

e-UT 09.02.36/M1:202x

Jogszabályi véleményezésre 2026. június 24.

**DINAMIKUS TÖMÖRSÉG-
ÉS TEHERBÍRÁSMÉRÉS
KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS BERENDEZÉssel
(Az 1. sz. módosítással egységes szerkezetbe foglalva)**

Jogszabályi véleményezésre (2026. június 24.)



e-UT 09.02.36:202x számú,
a DINAMIKUS TÖMÖRSÉG- ÉS TEHERBÍRÁSMÉRÉS
KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS BERENDEZÉSEL című, ütügyi műszaki előírás
1. sz. módosítását

az Ütügyi Műszaki Szabályozási Bizottság a **xxx/2026. (xx. xx.) ÚB számú határozattal** elfogadta. Jelen dokumentum a módosításokkal egységes szerkezetbe foglalt ütügyi műszaki előírás.

Az 1. sz. módosítással egységes szerkezetbe foglalt ütügyi műszaki előírás **2026. xxx 15-én** lép hatályba, ezzel egyidejűleg az **e-UT 09.02.36:2023 Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés könnyű ejtősúlyos berendezéssel** ütügyi műszaki előírás hatályát veszti.

A módosítás hatálybalépését megelőzően a közút építtetője vagy kezelője által megkötött szerződések esetében a módosítás előtt hatályos változat **2031. január 15-ig** alkalmazható. Az alkalmazás feltétele a közút építtetőjének vagy kezelőjének erre irányuló nyilatkozata, amit a vonatkozó dokumentumokban meg kell hivatkozni.

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) 136/2023. (X. 25.) számú határozattal** a Koordináló szerv által előkészített,

DINAMIKUS TÖMÖRSÉG- ÉS TEHERBÍRÁSMÉRÉS
KÖNNYŰ EJTŐSÚLYOS BERENDEZÉSEL című,
e-UT 09.02.36 számú

ütügyi műszaki előírást elfogadta.

Ez az ütügyi műszaki előírás **2024. január 15-én** lép hatályba.

Az *e-UT 09.02.36:2023 Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés könnyű ejtősúlyos berendezéssel* című ütügyi műszaki előírás hatálybalépésével egyidejűleg az

- *e-UT 09.02.32:1998 Teherbírásmérés könnyű ejtősúlyos berendezéssel és az*
- *e-UT 09.02.35:2005 Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel*

című ütügyi műszaki előírások hatályukat veszti azzal, hogy az e-UT 09.02.36:2023 számú ütügyi műszaki előírás hatálybalépését megelőzően a közút építtetője vagy kezelője által megkötött szerződések esetében 2029. január 15-ig alkalmazhatóak. Az alkalmazás feltétele a közút építtetőjének 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	5
2. SZAKKIFEJEZÉSEK ÉS MEGHATÁROZÁSUK	7
3. VIZSGÁLATI MÓDSZER	11
4. A VIZSGÁLAT ESZKÖZEI.....	12
4.1. Mérőkészülék	12
4.1.1. Mechanikus terhelőberendezés	12
4.1.2. Terhelőtárcsa	13
4.1.3. Vezérlő-adattároló egység	13
4.2. Mintavételi eszközök	13
4.3. Anyagok	13
4.4. A mérőkészülék üzemmódjai.....	13
4.4.1. Mérő üzemmód	14
4.4.2. Teszt- és kalibrációs üzemmód (SP-LFWD és BP-LFWD).....	14
5. VIZSGÁLATOK.....	15
5.1. A mérés helyének előkészítése	15
5.2. A mérőeszköz előkészítése méréshez	15
5.2.1. A műszer felkészítése és ellenőrzése	15
5.2.2. Dátumbeállítás	15
5.3. A dinamikus teherbírásmérés végrehajtása.....	16
5.3.1. Mérés előkészítése általános esetben (SP-LFWD és BP-LFWD)	16
5.3.2. Ejtési művelet (SP-LFWD és BP-LFWD)	16
5.3.3. Helyszíni mérés különleges körülmények között (SP-LFWD és BP-LFWD).....	17
5.4. Az SP-LFWD dinamikus tömörség- és teherbírásmérés végrehajtása.....	17
5.4.1. Általános eset.....	17
5.4.2. A mérés műveletei.....	17
5.4.3. A mérés tömörítési munkájának ellenőrzése	18
6. MÉRÉSI EREDMÉNYEK	19
6.1. Behajlás, süllyedési amplitúdó	19
6.2. Dinamikus teherbírási modulus	19
6.2.1. Összehasonlító dinamikus modulus mérése.....	20
6.2.2. Egyenértékű dinamikus modulus	20
6.3. Dinamikus tömörségi fok (SP-LFWD).....	20
6.3.1. Összehasonlító tömörségi fok mérése.....	22
6.3.2. Egyszerűsített tömörségmérés	22
7. VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV	23
7.1. Tartalmi követelmények	23
MELLÉKLET	24
M1. A könnyű ejtősúlyos mérőberendezések kalibrációja.....	24
M1.1. Kalibrálás	24
M1.2. A mérőberendezésre megfogalmazott követelmények:	24

M1.3. A mérési módszer megbízhatósága, pontossága (SP-LFWD és BP-LFWD).....	25
FÜGGELÉK (TÁJÉKOZTATÁS)	26
F1. A számításokban alkalmazott kifejezések	26
F2. Műszaki követelmények (SP-LFWD és BP-LFWD).....	26
F3. Ajánlások a műszerkialakításra, üzemmódra, kiegészítőkre és tartozékokra.....	27
F3.1. A könnyű ejtősúlyos berendezés és a mérések jellemzői	27
F3.2. Nyomtató	28
F3.3. Tartozékok	29
F4. A nedvességkorrekciós tényező számítása és alkalmazása SP-LFWD esetén	29
F4.1. Példa.....	30
F5. Számítások bemutatása.....	31
F5.1. Kistárcsás tömörség- és teherbírásmérés SP-LFWD mérőeszközzel	31
F5.2. E_{vd} teherbírásmérés BP-LFWD mérőeszközzel	34
F6. Átszámítások – összefüggések	36
F6.1. Az SP-LFWD átszámításai és összefüggései.....	36
F6.2. Az BP-LFWD átszámításai és összefüggései.....	41
F7. Kalibrálás	42
A szövegben említett és kapcsolódó magyar nemzeti szabványok, üzemi műszaki előírások és jogszabályok	44
Hivatkozások.....	46

1. AZ ALKALMAZÁS FELTÉTELEI

1.1. Az előírás tárgya

A földmű és az 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 velük a mérések, akár szűk, gépekkel nehezen hozzáférhető helyeken is.

A nagytárcsás dinamikus teherbírásmérés 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. Megjelent az alakváltozás mérésén alapuló kistárcsás tömörségmérési módszer, ezzel a dinamikus módszerrel a tömörségi fok is meghatározhatóvá vált a teherbírás mérése mellett.

Jelen előírás összevonta a dinamikus nagytárcsás 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 tárcsaméretében és az alatti terhelésében eltérő dinamikus mérést.

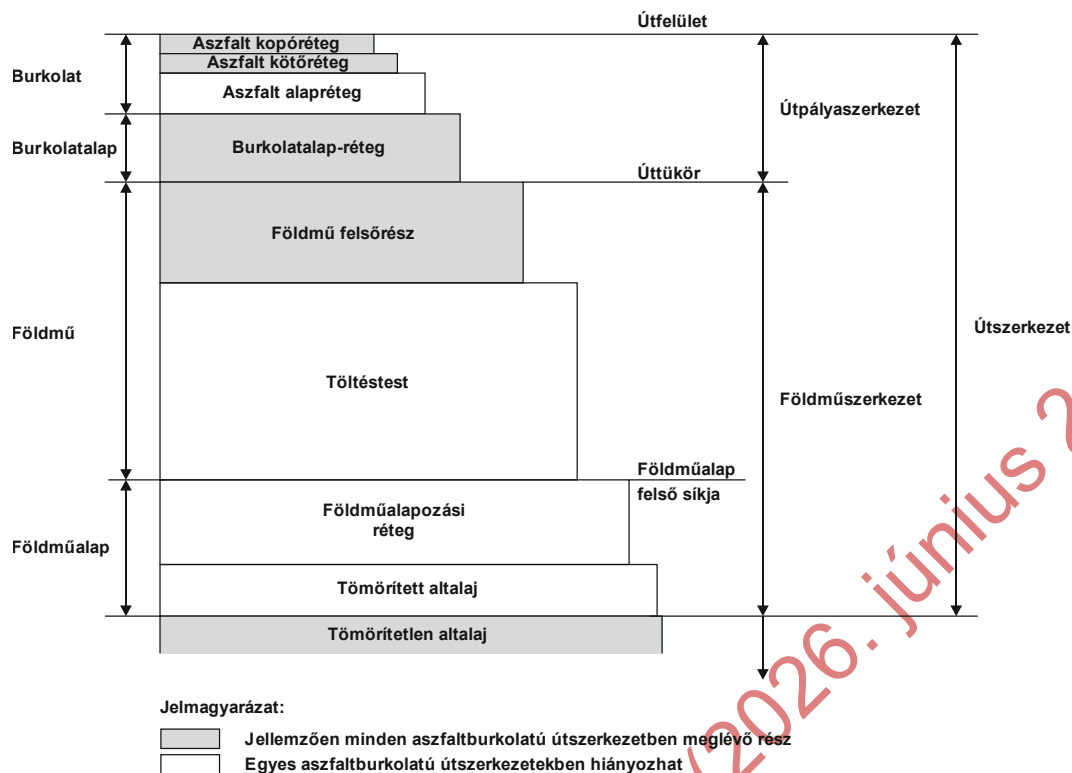
Jelen előírás tartalmazza a mérési eljárásra, a kalibrációra megfogalmazott szakmai szempontokat, és lehetővé teszi a földművek dinamikus teherbírásának és dinamikus tömörségének megmérését építési minősítési jellemző meghatározása céljából.

1.2. Az alkalmazás területei

A dinamikus mérési módszerek alkalmazhatóságát az e-UT 06.02.11 Közutak létesítésének általános geotechnikai szabályai útügyi műszaki előírás 4.5. pontja szabályozza.

A nagytárcsás és a kistárcsás dinamikus vizsgálati módszer alkalmazása és szabályozása fontos a kivitelezésben alkalmazandó teherbírás- és tömörségméréseknél a megfelelő önellenőrzés és minősítés eléréséhez a mélyépítés területén, valamint a magasépítés alapozási munkáinál és közműbekötéseinél.

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



1. ábra – Aszfaltburkolatú 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. SZAKKIFEJEZÉSEK ÉS MEGHATÁROZÁSUK

2.1. Állapotjellemző faktor

Az ÁJF az SP-LFWD műszerrel mért teherbírást és a tömörséget egyetlen számmal jelöli, amely 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. Számítása a nedvességtartalmat is tartalmazó SP-LFWD teherbírásból (E_d) és dinamikus tömörségi fokból (T_{rd} , %) történik.

Jele: ÁJF

2.2. Behajlás

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

Más néven: süllyedési amplitúdó

2.3. Dinamikus teherbírási modulus

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

Jele: SP-LFWD mérésnél $E_{vd,SP}$, röviden: E_d , illetve $E_{d,vég}$; BP-LFWD mérésnél $E_{vd,BP}$, röviden: 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, amely az adott nedvességtartalmú réteg relatív tömörségi fokát az optimális víztartalom mellett létrehozható legnagyobb tömörség alapján számítja. 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, amelynél a módosított Proctor-tömörítési munkának megfelelő munkát 18 ütéses 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 (T_{rd} , %) a helyszíni relatív tömörségi fok és a nedvességkorrekciós tényező szorzata.

2.6. Ejtés

A könnyűejtősúlyos 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, ami egy lehetséges jelölési rendszert mutat be, azonban ez készültípustól függően változhat.

Az első ejtés süllyedési amplitúdója például s_{01} jelöléssel jellemezhető.

Mértékegysége: mm

2.7. Helyszíni relatív tömörségi fok

Adott mérési helyen, adott anyagon, adott víztartalom mellett, SP-LFWD műszerrel végrehajtott vizsgálati módszerrel, azaz előírt tömörítési munkával elérhető legnagyobb térfogati tömörség viszonya a mérést megelőző térfogati tömörségi állapothoz képest, amely az ütések miatt elszenvedett tömörödési-alakváltozási görbéből határozható meg.

Jele: T_{rE}

Mértékegysége: %

2.8. Kistárcsás dinamikus teherbírás mérés

A dinamikus teherbírás modulus meghatározására kialakított helyszíni vizsgálati eljárás, amely ejtősúlyos terhelési módszerrel létrehozott ütésekkel, gyors terheléssel, jelen előírás szerinti $d = 163$ milliméteres kistárcsás mérőberendezéssel történik. A dinamikus teherbírást 0,35 MPa tárcsa alatti terhelés hatására létrejött süllyedési amplitúdók második sorozatából határozza meg. A kistárcsás dinamikus teherbírás modulus ($E_{d,vég}$, E_d , MPa, N/mm² vagy MN/m²) meghatározására alkalmas mérés.

Jele: SP-LFWD

2.9. Könnyű ejtősúlyos kézi mérőberendezés

A dinamikus tömörségi fok és/vagy a dinamikus teherbírás modulus (T_{rd} %, E_{vd} , E_d) meghatározására alkalmas kistárcsás, valamint nagytárcsás kézi berendezés, amelynél a 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 méréséből 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 vizsgálata

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

Megjegyzés: saját ellenőrzés

2.13. Mérőhely

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

2.14. Nagytárcsás dinamikus teherbírásmérés

A nagytárcsás dinamikus teherbírási modulus meghatározására szolgáló vizsgálati eljárás. A mérés elve, hogy a $d = 300$ milliméteres átmérőjű tárcsára ismert nagyságú tömeget ejtenek rugók közvetítésével, adott magasságból. Méri a tárcsa középpontjának függőleges elmozdulását, ami a felület deformációját jellemzi.

A teherbírási 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}

Jele: BP-LFWD

Mértékegysége: MPa, N/mm² vagy MN/m²

2.15. Nedvességkorrekciós tényező

Dinamikus tömörségméréshez szükséges, 1,00-nél kisebb vagy azzal egyenlő dimenzió nélküli szám, a módosított Proctor-vizsgálattal meghatározott sűrűséggörbén a mérés helyén mért természetes terepi 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 grafikusán megadható.

Jele: T_{rw}

2.16. Sorozat

A sorozat a könnyű ejtősúlyos mérőberendezés ejtősúlyának három egymást követő ejtése.

A teherbírásmérésnél az első sorozat csak előterhelésre szolgál (adatrögzítés nincs), a második sorozat képezi az éles mérést, amelynek eredményeit a mérőműszer egyenként és átlagolva is kijelzi.

A tömörségmérés esetén nincsen előterhelés, a mérésbe minden ejtés értéke számításba vételre kerül.

A sorozat süllyedési amplitúdóinak átlaga: $s_{iá}$, 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) szabvány 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. 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 kiszámítása a dinamikus tömörségmérés teljes sorozatából lehetséges, a 18 ejtés utolsó ötös és utolsó hármas mozgóátlagából képzett, $n = 24$ ejtéshez tartozó virtuális behajlás, a számított alakváltozásból. A helyszíni reziliens modulus számításakor a módszer azt feltételezi, hogy maradó 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.

Jele: M_r

Mértékegysége: 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, a dinamikus terhelési nyomás előírt értékéhez az adott rugóállandó és ejtő súly tömegének tűréshatárok közötti megválasztásával a gyártónak kell megválasztania.

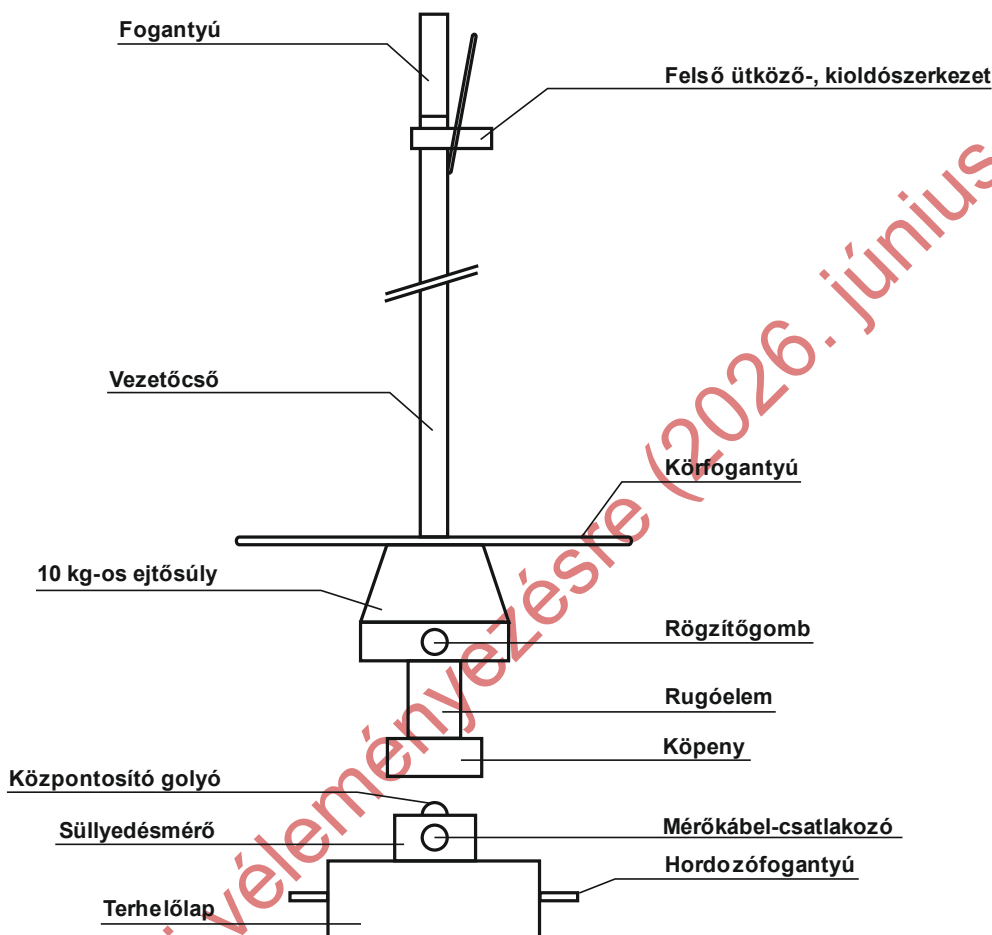
A vizsgálati módszerek egyértelmű azonosíthatósága érdekében a vonatkozó dokumentumokban – mint mérési lap, vizsgálati jegyzőkönyv vagy egyéb minőségirányítási dokumentációk – a BP-LFWD vagy az SP-LFWD megnevezéseket szükséges feltüntetni.

Jogszabályi véleményezésre (2026. június 24.)

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 ejtősúlyból és vezetőrúdból áll. A berendezés a tárcsamérettől függő, előírt nagyságú dinamikus terhelés (p_{din}) előállítására szolgál, ezért úgy kell kialakítani, hogy méréskor az ejtősúly 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 ejtősúly esésének központosságát a vezetőrúd biztosítja. A kalibrált ejtési magasságot, az ejtősúly felett kialakított felső ütközőn elhelyezett rögzítő/kioldó szerkezetet a rögzítőbilincs helyzetével kell biztosítani. Az ejtősúly kézi emeléséhez annak átmérőjét meghaladó körfogantyúval, a szállítás során történő rögzítéséhez pedig szállításvédelemmel kell ellátni.

A terhelőberendezés műszaki kialakításának (ejtősúly 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 terhelés időtartama 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 mérés adatait folyamatosan, automatikusan regisztrálja, rendelkezzen a méréshez szükséges kezelőgombokkal, üzemmódkapcsolókkal, kijelzővel és adattárolóval, nyomtató- és a kiolvasáshoz szükséges számítógépes csatlakozással. A műszer kijelzőjén méréskor 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 terhelőberendezés, 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),
- lehúzólécz (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: alakváltozások: s_{ij} mm, min 0,01 mm pontossággal,
- süllyedési amplitúdók átlagértéke: sorozatok átlagai, $s_{iá}$ mm, min 0,01 mm pontossággal,
- dinamikus modulus (SP-LFWD): E_d , MPa, N/mm² vagy MN/m², min 0,1 N/mm² pontossággal,
- dinamikus modulus (BP-LFWD): E_{vd} , MPa, N/mm² vagy MN/m², min 0,1 N/mm² pontossággal.

A mérésnél lehetővé kell tenni a terhelési görbék egyezőségének ellenőrizhetőségét.

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. pont 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 tömörségi fok meghatározásához. Tömörségi 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 tömörségi fok és a dinamikus tömörségi fok, legalább az alábbi mért értékek kijelzésével. Egyszerűsített tömörségmérésnél 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:

- egyedi értékek: alakváltozás, s_{01} , mm, min 0,01 mm pontossággal,
- süllyedési amplitúdók átlagértékei: $s_{0á}, s_{1á}, s_{2á}, s_{3á}, s_{4á}, s_{5á}$ mm, min 0,01 mm pontossággal,
- helyszíni relatív tömörségi fok: T_{rE} , %, min 0,1% pontossággal,
- nedvességkorrekciós tényező: T_{rwi} , min 0,01 pontossággal (választott érték),
- dinamikus tömörségi fok: T_{rd} , min 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. Tesztüzemmód nincs minden gyártmány esetében, a kalibrációs üzemmód pedig általában nem érhető el a felhasználó számára, ezért ez a pont tájékoztató jellegű. 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-vizsgálat, szemmegoszlás, víztartalom). Előzetes értékként a gyártói terméktanúsítvány (Proctor-vizsgálat 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.

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 és ellenőrzése

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

A mérőkészüléken ekkor kell elvégezni az ellenőrző mérést az M1.3. melléklet 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. Dátumbeállítás

A mérés előtt meg kell győződni a dátum helyességéről. Erről az M1.3. melléklet 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 előkészítése 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 ejtősúly ráállítása 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 hozzákapsoláskor mindkét kezünket egyszerre használjuk úgy, hogy a rögzítőelem bilincisére felülről feltámasztjuk két hüvelykujjunkat. Az ejtősúlyt közvetlenül az ütközőig kell felemelni, 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, visszapatánása után a körfogantyút elkapva és megemelve ismételtén a rögzítőberendezésbe fogni.

5.3.2.4. Az első sorozat (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 az SP-LFWD tömörségmérése esetén igen.

5.3.2.6. A vezetőrudat közel függőleges helyzetben a terhelőtárcsára merőlegesen, finoman rá kell nyomni és az ejtősúlyt ki kell oldani, visszapatánása 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 (s_{11}) legyen jól leolvasható.

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 (s_{11} , s_{12} , s_{13}) és ezek átlaga ($s_{1\bar{a}}$) is leolvasható kell legyen.

Amennyiben az egyes süllyedési amplitúdó-értékek jelentősen eltérnek az átlagtól, a mérést meg kell ismételni. Ha a mérési értékeket 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 ejtősúlyt 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 ütődjön 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 szabad folytatni. A hibát okozhatja a terhelőtárcsa, vagy az ejtősúly 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 (M1.1. és M1.2. melléklet) elvégezni.

1. táblázat – Az egyes mérések során alkalmazott ejtések száma

BP-LFWD nagytárcsás és SP-LFWD kistárcsás teherbírásmérés	SP-LFWD kistárcsás 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 munkaárokban, 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 szabad, ahol a biztonságos mérési feltételek biztosítottak. Lejtős területen a vizsgálat végzésénél gondolni kell a terhelőtárcsa elcsúszására, elmozdulására, mérni csak a mérőhely közel vízszintes kialakításával szabad.

5.4. Az 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 teherbírásméréshez szükséges második sorozat után további négy sorozat szükséges három-három ejtéssel. Így 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 legalább 9, legfeljebb 18 ejtés, melyet a mérőeszköz ad meg, a tömörödési görbe végmeredekségének függvényében.

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

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

5.4.3. A mérés tömörítési munkájának ellenőrzése

A mérés pontosságának érdekében a 28 centiméternél vastagabb vagy laza anyagréteg, vagy nem réteges terítés esetén, természetes településű anyagok vizsgálatakor, illetve alacsony tömörségifoktartományban ($D_m \geq 3$ 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 $T_{rE} < 97\%$, akkor a korábbi mérési eredményt korrigálni kell; ha nagyobb vagy egyenlő, akkor a további mérések korrekció alkalmazása nélkül elfogadhatók,
- a tömörítési munka miatti korrekció:

$$CWC = \frac{T_{rE2, \%}}{100}; \quad \text{pl. } CWC = \frac{96}{100} = 0,96$$

A továbbiakban mindaddig ezt a korrekciót kell alkalmazni, amíg a mérési sorozat tart, azonos helyszínen, 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 tömörítési 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 képezni. 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 teherbírési modulus

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

- BP-LFWD mérésnél: $E_{vd} = \frac{22,5}{d}$,
- SP-LFWD mérésnél: $E_d = \frac{c(1-\mu^2)p_{din}r}{s_{1\bar{a}}}$,

ahol:

- c – Boussinesq-féle tárcsaszorító ($c = \frac{\pi}{2}$ merev, $c = 2$ hajlékony, vagy más választott érték),
- $s_{1\bar{a}}$ (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 22476-13 szabvány 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,

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

ahol:

- m – az ejtősúly tömege, kg,
- g – nehézségi gyorsulás az adott földrajzi szélességi fokon, m/s²,
- h – ejtési magasság, m,
- K – rugóállandó, N/m.

Különleges dinamikus teherbírési 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 $s_{5\bar{a}}$ átlagértékéből számítható.

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

6.2.1. Összehasonlító dinamikus modulus mérése

Összehasonlító dinamikusmodulus-mérés végezhető abban az esetben, ha két vagy több laboratórium összehasonlító mérést végez, vagy statikus tárcsás teherbírásmérés eredményével (E_2) hasonlítjuk össze a dinamikus teherbírasi modulus.

Ekkor egy méteren belül mért, legalább három dinamikus modulusból matematikai átlagot kell képezni, és a jellemző dinamikus modulus értékét egész számra kerekítve kell megadni. Ha ezek egyedi eltérése az átlagtól nagyobb, mint az átlagérték 20 százaléka, akkor új mérési helyszínen szükséges a mérések elvégzése.

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 mérés nem állítható be,

k_c – tárcsamodellszorzó átszámítási szorzója, ha az a mérés 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. A teljes értelmezhetőség érdekében az eredmény mellett meg kell adni, vagy fel kell tüntetni a tárcsaátmérőt (pl. $d = 163$ mm) és az alkalmazott dinamikus terhelést (pl. $p_{din} = 0,35$ MPa).

6.3. 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 mérés 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 korrigált (hullámszó alakváltozási sort korrigáló) 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 maradó 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 d_i ejtési számmal súlyozott átlaga, mm:

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

ahol:

$\sum \Delta s_i = \Delta s_1 + \Delta s_2 + \dots + \Delta s_i$ – 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 ejtések 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-tömörségi fokhoz tartozó alakváltozásként értelmezünk. Ez a dinamikus tömörségmérés 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 13286-2 (vagy az MSZ 14043-7) szabvány szerinti módosított Proctor-vizsgálatból kell meghatározni és ρ_{di} értékét a Proctor-vizsgálati görbéről kell leolvasni, a mérési hely anyagmintájának MSZ EN ISO 17892-1 szabvány szerinti víztartalmának (w_t) ismeretében, amelyet a helyszínen, vagy laboratóriumban kell meghatározni. Nagyobb munkánál, vagy nagy felületen alkalmazott anyag típus (pl. védőréteg) esetén a T_{rw} szorzó előre, a víztartalomtól függően táblázatosan elkészíthető és a helyszínen azonnal alkalmazható (lásd F4. függelék).

Ha a dinamikus tömörség mérésekor a D_m deformációs mutató értéke >3 és ugyanakkor a mért dinamikus modulus, $E_d < 10$ 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!

6.3.1. Összehasonlító tömörségi fok mérése

Összehasonlító tömörségi fok mérése végezhető abban az esetben, ha két vagy több laboratórium összehasonlító mérést végez, vagy egyéb tömörségfok-mérés (pl.: radiometriás, kiszűrőhengeres, tárcsás teherbírásmérés tömörségi tényezője) eredményével hasonlítjuk össze a dinamikus tömörségi fok értékét.

Ekkor egy méteren belül mért, legalább három dinamikus tömörségi fok mérésekből matematikai átlagot kell képezni, és a jellemző tömörségi fok értékét 0,5 számra kerekítve kell megadni. Ha a számításba bevont dinamikus tömörségi fok eltérése az átlagtól nagyobb, mint 3%, akkor az átlag számításába újabb mérések bevonása is szükséges. Ekkor az így kapott mérések átlaga lesz a tömörségi fok, az eltérés vizsgálata nélkül.

6.3.2. Egyszerűsített tömörségmérés

A réteg gépi tömörítésétől függően, de jellemzően az esetek jelentős részében a mért terített réteg a 18 ejtés előtt betömörödik, 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 görbe értékénél legfeljebb egy relatív tömörség százalékkal 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 (SP-LFWD vagy BP-LFWD),
- a mérés helyét, a vizsgált földműszerkezetet és réteget,
- a mérés átlagadatait,
- a vizsgálati eredményt,
- a dinamikus tömörségmérésnél a kapcsolódó dokumentumokat (Proctor-sűrűségek, víztartalom),
- a vizsgálatot végző személy nevét,
- a vizsgálati jegyzőkönyv műszaki tartalmáért felelős személy nevét, a kiadás dátumát.

Tartalmazhatja továbbá a munkamenethez szükségesnek ítélt adatokat, például:

- a mérőberendezés gyári számát,
- az utolsó kalibrálás időpontját,
- a mérés egyéb egyedi adatait,
- a mérés sorszámát,
- az eredményt befolyásoló időjárási jellemzőket és
- egyéb körülményeket,
- munkaszámot,
- mérőszemélyek kódját,
- lapszámot,
- logót,
- címet,
- elérhetőséget (pl.: telefon, email)
- ,
- .

MELLÉKLET

M1. A könnyű ejtősúlyos mérőberendezések kalibrációja

M1.1. Kalibrálás

A mérőműszert legalább két évente egyszer kalibráltatni kell. Kalibrálás előtt a mérőeszközt felül kell vizsgáltatni, a szükséges javításokat elvégezni, és/vagy a szükséges alkatrészeket ki kell cserélni. A kalibrációról jegyzőkönyvet és ennek alapján bizonyítványt kell készíteni.

A gyártó által átadott készüléket gyári kalibrációval kell ellátni.

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

A mérőeszközök kalibrálásáról az F7. függelékben adunk tájékoztatást.

M1.2. A mérőberendezésre megfogalmazott követelmények:

M1.2.1. Az alakváltozás-mérés kalibrálása

A süllyedési amplitúdók egyezését legalább a

- 0,40–1,00 mm közötti és az
- 1,01–1,80 mm közötti tartományban

kell vizsgálni.

Az egyes tartományokat legalább 18 méréssel kell vizsgálni, melyből a legnagyobb és legkisebb értéket el kell hagyni mind a kalibráló pad, mind a műszer méréseiből. A maradék legalább 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.

M1.2.2. A terhelés kalibrálása

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

- a 0,40–1,00 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 mérési bizonytalanság számításához a szórás $\sigma = \sqrt{\sigma_F^2 + \sigma_S^2}$ kifejezésből kell számítani, ahol σ_S alatt az 1,01–1,80 mm-es alakváltozási tartomány szórását kell érteni.

M1.3. A mérési módszer megbízhatósága, pontossága (SP-LFWD és BP-LFWD)

A megbízhatóság és pontosság megállapításához az MSZ ISO 5725-2 szabványban definiált ismételtelhetőségi 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 melletti

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

M1.4. Saját ellenőrzés (SP-LFWD és BP-LFWD)

A felhasználó által végzett saját ellenőrzés a napi mérési feladat előtt kell megtörténjen, hogy a készülék megfelelő működőképességéről a felhasználó meggyőződhesen. Amennyiben rendelkezéssel tapasztalunk, akkor az ellenőrzést az M1.4.1. és M1.4.2. pontok alapján kell elvégezni.

M1.4.1. Ellenőrzés (BP-LFWD esetén)

A mérőberendezést az 5.2. pontban leírtak szerint összeállítva, három előterhelő ejtés után három mérőterhelést kell elvégezni. Ha a mérőterhelés során a kijelzőn ejtést ismétlést kérő felirat jelenik meg, akkor mérési hiba áll fenn. Amennyiben az ismételt mérés során újból megjelenik ez a kijelzés, akkor tisztázni kell, hogy az ok készülékhiba, vagy a vizsgált szerkezet hibája (pl.: alacsony tömörségből adódó teherbírási elégtelenség). A készülékhibát a helyszínen az alkalmassági vizsgálattal lehet eldönteni.

Amennyiben készülékhiba áll fenn, a mérést nem szabad megkezdeni.

Hibátlan mérőüzem esetén meg kell vizsgálni az egyedi értékek eltérését. Abban az esetben, ha ezek különbsége nem haladja meg az előírt értéket, illetve a három ejtés grafikus rajzolata közel fedi egymást, a mérés megkezdhető.

M1.4.2. 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.*

FÜGGELÉK (TÁJÉKOZTATÁS)

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 kiszámítani.

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 könnyű ejtősúlyos berendezés és a mérések jellemzői

A könnyű ejtősúlyos 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, izotróp 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, amely 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 terhelőerő 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 víztartalom (w_t), 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 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. A BP-LFWD dinamikus teherbírásmérés esetén nyomtatott információk

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

F3.2.2. Az SP-LFWD kistárcsás dinamikus teherbírási- és tömörségmérés esetén nyomtatott információk

Teherbírási:

- tárcsa alatti terhelés: p , MPa vagy MN/m^2 ,
- út-idő grafikonok az s_{11} , s_{12} és s_{13} mérésénél,
- 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: $s_{1\bar{a}}$, mm és $v_{1\bar{a}}$, mm/s
- $\frac{s_{1\bar{a}}}{v_{1\bar{a}}}$ 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: nedvességkorrekciós tényező értéke, T_{rw} ,
- eredmény: dinamikus tömörségi fok, T_{rd} , %.

F3.2.3. Egyéb általános adatok

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 nedvességkorrekciós tényező számítása és alkalmazása SP-LFWD esetén

Az SP-LFWD dinamikus tömörségmérés mérési eredménye a helyszíni relatív tömörség (T_{rE} , %), amely 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 nedvességkorrekciós tényező ismerete.

A dinamikus tömörségi fok számításához a mért helyszíni relatív tömörséget korrigálni kell, attól függően, hogy a helyszíni víztartalom az optimálistól (w_{opt}) 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 nedvességkorrekciós tényezőnek:

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

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

A Proctor-vizsgálat elvégzése és a telítettségi vonalak számítása tehát a dinamikus tömörségvizsgálathoz a $T_{rwi} - w_i$ nedvességkorrekciós görbe, vagy táblázat megadásához is szükséges. 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 13286-2 (vagy MSZ 14043-7) szabvány szerinti alkalmassági vizsgálattal, négy-öt különböző víztartalommal történjen, az $S = 0,95$ telítési vonalig terjedően egyenletesen elosztott Δw víztartalomlépcsőkkel. 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 $\Delta w = 1$ százalékos 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 hézag 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 $w_{opt} - 3\%$ 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 $w_{\text{opt}} + 4\%$, 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, a talaj optimális nedvességtartalmának fontosságára és a hengerlési munkával elérhető, könnyen ellenőrizhető tömöríthetőségre.

F5. Számítások bemutatása

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

Az ajánlott számítógépes feldolgozás megértésére egy példán mutatunk be egy számításmintát a dinamikus tömörség- és teherbírásmérésére. A mérésből származó, letöltött adatok a 3. ábrában találhatóak:

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

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

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

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. Nedvességkorrekciós 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, 0, 2 lesz a rendezett adatsor.

Mivel a Proctor-vizsgálat $G_d = \text{constans}$ modelljéből számított Φ lineáris együttható 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 praktikusán 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 $T_{rE2} = 96\%$ lett (a tárcsa elmozdítása nélkül!), ekkor $CWC = 96/100 = 0,96$,

$$T_{rwK} = CWC \cdot T_{rw} = 0,96 \cdot 0,98 = 0,94$$

$$T_{rd} = T_{rE} \cdot T_{rwK} = 90,5 \cdot 0,94 = 85,1\%$$

- 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. Összehasonlító tömörségi fok

Számításához legalább három mérési eredményből számítandó az átlag.

Minősítő mérés esetén egy méteren belül mért legalább három mérésből számítandó az összehasonlító tömörségi fok:

- a) példa: $T_{rd,1} = 88,7\%$, $T_{rd,2} = 90,2\%$, $T_{rd,3} = 91,2\%$, átlaguk $90,0\%$, eltérésük $90,03-88,7 = 1,3\% < 3T_{rd} \%$ megengedett eltérés, tehát a két mérés az átlaghoz elegendő. Az eredményt 0,5 számra kerekítve kell megadni, azaz $T_{rdM} = 90,0\%$,
- b) példa: $T_{rd,1} = 89,0\%$, $T_{rd,2} = 95,1\%$, $T_{rd,3} = 92,2\%$, átlaguk $92,1\%$, az eltérés: $92,1-89,0 = 3,1\% > 3\%$, megengedett, emiatt újabb mérés szükséges. Ha ez pl. $90,2\%$, a négy mérés átlaga $91,6\%$ lesz, így az eltérés $91,6-89,0 = 2,6\% < 3\%$, megfelelő. A mértékadó eredményt 0,5 számra kerekítve kell megadni, tehát $T_{rdM} = 92,0\%$.

F5.2. E_{vd} teherbírás mérés BP-LFWD mérőeszközzel

Az ajánlott számítógépes feldolgozás megértésére egy példán bemutatjuk a számításmintát a nagytárcsás dinamikus teherbírás mérésére. A bemutatott, tárolt alakváltozási adatok a milliméterben mért érték százszorosai.

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:

- merev modell: $c = \frac{\pi}{2}$,
- hajlékony modell: $c = 2$,
- jellemzően: 2;
- alkalmazott Poisson-tényező (μ), jellemzően 0,5,
- nedvességkorrekciós tényező T_{rw} , nem figyelembe vett érték, bevitt értéke 1,0,
- dinamikus terhelőerő, N ,
- tárcsa sugara, $r = \frac{D}{2} = 150 \text{ mm}$,

$s_{01} - s_{53}$ – a mérésből származó süllyedési amplitúdók (itt 100 mm dimenzióban),

$v_{01} - v_{536}$ – a mérésből származó tárcsasüllyedések sebessége, mm/s.

A BP-LFWD nagytárcsás dinamikus teherbírasi modulus számítása:

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

ahol:

$C\mu - 22,5$,

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

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

A – a tárcsa felülete (tárolt alapadat),

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

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

ahol:

m – az ejtő súly tömege (tárolt alapadat),

h – az ejtési magasság (tárolt alapadat),

g – nehézségi gyorsulás a mérés 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	=	BP-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:

$$\frac{(s_{11}+s_{12}+s_{13})/100}{3} = \frac{(53+49+47)/100}{3} = 0,50 \text{ mm}$$

A tárcsasebesség átlaga a második ejtési sorozatban:

$$\frac{143+135+136}{3} = 138 \text{ m/s}$$

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

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

F6. Átszámítások – összefüggések

F6.1. Az SP-LFWD átszámításai és összefüggései

(Csak irodalmi hivatkozással együtt szabad ezeket használni!)

A dinamikus tömörség- és teherbírás mérés 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: $E_d = 86,8 \text{ MPa}$ esetén $E_2 = 0,94 \cdot 86,8 = 81,6 \text{ MPa}$

F6.1.2. CBR% értéke

E_2 -ből számítható:

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

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

F6.1.3. A dinamikus ágyazási együttható értéke²

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

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

F6.1.4. Várható megsüllyedés³

25 centiméteres rétegenként:

$$s_{25,5} = 2,1 \cdot \Delta T_{rd}, \% \left(\frac{\text{mm}}{25\text{cm}}\right)$$

Példa: $\Delta T_{rd} = 10\%$ esetén a fenti összefüggés alapján a várható süllyedés értéke 25 cm vastag réteg esetén $2,1 \cdot 10 = 21 \text{ mm}$, azaz 8,4 cm 1 m vastag visszatöltésnél.

F6.1.5. E_{vib} értéke⁴

CCC módszer, BOMAG:

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

Példa: ha $E_d = 86,8 \text{ MPa}$, akkor $E_{vib} = 100,4 \text{ MPa}$

1) MSZ 15846 Dinamikus tömörség- és teherbírás mérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel. 2. kiadás. 2015. nov. C.6.1. pont. ICS93.080.10

2) Subert I.: CWA15846 Dinamikus tömörségi fok elmélete és módosításának háttere. Útügyi Lapok, 2015. dec. 15.

3) Imre, E., Garai, J., Subert, I., Tompai, Z.: 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, 2017. Seoul

4) Petkovsek, A.: Report on usage of Andreas dynamic load bearing capacity of Ljubljana Katedra za mehaniko tal z laboratorijem. Univerza v Ljubljani Faculteta za gradbenistvo in geodezijo. 2008. Report, p.:10

F6.1.6. E_{vd} értéke⁵

BP-LFWD nagytárcsás:

 $E_{vd} = 0,42 E_{dvég} (R^2 = 0,91)$, vagy $E_{vd} = 0,69 E_d (R^2 = 0,90)$ közül a kisebbik.*Példa:* $E_{vd} = 0,42 E_{dvég} = 0,42 \cdot 131,6 = 55,3 \text{ MPa}$; $E_{vd} = 0,69 \cdot E_d = 0,69 \cdot 86,8 = 59,9 \text{ MPa}$ A kisebb: $E_{vd} = 55,3 \text{ MPa}$ F6.1.7. E_{vd} White értéke⁶

BP-LFWD nagytárcsás ASTM:

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

Példa: $55,3 \text{ MPa} \cdot 216,6 E_{vd} \text{ White} = 11\,978 \text{ psi} (145,04 \text{ psi} = 1,0 \text{ MPa})$ F6.1.8. Nyírási modulus (G , MPa) számítása

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

ahol:

 μ – Poisson-tényező, pl. 0,3 szemcsés talajnál*Példa:* $E_d = 86,8 \text{ MPa}$, akkor $G = \frac{0,5 \cdot 86,8}{1,3} = 33,4 \text{ MPa}$ F6.1.9. Sűrűségi korrekció (pl. kohósalak) teherbírásra⁷

$$E_d = K \cdot E_d,$$

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

$$T_{RE\text{szám}} \text{ %} = 100 + m \cdot \zeta$$

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

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

7) MSZ 15846 Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtő súlyos berendezéssel. 2. kiadás. 2015. nov. C.6. pont ICS93.080.10.

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 $\rho_{d\max} = 0,91 \text{ g/cm}^3$; $w_{\text{opt}} = 26\%$; $T_{rw} = 0,985$.

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

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

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

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

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

($E_2 = 29,2 \text{ MPa}$)

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

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

ahol:

$$\beta = \frac{\rho_{d\max St}}{\rho_{d\max Mod}}$$

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

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

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

F6.1.12. Helyszíni reziliens (visszaalakulási) modulus⁹

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

ahol:

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

– cementes/meszes stabilizáció:	0,20
– homok (siSa/Sa/saSi):	0,30
– homokos kavics (Grsa/grSa/meddő):	0,35
– M22/M56/M80/FZKA:	0,40

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

9) George, K. P.: 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. Szendefy, J. et al.: Possibility of On-site Measurement of Residual Modulus, Measuring by SMART-BC Instrument. ISSMGE Conference Kezdi, 2009. Budapest

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

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

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

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

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

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

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

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

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

akkor: $S_r = 0,31 - 0,05 = 0,246 \text{ mm}$

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

Reziliens modulus értéke: $M_r = E_{d\epsilon r} = \frac{C_{\mu_r}}{s_r} = \frac{42,0}{0,24} = 175 \text{ MPa}$ (MN/m^2 , vagy MN/mm^2)

F6.1.13. Állapotjellemző 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:

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

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

$\text{ÁJF} = 2 \cdot 86,8 \cdot 0,887 = 154$, tehát jó.

F6.1.14. ÁJF javasolt besorolási határértékei az állami úthálózaton és beruházásokon

Állapotjellemző faktor	Állapot megnevezése	Teherbírás példa E_d , MPa	Tömörség példa $T_{rd} \% / 100$	Példa ÁJF (SPF) értékére
>300	Szuper	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

F6.1.15. 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:

$$E_{2v} = E_d = \left(\frac{\dot{A}JF}{\frac{T_{rg, \%}}{100}} \right) / 2$$

Példa: $(\frac{195}{0,97}) / 2 = 101 \text{ MPa}$, 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 útalaprég (CK_{t4})

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.

F6.2.1. Statikus teherbírás számított E_2 értéke

- Baksay-módszer:

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

Példa: $E_{vd} = 45,0 \text{ MPa}$, akkor $E_2 = 69,0 \text{ MPa}$ (MN/m^2 , N/mm^2)

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

Példa: $E_{vd} = 45,0 \text{ MPa}$, akkor $E_2 = 72,5 \text{ MPa}$ (MN/m^2 , N/mm^2)

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 $45,0 \text{ MPa} \cdot 216,6 = E_{vd} \text{ White} = 9747 \text{ psi}$

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

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

F7. Kalibrálás

A mérőeszközök kalibrálása a gyártó saját eljárása szerint, vagy a kalibráló laboratóriumnak a tanúsító szervezet által elfogadott kalibrálási eljárása szerint, vagy az alábbiakban leírtaknak megfelelően történjen.

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 kontrollértékeket, valamint ezek megengedett eltérését a gyártónak meg kell adnia.

Kalibráció előtt a mérőeszközt kijelölt szakműhelyben ajánlott felülvizsgáltatni, a szükséges javításokat elvégezni, és/vagy a szükséges alkatrészeket ki kell cserélni (csúszócsapágó, 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 csillapítóelemek. 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 százalékon 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% túréson belül. A rugóelemcserére előírt időintervallum végére érve a mért rugóelem legfeljebb +5 százalékos túrése 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 kiindulónan 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 a 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_{σ} , σF),
- a mért terhelési idő átlagára és szórására (AT , σT)
- az alakváltozás egyedi eltéréseinek átlagára és maximumára.

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 szórást a $\sigma = \sqrt{\sigma_F^2 + \sigma_s^2}$ kifejezésből kell számítani, ahol σ_s alatt az 1,01–1,80 milliméteres alakváltozási tartomány szórását kell érteni.

Jogszabályi véleményezésre (2026. június 24.)

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

Szabvány és útügyi 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: **2026. június**)

MSZ EN 933-1:2012	Kőanyagalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Szitavizsgálat (angol nyelvű)
MSZ EN 1097-5:2008	Kőanyagalmazok 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 13286-1:2022	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 13286-2:2011	–. 2. rész: A laboratóriumi viszonyítási térfogatsűrűség és a víztartalom meghatározási módszerei. Proctor-tömörítés
MSZ 14043-7:1981	Talajmechanikai vizsgálatok. A talajok tömöríthetőségének és tömörségének vizsgálata
MSZ 15320:2004	Földművek tömörségének meghatározása radioizotópos módszerrel
MSZ 15846:2015	Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel
MSZ EN ISO 17892-1:2014/A1:2022	Geotechnikai feltárások és vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 1. rész: A víztartalom meghatározása. 1. módosítás (angol nyelvű)
MSZ EN ISO 17892-2:2015	Geotechnikai vizsgálatok. Talajok laboratóriumi vizsgálata. 2. rész: A térfogatsűrűség meghatározása (angol nyelvű)
CEN ISO/TS 22476-13:2012	Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 13: Plate loading test
BS CWA 15846:2008	Measuring Method for Dynamic Compactness and Bearing Capacity with SP-LFWD (Small-plate Light Falling Weight Deflectometer)

ASTM E 2835-11:2020	Standard Test method for Measuring Deflections using Portable Impulse Plate Load Test Device
TP BF-StB Teil B. 8.3:2012	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
e-UT 09.02.32:1998	Teherbírásmérés könnyű ejtősúlyos berendezéssel
e-UT 09.02.35:2005	Dinamikus tömörség- és teherbírásmérés kistárcsás könnyű ejtősúlyos berendezéssel

Jogszabályi véleményezésre (2026. június 24.)

Hivatkozások

Subert I.: CWA15 846 *Dinamikus tömörségi fok elmélete és módosításának háttere*. Útügyi Lapok, 2015. dec. 15.

Imre, E., Garai, J., Subert, I., Tompai, Z.: *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, 2017. Seoul.

Petkovsek, A.: *Report on usage of Andreas dynamic load bearing capacity of Ljubljana Katedra za mehaniko tal z laboratorijem*. Univerza v Ljubljani Faculteta za gradbenistvo in geodezijo. 2018. Report, p.:10

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

White, D. J. P., Becker, P., Vennapusa, M., Dunn, White, C. I.: *Stiffness-Based QC/QA Testing* Iowa Department of Transportation Federal Highway Administration. 2013. Washington, DC

Subert I.: *A tömörségi fok átszámítása az egyszerűsített és a módosított Proctor-vizsgálatok között*. Közlekedésepítési Szemle. 2009. 59. évf. 7. sz.

George, K. P.: *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.

Szendefy, J. et al: *Possibility of On-site Measurement of Residual Modulus, Measuring by SMART-BC Instrument*. ISSMGE Conference Kezdi, 2009. Budapest

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