42= 106
s43=	35	V43= 113
s51=	34	V51= 115
s52=	31	V52= 123
s53=	29	V53= 119
ETX		

3. ábra – A mérésvezérlőből letöltött, vagy PC-n tárolt adatok formátuma

F5.1.1. Dinamikus modulusok számítása (SP-LFWD)

A 3. ábra adatai szerint: $\mu = 0,3$ (Poisson) és $c = \frac{\pi}{2}$ (Boussinesq tárcsamodell), $r = 81,5$ mm (radius). A tárolt alakváltozási adatok a milliméterben mért érték százszorosai.

$$C\mu = \frac{\pi}{2(1-\mu^2)} p_{din} \cdot r = 40,8$$

$$E_d = \frac{C\mu}{s_{1á}}; \quad s_{1á} = \frac{0,54 + 0,47 + 0,40}{3}, \text{ azaz } E_d = \frac{40,8}{0,47} = 86,8 \text{ MPa}$$

Ugyanígy:

$$E_{dvég} = \frac{C\mu}{s_{5á}} = \frac{40,8}{0,31} = 131,6 \text{ MPa},$$

$$\text{ahol: } s_{5á} = \frac{0,34 + 0,31 + 0,29}{3} = 0,31 \text{ mm}$$

F5.1.2. Nedvességhozzáadási tényező (T_{rw}) számítása (SP-LFWD)

A helyszínen, vagy laborban mért terepi víztartalom: $w_t = 4,0\%$

A Proctor-görbéből számított, $\frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} = \frac{1,862}{1,90} = 0,980$, ahol a ρ_d a $w = 4,0\%$ -hoz tartozó száraz térfogatsűrűség. Ha a T_{rw} -görbét (táblázatot) előzetesen már elkészítettük, akkor csak a $w = 4,0\%$ -hoz tartozó $T_{rw} = 0,980$ értékét kell kiolvasnunk.

F5.1.3. Helyszíni relatív tömörségi fok számítása (SP-LFWD)

A tárolt adatok a süllyedési amplitúdók százszorosai. A süllyedési amplitúdókat a dinamikus modulus kiszámítása után, a dinamikus tömörségi fok számításához korrigáljuk, $s_{ij} \geq s_{ij+1}$ formába rendezzük (példánkban s_{32} -ig változatlan, majd $s_{33} - s_{52}$ -ig emiatt 31 értékű lesz), ezzel az adatok hullámságát kiszűrjük.

Képezzük ezután sorban a rendezett süllyedési különbségeket az $s_{ij} - s_{ij+1}$ kifejezéssel!

A 2. ábrából 182, 7, 14, 7, 7, 2, 0, 3, 2, 2, 0, 0, 0, 0, 0, 2 lesz a rendezett adatsor.

Mivel a Proctor-vizsgálat $G_d = \text{constans}$ modelljéből számított Φ lineáris együtttható értéke megfelel a $0,380 \pm 0,20$ általános feltételnek, ezért ezzel számolunk. A $T_{rE} = 100 - 1,25 \cdot 0,380 D_m$ értéket a számítás egyszerűsítésére praktikusnak a számlálót és nevezőt tízzel szorozva:

$$T_{rE}, \% = 100 - \frac{10 \cdot 1,25 \cdot 0,380 D_m}{10 \cdot 100} = 100 - \frac{1,25 \cdot 3,80 D_m}{1000}$$

képlettel számíthatjuk,

ahol:

D_m – deformációs mutató értéke az ejtésekkel súlyozott és ejtésnek megfelelő számú adatok összege, azaz:

$$D_m = \frac{[1(182) + 2(182 + 7) + 3(182 + 7 + 14) + 4(182 + 7 + 14 + 7) + 5(182 + 7 + 14 + 7 + 7) + 6(182 + 7 + 14 + 7 + 7 + 2) + \dots + 17(182 + 7 + 14 + 7 + 7 + 2 + 0 + 3 + 2 + 2 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2)]}{17\,000} = 2,01 \text{ mm}$$

A helyszíni relatív tömörség ebből:

$$T_{rE} = 100 - 1,25 \cdot \Phi \cdot D_m = 100 - 1,25 \cdot 3,8 \cdot 2,01 = 90,5\%$$

Ha a $T_{rw} = 0,98$, akkor a dinamikus tömörségi fok:

$$T_{rd} = T_{rE} \cdot T_{rw} = 90,5\% \cdot 0,98 = 88,7\% \approx 89\%.$$

F5.1.3.1. A számított dinamikus tömörségi fok korrekciója

- Tömörítési munka ellenőrzése során a tömörítési munka miatti korrekció következik, pl. mért értéke $T_{rE2} = 97\%$ lett (a tárcsa elmozdítása nélkül!), ekkor $CWC = 97/100 = 0,97$,

$$T_{rwK} = CWC \cdot T_{rw} = 0,97 \cdot 0,98 = 0,95$$

$$T_{rd} = T_{rE} \cdot T_{rwK} = 90,5 \cdot 0,95 = 86,0\%$$

- Réteges építéskor, a tömörítési munka külön ellenőrzése nélkül (például, ha $T_{rw} = 0,98$):

$$T_{rd} = T_{rE} \cdot T_{rw} = 90,5 \cdot 0,98 = 88,7\%$$

F5.1.3.2. Mértékadó tömörségi fok

T_{rdM} , % számításához az ily módon számított legalább két mérési eredményből számítjuk ki az átlagot.

Minősítő mérés esetén egy méteren belül mért két mérésből számítandó a mértékadó tömörségi fok.

- a) példa: $T_{rd} = 88,7\%$ és a (feltételezett) másik mérés $T_{rd} = 90,2\%$, átlaguk $89,5\%$, eltérése $90,2 - 88,7 = 1,5\% < 3T_{rd}$, % megengedett eltérés, tehát a két mérés az átlaghoz elegendő. Az eredményt egész számra kerekítve kell megadni, azaz $T_{rdM} = 90\%$
- b) példa: $T_{rd} = 86,0\%$ és a (feltételezett) másik mérés $T_{rd} = 95,1\%$, átlaguk $90,6\%$, az eltérés: $90,6 - 86,0 = 4,6\% > 3\%$ megengedett, emiatt újabb, harmadik mérés szükséges. Ha ez pl. $89,2\%$, a három mérés átlaga az eltéréstől függetlenül $88,6\%$ lesz. A mértékadó eredményt egész számra kerekítve kell megadni, tehát $T_{rdM} = 89\%$.

F5.2. E_{vd} teherbírásmérés BP-LFWD mérőeszkővel

Az ajánlott számítógépes feldolgozás megértésére egy példán bemutatjuk a számításmintát a nagytárcsás dinamikus teherbírási mérésre. A bemutatott, tárolt alakváltozási adatok a mm-ben mért érték 100-szorosai.

A mérésből származó, letöltött adatok (4. ábra),

- készülék gyártási száma (Device Nr),
- mérés száma (Measure Nr),
- mérés időpontja,
- mérőszemélyzet azonosítója (ID),
- mérés típusa (BP-LFWD), Boussinesq-féle tárcsaszorító modell:
 - mérév: $c = \frac{\pi}{2}$,
 - hajlékony: $c = 2$,
 - jellemzően: 2;
- alkalmazott Poisson-tényező (μ), jellemzően 0,5,
- T_{rw} nedvességkorrekciós tényező nem figyelembe vett érték, bevitt értéke 1,0,
- dinamikus terhelőerő, N ,
- tárcsa sugara, $r = \frac{b}{2} = 150$ mm,
- $s_{01} - s_{53}$ – a mérésből származó süllyedési amplitúdók (itt mm×100 dimenzióban),
- $v_{01} - v_{53}$ – a mérésből származó tárcsasüllyedések sebessége (mm/s).

A BP-LFWD nagytárcsás dinamikus teherbírási modulus számítása:

$$E_{vd} = \frac{22,5}{d}$$

ahol:

$C\mu$ – 22,5,

d – tárcsa közepének függőleges elmozdulása mm (mért érték),

p_{din} – dinamikus terhelés 0,1 MPa, $p_{din} = \frac{F_{din}}{A}$,

A – tárcsa felülete (tárolt alapadat),

r – tárcsa sugara (átmérő fele, tárolt alapadat),

$F_{din} = \sqrt{2mghK}$ – dinamikus terhelőerő (tárolt alapadat);

ahol:

m – az ejtősúly tömege (tárolt alapadat),

h – az ejtési magasság (tárolt alapadat),

g – nehézségi gyorsulás az Őn szélességi fokán (LAT függő, tárolt alapadat),

K – rugóállandó (tárolt alapadat).

STX			
Device	Nr=	BP-LFWD	
Measure	Nr=	101	
	2018.09.14	11:44:30	
User	ID=	1	
Type	=	SMART-LFWD	
Model	=	2	
Poisson	=	0,5	
Trw	=	1	
Fdin	=	7070	
Radius	=	150	
s01=		77	v01= 165
s02=	69		v02= 152
s03=		62	v03= 145
s11=		53	v11= 143
s12=		49	v12= 135
s13=		47	v13= 136
ETX			

4. ábra – Minta a mért BP-LFWD adatokra

A mérő (második) sorozat alakváltozás-átlaga:

$$\frac{s_{11} + s_{12} + s_{13}}{3} = \frac{53 + 49 + 47}{3} = 0,50 \text{ mm}$$

A tárcsasebesség átlaga a második ejtési sorozatban:

$$\frac{143 + 135 + 136}{3} = 138 \text{ mm}$$

$$E_{vd} = \frac{22,5}{0,50} = 45 \text{ MPa (MN/m}^2 \text{ vagy N/mm}^2\text{)}$$

$$\frac{s}{v} = \frac{0,50}{138 \cdot 1000} = 3,60 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

F6. Átszámítások – összefüggések

F6.1. Az SP-LFWD átszámításai és összefüggései

(Csak irodalmi hivatkozással együtt szabad megadni!)

A dinamikus tömörség- és teherbírásmérés évtizedes adathalmazából, nagy mintaszámú regressziós analíziseiből kapott átszámítások tájékoztató értékűek, de sokszor hasznos információt nyújtanak. Levezetések a szakirodalomból megismerhetők. Ezek az alábbiak.

F6.1.1. Statikus teherbírás (E_2) értéke¹

$$E_2 = 0,94 E_d \quad (R^2 = 0,93)$$

Példa: az általános példában számított $E_d = 86,8$ MPa esetén $E_2 = 0,94 \cdot 86,8 = 81,6$ MPa, azaz $E_2 \approx E_d$ (10%-nál kisebb eltérés).

F6.1.2. CBR% értéke

E_2 -ből számítható:

$$\text{CBR}\% = \frac{(E_2)^{\frac{3}{2}}}{10} \quad (\text{Boromisza})$$

Példa: $E_d = 32$ MPa esetén $E_2 = 30$ MPa és $\text{CBR}\% = 5,2\%$.

F6.1.3. Dinamikus ágyazási együttható értéke²

$$C_d = \frac{0,0761}{s_{0á}} \text{ N/mm}^3$$

Példa: $\frac{0,0761}{1,33 \text{ mm}} = 0,06 \text{ N/mm}^3$

F6.1.4. Várható megsüllyedés³

25 cm-es rétegenként:

$$2,1 \cdot \Delta T_{rd}, \%$$

Példa: $\Delta T_{rd}, \% = 10$ esetén $2,1 \cdot 10 = 21 \text{ mm/25 cm}$ (azaz 8,4 cm/1 m vastag visszatöltésnél)

1) MSZ 15 846 Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel. 2. kiadás. 2015. nov. C.6.1. pont. ICS93.080.10

2) Subert I. (2015): CWA15 846 Dinamikus tömörségi-fok elmélete és módosításának háttere. Útügyi Lapok, 2015. dec. 15.

3) Imre E., Garai J., Subert I., Tompai Z. (2017): Test and Method is Proposed for Measuring The Dynamic Compaction-rate and Dynamic Modulus in Earthworks. Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul.

F6.1.5. E_{vib} értéke⁴

(CCC módszer, BOMAG):

$$0,5 \cdot E_d + 57 \quad (R^2 = 0,93)$$

Példa: ha $E_d = 86,8$ MPa, akkor $E_{vib} = 100,4$ MPaF6.1.6. E_{vd} értéke⁵

(BP-LFWD nagytárcsás):

 $E_{vd} = 0,42 E_{dvég} \quad (R^2 = 0,91)$, vagy $E_{vd} = 0,69 E_d \quad (R^2 = 0,90)$ közül a kisebbik.
Példa: $E_{vd} = 0,42 E_{dvég} = 0,42 \cdot 131,6 = 55,3$ MPa; $E_{vd} = 0,69 \cdot E_d = 0,69 \cdot 86,8 = 59,9$ MPaA kisebb: $E_{vd} = 55,3$ MPaF6.1.7. E_{vd} White értéke⁶

(BP-LFWD nagytárcsás ASTM):

$$E_{vd} \text{ White} = 2,24 E_{vd} \cdot \frac{145,04}{1,5} =$$

Példa: $55,3 \text{ MPa} \cdot 216,6 \quad E_{vd} \text{ White} = 11,978$ psiF6.1.8. Nyírási modulus (G , MPa) számítása

$$G = \frac{0,5 \cdot E_d}{1 + \mu} \text{ MPa,}$$

ahol:

 μ – Poisson tényező, pl. 0,3 szemcsés talajnálPélda: $E_d = 86,8$ MPa, akkor $G = \frac{0,5 \cdot 86,8}{1,3} = 33,4$ MPa

4) Anna Petkovsek (2008): Report on usage of Andreas dynamic load bearing capacity of Ljubljana Katedra za mehaniko tal z laboratorijem. Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. Report p.:10

5) Tompai Z. (2008): Conversion between static and dynamic load bearing capacity moduli and introduction of dynamic target values. PP Civil Engineering 52/2. pp.79–102.

6) White, D. J., P. Becker, P. Vennapusa, M. Dunn, and C. I. White. (2013): „Stiffness-Based QC/QA Testin” Iowa Department of Transportation Federal Highway Administration Washington, DC

F6.1.9. Sűrűségi korrekció (pl. kohósalak) teherbírásra⁷

$$E_d = K \cdot E_d,$$

$$\text{ahol } K = \frac{1,766}{\rho_{\max} \left(\frac{1}{1+w_{\text{opt}}} \right)}$$

Példa: $\rho_{\max} = 2,28$; $w_{\text{opt}} = 12,2$; $K = \frac{1,766}{2,032} = 0,87$, ha $E_d = 86,6$,

akkor $E_{d\text{kor}} = 0,87 \cdot 86,8 = 75,5 \text{ MPa}$

F6.1.10. Sűrűségi korrekció (pl. pernye) tömörségre és teherbírásra az impulzustörvény alapján

Átszámítás: $\zeta_E = \frac{\rho_1(1+w_1)}{\rho_2(1+w_2)} \cdot \frac{100}{T_{rE}, \%}$; $m = 0,986 T_{rE\text{mért}}, \% - 98,7$ és $T_{rE\text{szám}}, \% = 100 + m \cdot \zeta$

Példa:

Mért értékek:

$E_d = 18,9 \text{ MPa}$, $T_{rE}, \% = 91,7\%$, $w_t = 38,3\%$; nedves sűrűség: $1,26 \text{ g/cm}^3$,
Proctor $\rho_{d\text{max}} = 0,91 \text{ g/cm}^3$, $w_{\text{opt}} = 26\%$, $T_{rw} = 0,985$.

(Mért teherbírás ugyanott: $E_2 = 37 \text{ MPa}$, $T_t = 1,6$, kiszúróhengeres tömörség: $T_{rp} = 98,3\%$ volt).

$$\xi = \frac{(0,91 \cdot 1,26)}{(1,65 \cdot 1,07)} = \frac{1,147}{1,766} = 0,649; \text{ és } m = (T_{rE\text{mért}}, \% \cdot 0,986) - 98,7 = -8,3$$

$$T_{rE\text{szám}}, \% = 100 - 8,3 \cdot 0,649 = 94,6\% \text{ és } T_{rw} = 0,985$$

$$T_{rd\text{kor}}, \% = T_{rw} \cdot T_{rE}, \% = 0,985 \cdot 94,6 = 93,2\%$$

Teherbírás: $E_{d\text{kor}} = E_d \cdot \left(\frac{1}{\xi} \right) \cdot \left(\frac{100}{T_{rd}, \%} \right) = 18,9 \cdot \left(\frac{1}{0,649} \right) \cdot \left(\frac{100}{93,2} \right) = 18,9 \cdot 1,54 \cdot 1,07 = 31,1 \text{ MPa}$
($E_2 = 29,2 \text{ MPa}$)

F6.1.11. Átszámítás egyszerűsített (standard) Proctor tömörségi fokra a mért dinamikus tömörségi fokból⁸

$$T_{rd}, \% \text{ standard} = T_{rd}, \% \cdot \left(\frac{1}{\beta} \right)$$

$$\text{ahol: } \beta = \frac{\rho_{d\text{maxSt}}}{\rho_{d\text{maxMod}}}$$

Példa:

$T_{rd}, \% = 95\%$; $\rho_{d\text{maxSt}} = 1,82$ és $w_{\text{optst}} = 13,5\%$;

$\rho_{d\text{maxMod}} = 1,96$ és $w_{\text{optMod}} = 13,5\%$; $\beta = 0,943$

$$T_{rd}, \% \text{ standard} = \frac{1}{0,943 \cdot 95\%} = 101\%$$

7) MSZ 15 846 Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtő súlyos berendezéssel. 2. kiadás. 2015. nov. C.6 .pont ICS93.080.10.

8) Subert I. (2009: A tömörségi fok átszámítása az egyszerűsített és a módosított Proctor-vizsgálatok között. Közlekedésépítési szemle 2009. 59. évf. 7. sz.

F6.1.2. Helyszíni reziliens (visszaalakulási) modulus⁹

$$\text{Képlete: } Mr = \frac{(1-\mu^2)c \cdot p_{din} \cdot r}{S_r}$$

ahol $\mu = \mu_r$ a reziliens modulus választott Poisson-tényezője, azaz más, mint az E_d számításában:

- cementes/meszes stabilizáció: $\mu_r = 0,20$
- homok (siSa/Sa/saSi): $\mu_r = 0,30$
- homokoskavics (Grsa/grSa/meddő): $\mu_r = 0,35$
- M22/M56/M80/FZKA: $\mu_r = 0,40$

S_r számítása: $\Delta = (S_{45\hat{a}} - S_{5\hat{a}})$ mm és $S_r = S_{5\hat{a}} - 7\Delta$ tisztán rugalmasnak tekintett alakváltozás. $\Delta < 0$ esetén $S_r = S_{5\hat{a}} - 0,05$

Példa: számítása a teljes ejtési sorozat (18 ejtés) virtuális 24. amplitúdóból történik.

$E_d = 86,8$ MPa ($E_2 = 81,6$ MPa) esetén (3. ábra)

$$S_{5\hat{a}} = \frac{s_{51} + s_{52} + s_{53}}{3} = \frac{34 + 31 + 29}{\frac{3}{100}} = 0,31 \text{ mm}$$

$$S_{45\hat{a}} = \frac{s_{42} + s_{43} + s_{51} + s_{52} + s_{53}}{5} = \frac{32 + 35 + 34 + 31 + 29}{\frac{5}{100}} = 0,32 \text{ mm}$$

$\Delta = (S_{45\hat{a}} - S_{5\hat{a}})$ mm, azaz $0,32 - 0,31 = 0,01$

$S_r = S_{5\hat{a}} - 7\Delta$ (mm) tisztán rugalmas alakváltozásnak tekintett, azaz $S_r = 0,31 - 7 \cdot 0,01 = 0,24$ mm,

de $\Delta < 0$ vagy $s_r < 0$ esetén $S_r = S_{5\hat{a}} - 0,05$, azaz például ha $s_{54\hat{a}} \leq 0,31$ lenne,

akkor: $S_r = 0,31 - 0,05 = 0,24$ mm

$\mu_r = 25$ (meszes-cementes stabilizáció); $c = \frac{\pi}{2}$; $\rho = 0,35$; $r = 81,5$ mm, azaz $C\mu_r = 42,0$

Reziliens modulus értéke: $M_r = E_{d\epsilon r} = \frac{C\mu_r}{s_r} = \frac{42,0}{0,24} = 175$ MPa (MN/m², vagy MN/mm²)

F6.1.3. Átszámítások MPa-ról psi-re: MPa · 145,04

F6.1.4. Állapotjellemező faktor (ÁJF)¹⁰

Számítása a nedvességtartalmat is tükröző SP-LFWD dinamikus teherbírásból (E_d) és dinamikus tömörségi fokból (T_{rd} , %) történik.

Képlete: $\text{ÁJF} = 2 \cdot E_d (\text{MPa}) \cdot T_{rd}$

ahol $T_{rd} = \frac{T_{rd, \%}}{100}$

9) K. P. George. (2006): *Portable FWD (PRIMA 100) for In-situ Subgrade Evaluation*. University of Mississippi Department of Civil Engineering. Final report, N°FHWA/MS-DOT-RD-06-179. jun. 2006.

J. Szendefy et al (2019): *Possibility of On-site Measurement of Residual Modulus, Measuring by SMART-BC Instrument*. ISSMGE Conference Kezdi, Budapest

10) J. Szendefy, I. Subert, A. Subert, Gy. Lechoczky (2020): *Complex Evaluation of Soil Test with new State-characteristic Factor X*. International Conference on Transport Sciences Hungary CoTS2020, Győr. ISBN 978-963-8121-88-2

Példa: $E_d = 86,8 \text{ MPa}$; $T_{rd}, \% = 88,7\%$; $T_{rd} = 0,887$ alkalmazásával:

$\dot{A}JF = 2 \cdot 86,8 \cdot 0,887 = 154$, tehát jó.

F6.1.5. $\dot{A}JF$ javasolt besorolási határértékei az állami úthálózaton és beruházásokon

Állapotjellemző faktor	Állapot megnevezése	Teherbíráspélda E_d , MPa	Tömörségpélda $T_{rd}\%/100$	Példa $\dot{A}JF$ (SPF) értékére
>300	Super	160	0,97	310
>200	Kiváló	120	0,96	230
>130	Jó	80	0,96	144
>80	Megfelelő	50	0,93	93
40–80	Kezelendő	40	0,90	72
<40	alkalmatlan	25	0,88	44
<20	nem járható	12	0,85	21

F6.1.6. Megrendelői előírás (Minta)

$\dot{A}JF = (A \cdot B \cdot C \cdot D) \cdot 80$

A0-B0-C0-D0 közműárok-visszatöltés –1,0 méteren, zöldterületen ($\dot{A}JF > 37$)

A3-B3-C5-D4 autópályahíd-háttöltés FF50 tetején ($\dot{A}JF > 195$), ebből $E_r = E_d$ követelmény számítása

$$E_{2v} = E_d = \frac{\dot{A}JF}{\frac{T_{rg, \%}}{\frac{100}{2}}}$$

Példa: $\frac{195}{\frac{0,97}{2}} = 101 \text{ MPa}$, ahol az elvárt tömörségi fok 97%,

ahol:

- A – Kockázat

Osztály	A szorzó	Leírása
0	0,8	Érdektelen
1	1,0	Egyszerű, szokásos
2	1,1	Kis kockázatú
3	1,2	Nagy kockázatú
4	1,4	Különösen nagy kockázatú

- B – Terhelés

Osztály	A szorzó	Leírása
0	0,8	Nincs terhelése
1	0,9	Könnyű (L)
2	1,0	Közepes (M)
3	1,2	Magas (H)
4	1,4	Különösen nagy (EH)

- C – Szerkezeti réteg, beépítés helye (útépítés)

Osztály	A szorzó	Leírása
0	0,8	Nincs funkciója, zöldfelület, vagy burkolatlan felület létesítményen kívül
1	0,9	Gyalogjárda /kerékpárút
2	1,0	Kocsiút – lakóút heti egy kukásautó forgalommal
3	1,1	Kocsiút – gyűjtőutak, mellékutak kis forgalommal
4	1,2	Kocsiút – főutak közepes forgalommal
5	1,3	Kocsiút – autópálya, vagy különösen nagy forgalmi terhelés

- D – a réteg funkciója, szerepe

Osztály	A szorzó	Leírása
0	0,9	Visszatöltés/töltés közbenső mérés FA–1,0 m
1	1,0	Visszatöltés/töltés FF–0,5 m FA teteje
2	1,1	Visszatöltés/töltés FF–20 cm javító-védőréteg alatt
3	1,2	Visszatöltés/töltés FF–0 cm javító-védőréteg tetején, vagy tükörben
4	1,3	Hidraulikus kötőanyag nélküli szemcsés alaprég legalább 60% zúzott anyagból (törtbeton is), vagy mechanikai stabilizáció
5	1,4	Hidraulikus kötőanyag nélküli szemcsés alaprég 100% zúzott anyagból (FZKA)
6	1,7	Hidraulikus kötőanyagú útalap réteg (CK_{H4})

F6.2. Az BP-LFWD átszámításai és összefüggései

A BP-LFWD nagytárcsás E_{vd} dinamikus teherbírásmérés évtizedes adathalmazából, nagy mintaszámú regressziós analíziseiből kapott átszámítások tájékoztató értékűek, de sokszor hasznos információt nyújtanak. Levezetések a szakirodalomból megismerhetők. A regressziós együtthatókra nincs utalás. Javasolt a magyar Baksay-féle összefüggés alkalmazása.

F6.2.1. Statikus teherbírás számított E_2 értéke

Baksay-módszer (hazai javasolt módszer):

$$E_2 = \frac{(E_{vd}-9,1)}{0,52} \text{ vagy másképpen } E_2 = 1,92 (E_{vd} - 9,1)$$

Példa: $E_{vd} = 45,0$ MPa, akkor $E_2 = 69,0$ MPa (MN/m², N/mm²)

Tompai-módszer¹¹ $1,61 \cdot E_{vd}$ ($R^2 = 0,83$)

Példa: $E_{vd} = 45,0$ MPa, akkor $E_2 = 72,5$ MPa (MN/m², N/mm²)

F6.2.2. E_{vd} White értéke¹²

(BP-LFWD nagytárcsás ASTM E2835-11):

$$E_{vd} \text{ White} = \frac{45,0 \cdot 2,24 \cdot 145,04}{1,50} = E_{vd} \cdot 216,6 \text{ psi}$$

Példa:

$E_{vd} = 45,0$, akkor $45,0 \text{ MPa} \cdot 216,6 = E_{vd} \text{ White} = 9,747 \text{ psi}$

11) Tompai Z. (2008): Conversion between static and dynamic load bearing capacity moduli and introduction of dynamic target values. PP Civil Engineering 52/2. pp.7–102.

12) White, D. J., P. Becker, P. Vennapusa, M. Dunn, and C. I. White. (2013) "Stiffness-Based QC/QA Test" Iowa Department of Transportation Federal Highway Administration Washington, DC

A szövegben említett és kapcsolódó magyar nemzeti szabványok, ütiügyi műszaki előírások és jogszabályok

Szabvány és ütiügyi műszaki előírás alkalmazása előtt győződjön meg arról, hogy jelent-e meg módosítása, helyesbítése, nincs-e visszavonva, vagy műszaki tartalmú jogszabály hivatkozik-e rá.

(Ellenőrzés időpontja a Magyar Szabványügyi Testület honlapja alapján: 2022. október)

MSZ EN 933-1:2012	Kőanyaghalmozok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Szitavizsgálat (angol nyelvű)
MSZ EN 1097-5:2008	Kőanyaghalmozok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 5. rész: A víztartalom meghatározása szárítószekrényben való szárításhoz
MSZ EN 1097-6: 2022	–. 6. rész: A testsűrűség és vízfelvétel meghatározása (angol nyelvű)
MSZ 2509-3:1989	Útpályaszerkezetek teherbíró képességének vizsgálata. Tárcsás vizsgálat
MSZ ISO 5725-2:2020	Mérési módszerek és eredmények pontossága (valódiság és precizitás). 2. rész: Alapmódszer egy mértékadó mérési módszer megismételhetőségének és reprodukálhatóságának meghatározására (angol nyelvű)
MSZ EN 13 286-1:2022	Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek. 1. rész: A laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és a víztartalom vizsgálati módszerei. Bevezetés, általános követelmények és mintavétel (angol nyelvű)
MSZ EN 13 286-1:2003	Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek. 1. rész: A laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és a víztartalom vizsgálati módszerei. Bevezetés, általános követelmények és mintavétel (visszavonva: 2022.3.1.)
MSZ EN 13 286-2:2011	Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek. 2. rész: A laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és a víztartalom meghatározási módszerei. Proctor-tömörítés
MSZ 14 043-7:1981	Talajmechanikai vizsgálatok. A talajok tömöríthetőségének és tömörségének vizsgálata
MSZ 15 320:2004	Földművek tömörségének meghatározása radioizotópos módszerrel
MSZ 15 846:2015	Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel
MSZ EN ISO 17 892-1:2014/A1:2022	Geotechnikai feltárások és vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 1. rész: A víztartalom meghatározása. 1. módosítás (angol nyelvű)
MSZ EN ISO 17 892-2:2015	Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 2. rész: A térfogatsűrűség meghatározása (angol nyelvű)

CEN ISO/TS 22 476-13	Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 13: Plate loading test
BS CWA 15 846:2008	Measuring Method for Dynamic Compactness and Bearing Capacity with SP-LFWD (Small-plate Light Falling Weight Deflectometer)
ASTM E 2835-11	Standard Test method for Measuring Deflections using Portable Impulse Plate Load Test Device
TP BF StB (1997) Teil B. 8.3	Technischen Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau. Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgerät.
e-UT 06.02.11:2022	Közutak létesítésének általános geotechnikai szabályai
e-UT 09.02.11:2019	Radiometriás tömörségmérés.

Jogszabályi véleményezésre (2022. november 8.)