

ASZFALTBURKOLATÚ ÚTPÁLYASZERKEZETEK ALTERNATÍV MÉRETEZÉSI MÓDSZERE

TERVEZÉSI ÚTMUTATÓ

2016. november

TARTALOMJEGYZÉK

1. A TERVEZÉSI ÚTMUTATÓ HATÁLYA	3
2. AZ ALKALMAZÁS FELTÉTELEI	3
2.1. ÁLTALÁNOS FELTÉTELEK	3
2.2. KÖRNYEZETI FELTÉTELEK	3
2.3. HIVATKOZÁSOK	3
3. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK	3
4. ASZFALTBURKOLATÚ ÚTPÁLYASZERKEZETEK ALTERNATÍV MÉRETEZÉSI MÓDSZERE	7
4.1. A MÉRETEZÉSI MÓDSZER ALAPELVE	7
4.2. A MÉRETEZÉS VÉGREHAJTÁSÁNAK LÉPÉSEI	7
4.3. ANYAGJELLEMZŐK ÉS RÉTEGVASTAGSÁGOK FELVÉTELE	8
4.3.1. Földmű teherbírás tervezés	8
4.3.1.1. Az altalaj teherbírási modulusának meghatározása	10
4.3.1.2. Az úttükör méretezési teherbírási modulusának meghatározása	10
4.3.1.3. A javítóréteg teherbírási modulusának meghatározása	10
4.3.1.3.1. Köttöanyag nélküli szemcsés javítóréteg	11
4.3.1.3.2. Geoműanyaggal erősített szemcsés javítóréteg	11
4.3.1.3.3. Köttöanyaggal készülő talajstabilizációs javítóréteg	11
4.3.1.4. A javítóréteg vastagságának meghatározása	11
4.3.1.5. A fagyvédő réteg tervezése	13
4.3.1.6. A tisztasági réteg tervezése	13
4.3.1.7. A szűrőréteg tervezése	13
4.3.1.8. Az úttükör teherbírás ellenőrzése	13
4.3.2. Alsó alap réteg(ek) tervezése	14
4.3.2.1. Köttöanyag nélküli (szemcsés) alsó alapréteg	15
4.3.2.2. Hidraulikus (cement) kötőanyagú alsó alapréteg	16
4.3.2.3. Bitumen kötőanyagú (aszfaltbeton) alsó alapréteg	16
4.3.3. Aszfalt rétegrend tervezés	16
4.4. IGÉNYBEVÉTELEK SZÁMÍTÁSA A PÁLYASZERKEZETBEN	17
4.4.1. Határigénybevételek meghatározása	18
4.4.1.1. A pályaszerkezet méretezési forgalom meghatározása	18
4.4.1.2. Az anyagokra jellemző fáradási tulajdonságok meghatározása	18
4.4.2. A méretezés végrehajtása	19
4.4.3. Az útpályaszerkezet fagyvédelmének ellenőrzése	20
4.4.4. A pályaszerkezetek javasolt műszaki egyenértékűsége	20
5. MINTASZÁMÍTÁS	21
5.1. MÉRETEZÉS	21
5.2. ADOTT FORGALMI TERHELÉSRE TÖRTÉNŐ ELLENŐRZÉS	22
5.3. EGYENÉRTÉKŰSÉG VIZSGÁLAT	23
6. HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK ÉS ELŐÍRÁSOK	25
7. MELLÉKLET	26
8. ÁBRAJEGYZÉK	29

1. A TERVEZÉSI ÚTMUTATÓ HATÁLYA

A jelen tervezési útmutató célja, hogy az újpépítésű aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek tervezéséhez és építéséhez olyan alternatív méretezési eljárást biztosítson, amely – a típus-útpályaszerkezetek alkalmazásához képest – megnöveli az altalaj illetve az épített pályaszerkezeti rétegek anyagi tulajdonságaiban rejlő lehetőségek jobb kihasználásának keretfeltételeit, továbbá lehetőséget teremt a helyi, környezeti, földrajzi és egyéb adottságok illetve innovatív kivitelezői és műszaki képességek esetleges figyelembevételére. Jelen útmutatónak nem tárgya a pályaszerkezet megerősítés méretezés.

A jelen tervezési útmutató az e-UT 06.03.13. [ÚT 2-1.202:2005] „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése” című útügyi műszaki előírással összehangolt, azzal együtt kezelendő, az abban szereplő új útpályaszerkezet tervezési eljárás javasolt alternatívájaként alkalmazandó.

A jelen tervezési útmutató az útpályaszerkezet méretezés analitikus eszközrendszerének megalkotását tekinti céljának, ezen túlmutató technológiai, geometriai, építési, minőségbiztosítási illetve közlekedésbiztonsági követelmények figyelembevétele nem tárgya.

2. AZ ALKALMAZÁS FELTÉTELEI

2.1. Általános feltételek

Az új pályaszerkezeteknél a földmű, a pályaszerkezeti rétegek anyagainak minősége az érvényben levő szabványokat, műszaki előírásokat és azok minőségi követelményeit elégítse ki. Jelen útmutató alapján tervezett új építésű útpályaszerkezetek tervezett élettartama alatt a szükséges üzemeltetési és fenntartási munkákat rendszeresen és az állapotvizsgálati eredmények alapján kell elvégezni. Jelen útmutató használata csak 1 millió egységtengely áthaladási szám felett engedélyezett.

2.2. Környezeti feltételek

A földmű és a pályaszerkezet víztelenítése az érvényes szabványoknak, műszaki utasításoknak, előírásoknak feleljen meg. Az útpályára hulló csapadékvizeket illetve a pályaszerkezet alá kerülő vizeket megfelelő vízelvezető rendszer megépítésével kell elvezetni. A földmű talaját fagyérzékenység és fagyveszélyesség szempontjából meg kell vizsgálni, a pályaszerkezetet a fagy- és az olvadási károk megelőzése érdekében ellenőrizni kell, illetve a fagyvédőréteg szükséges vastagságának méretezését és tervezését el kell végezni.

2.3. Hivatkozások

A különböző nemzeti szabványokra, útügyi szabályozási anyagokra és dokumentumokra történő hivatkozások a szövegben a megfelelő hivatkozás helyén található, azok figyelembevétele jelen tervezési útmutató alkalmazásakor elengedhetetlen.

Jelen tervezési útmutató alkalmazásakor meg kell győződni arról, hogy nem jelent-e meg a hivatkozások módosítása, kiegészítése, illetve hatálytalanítása. A tervezési útmutató érvényességében beálló minden változást a tervezési útmutató kiadója hivatalosan közzétesz.

3. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK

3.1. Egységtengely (Et)

A méretezésnél használt olyan egyes tengely, amelyre az úton áthaladó különböző súlyú tengelyek vagy nehéz járművek áthaladási számait átszámítjuk, az azonos nagyságú fárasztási rongáló hatás alapján. Az egységtengely-terhelés nagysága a jelenleg érvényes szabályozás szerint 100 kN-nal egyenlő. Ennek értéke független az előírt legnagyobb megengedett tengelysúly nagyságától, illetve annak esetleges későbbi változásától.

3.2. Egységtengely-áthaladási szám (F100, db)

Az út keresztmetszetében valamely időszak alatt áthaladó egységtengelyek száma.

3.3. Tervezési forgalom (TF)

A tervezett élettartam alatt a mértékadó forgalmi sávban áthaladó, az e-UT 06.03.13. „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése” [ÚT 2-1.202:2005] című útügyi műszaki előírás alapján kiszámított egységtengelyek száma.

3.4. Többrétegű rendszer

Az útpályaszerkezetek méretezésénél használt mechanikai modell, amelynek egyes rétegeit a valóságos útpályaszerkezet rétegeinek anyagait jellemző E rétegmodulusok és μ Poisson-tényezők képviselik a réteg h vastagságán kívül. A terhelést az egységtengely egyik kerekének terhelő ereje (F) jelenti egy r sugarú körtárcsa felületén megoszló p nyomás alakjában.

3.5. Poisson-tényező (μ)

A pályaszerkezeti anyagok egyik mechanikai tulajdonságát jelző anyagállandó, a két főfeszültség irányában adódó alakváltozások arányát adja meg. A szokásos pályaszerkezeti anyagoknál a Poisson-tényező 0,2 és 0,45 közötti értéket vesz fel.

3.6. Rugalmassági modulus, réteg modulus (E)

A pályaszerkezeti rétegek merevségét jellemző modulus érték, amelyet mechanikai vizsgálattal, számítással vagy tapasztalati adatok alapján adnak meg.

3.7. Reziliens modulus (M_r)

A reziliens modulus a kötőanyag nélküli anyagok reverzibilis alakváltozási viselkedését jellemzi. A reziliens modulus értékét ismételt terhelésű triaxiális vizsgálattal lehetséges meghatározni (MSZ EN 13286-7:2004) vagy CBR eredményből megbecsülni.

3.8. California Bearing Ratio (CBR)

A CBR (California Bearing Ratio) egy olyan százalékban kifejezett viszonyszám, amely azt mutatja meg, hogy az adott talaj vagy szemcsés réteg teherbírása, hogy viszonyul, az összehasonlítási alapul választott szabványos felépítésű tömör zúzottkő réteg teherbírásához.

3.9. Megengedett vízszintes fajlagos megnyúlás

Hajlításból eredő fáradási kritérium, amely szerint az együttdolgozó aszfaltrétegek alján ébredő húzási nyúlások (ε_t) ne legyenek nagyobbak, mint az adott terhelési szint fáradási határigénybevétele az aszfaltanyag Wöhler-görbéje alapján.

3.10. Megengedett függőleges fajlagos összenyomódás

Nyomó-igénybevételekből eredő fáradási kritérium, amely szerint a földműre nem juthat nagyobb igénybevétel és így nem is alakulhat ki (ε_v)-nél nagyobb fajlagos függőleges alakváltozás, mint amit a földmű az élettartam alatt áthaladó egységtengelyek hatására károsodás (pl. maradó alakváltozás) nélkül elviselhet.

3.11. Statikus teherbírás modulus (E_2)

Az MSZ 2509-3:1989 szerinti tárcsás teherbírásmérés második terheléséből számolt statikus teherbírás modulus.

3.12. Talaj statikus teherbírás modulusa (E_{2talaj})

A tömörített talaj felső 50 cm-es rétegének felszínén az MSZ 2509-3 szerint E_2 teherbírás modulus fogalmának megfelelően értelmezve.

3.13. Talaj teherbírás modulusa (E_{talaj})

A tömörített talaj felső 50 cm-es rétegét jellemző teherbírás modulus az M_r reziliens modulus fogalmának megfelelően értelmezve.

3.14. A földmű

A vonatkozó minőségi követelményeknek megfelelő, az eredeti terep és a földmunkával kialakított felület által határolt építmény, beleértve az eltávolított humusz helyére kerülő vagy egyéb módon cserélt földtömeget is.

3.15. Földmű statikus méretezési teherbírása (E_{2m})

Az úttükör szintjére vonatkozó, a földmű tervezési élettartama alatt elvárt értéke a teherbírásnak. Értékét az MSZ 2509-3 szerinti E_2 teherbírasi modulus fogalmának megfelelően kell figyelembe venni. A jelen tervezési útmutató az e-UT 06.03.13. „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése” [ÚT 2-1.202:2005] című útügyi műszaki előírással szemben nem $E_{2m} = 40 \text{ MPa}$ úttükör méretezési teherbírással számol, hanem indokolt esetben annál magasabb méretezési teherbírás érték is felvehető.

A Megrendelő az úttükör felületén közvetlenül a pályaszerkezet építésének megkezdése előtt ennél magasabb teherbírasi modulus értéket is megkövetelhet.

3.16. Földmű méretezési teherbírása (E_m)

A tömörített földmű tervezési élettartama alatt elvárt teherbírás értéke az M_r reziliens modulus fogalmának megfelelően értelmezve.

3.17. A földmű építési teherbírása (E_{2e})

Az úttükör felületén közvetlenül a pályaszerkezet építésének megkezdése előtt megkövetelt MSZ 2509-3 szerint E_2 teherbírasi modulus.

3.18. Talajstabilizáció

Olyan talajkezelési eljárás, amely hosszú időtávlatban lényegesen megváltoztatja a talaj jellemzőit, oly módon, hogy adalékanyag hozzákeverésével, a forgalom és az időjárás igénybevételeivel szemben – tudatos tervezéssel – a talajt tartósan szilárdra, és különösen vízzel és faggal szemben ellenállóvá változtatja. Állandó szilárdságot ad, mely szilárd anyagoknál alkalmazott módszerekkel mérhető.

3.19. Javítóréteg

A földmű azon felső része, amelyet megfelelő anyagból, talajfajtából; esetleg a földmű felső részének vagy behordott talajnak a stabilizálásával állítanak elő, a földmű teherbírásának növelése érdekében. A javítóréteg nem része a pályaszerkezetnek.

3.20. A javítóréteg teherbírasi modulusa (E_j)

A talajok, kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú szemcsés keverékek teherbírasi modulusa az ismételt terhelésű triaxiális vagy CBR vizsgálat eredményéből meghatározott reziliens modulusnak megfelelően.

3.21. Fagyvédő réteg

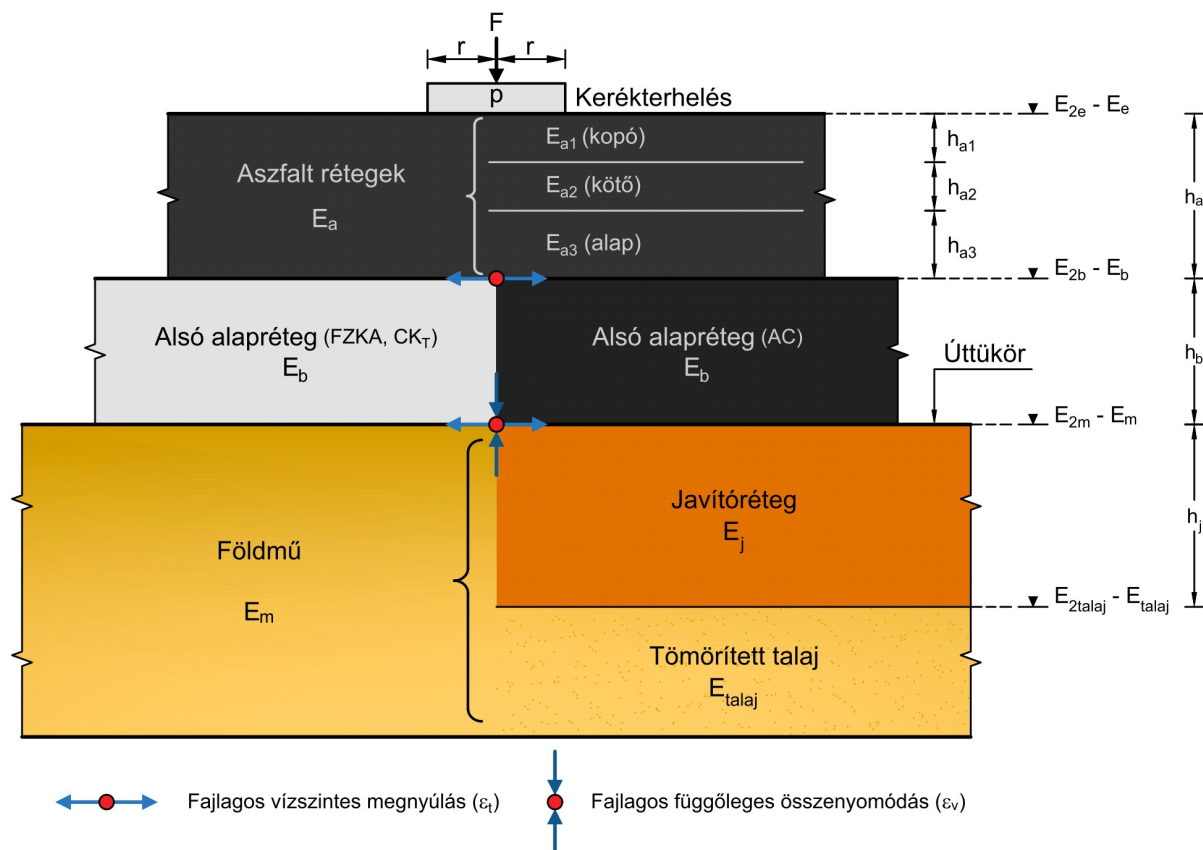
A teherbíró földműre épített, annak felső részét képező fagyálló anyagú réteg, amelynek feladata az oladási kár vagy fagykár megelőzése. A fagyvédő réteg nem része a pályaszerkezetnek.

3.22. Tisztasági réteg

A víz vagy a finom részek alsóbb rétegéből történő felemelkedésének megelőzésére szolgáló minimum 100 mm vastag réteg vagy geotextília. A tisztasági réteg nem része a pályaszerkezetnek.

3.23. Védőréteg

A fagyvédő, javító-, szűrő-, és a tisztasági réteg(ek) összefoglaló megnevezése. A védőréteg a földmű része. Ha védőréteg is épül, az út tükörszintje a védőréteg felső szintjével azonos.



1. ábra. A méretezési modulusok és a pályaszerkezet általános rétegrendje

3.24. Úttükör

A földmű megfelelő oldaleséssel kiképzett tömörített és teherbíróvá tett sík felülete, amelyre a pályaszerkezet legalsó rétegét építik.

3.25. Hidraulikus kötőanyagú rétegek

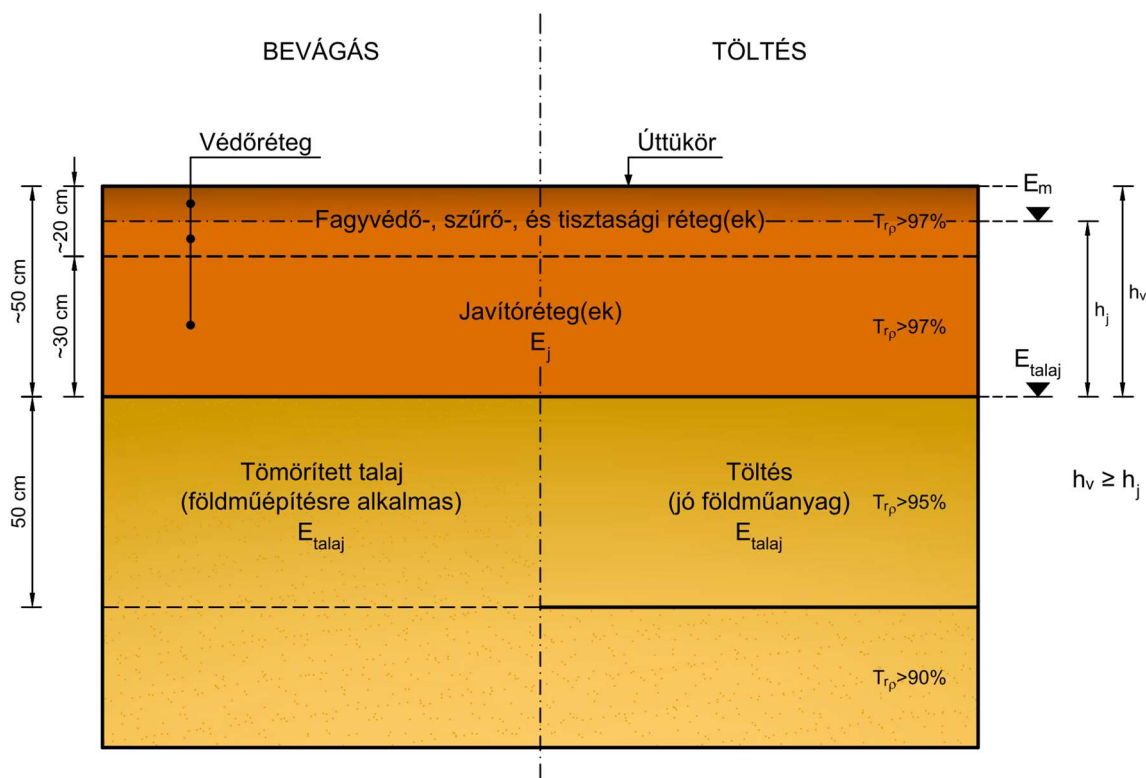
Védő- vagy alaprégként alkalmazott, hidraulikus kötőanyaggal stabilizált (szilárdított) szemcsés (4 milliméternél kisebb szemnagyságú) talajok és (4 milliméternél nagyobb legnagyobb szemnagyságú) adalékanyagok.

3.26. A méretezési modulusok és vastagságok értelmezése a háromrétegű pályaszerkezet modellben

A méretezési modulusok és vastagságok értelmezését a pályaszerkezet általános rétegrendjében az 1. ábra mutatja be.

3.27. Alkalmazási engedély

Azon engedélyek összefoglaló neve, amelyeket a 305/2011/EU rendelet és a 275/2013 (VII.16.) Korm. rendelet előírásaival összhangban adtak ki. Az engedélyk azokra az új termékekre, technológiákra és műszaki megoldásokra vonatkoznak, amiket harmonizált európai szabvány, illetve útügyi műszaki előírás nem szabályoz. Ilyenek a még érvényben levő ÉME, ETA engedélyk lejáratukig, és az újonnan kiadott Nemzeti Műszaki, illetve Európai Műszaki Értékelések.



3. ábra. A földmű felső (2×50 cm-es) részének jellemző kialakítása a méretezéskor

A számításokat a felparaméterezett többrétegű mechanikai modell felhasználásával lehet elvégezni. A következő három rétegcsoportot különítjük el:

- aszfaltbeton rétegek,
- alsó alapréteg(ek),
- földmű (úttükör).

A méretezéskor a háromrétegű rendszer egyes rétegeihez anyagjellemzőket (E , μ) illetve az aszfaltbeton és alsó alapréteg(ek) esetén (h) vastagságértéket kell rendelni. A gazdaságos útpályaszerkezetek kialakításának érdekében javasolt, hogy a rétegmodulusok felülről lefele csökkenjenek, a vastagságok pedig növekedjenek.

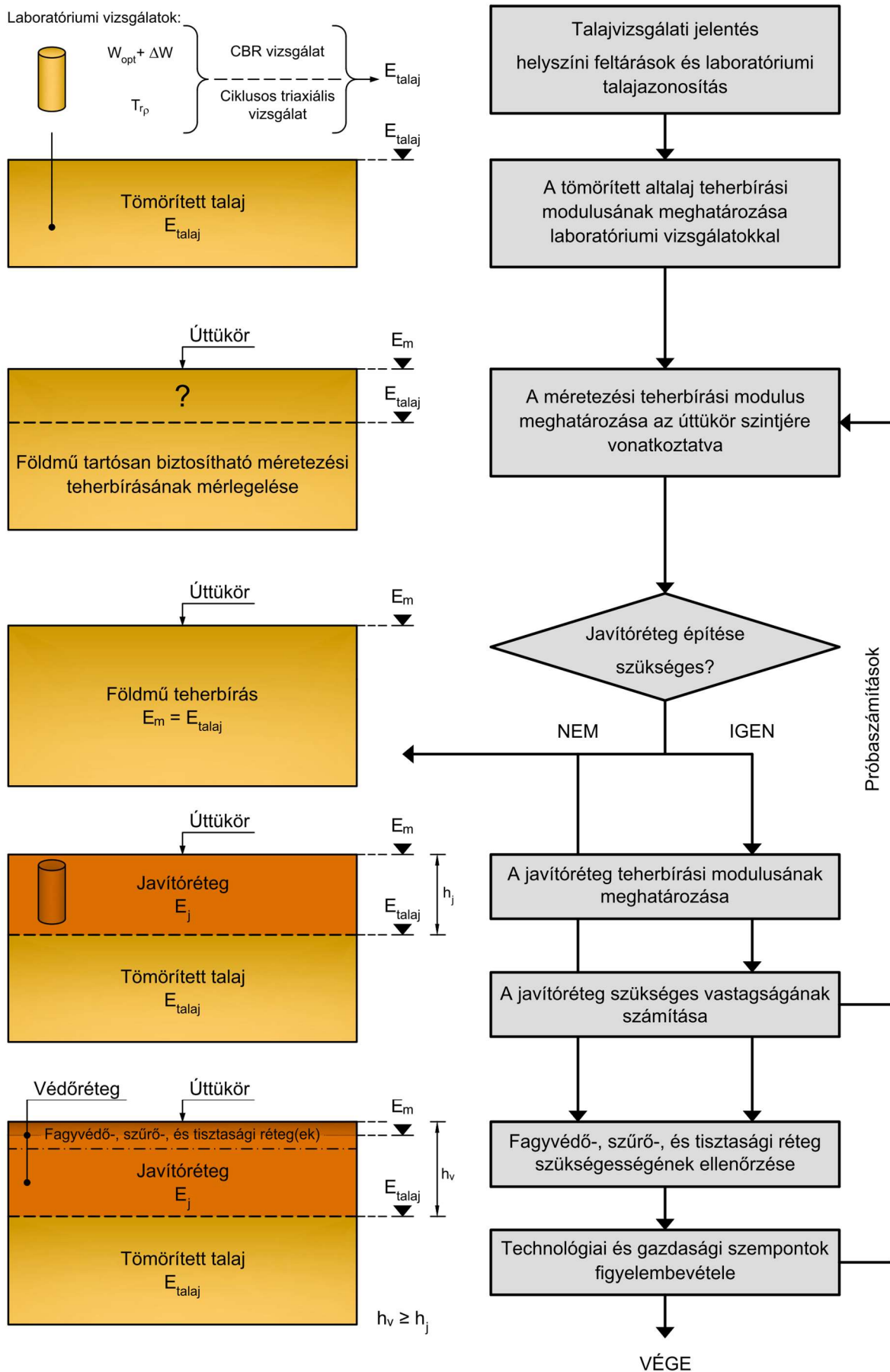
4.3. Anyagjellemzők és rétegvastagságok felvétele

4.3.1. Földmű teherbírás tervezés

Az e-UT 06.03.13. „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése” [ÚT 2-1.202:2005] című útügyi műszaki előírás az úttükör szintjén a földmű statikus méretezési teherbírási modulusát $E_{2m} = 40$ MPa értékben rögzíti. Ezzel a megközelítéssel szemben, jelen útmutató alkalmazásakor a Tervező a legalacsonyabb $E_{2m} = 40$ MPa úttükör teherbírásnál magasabb (E_m) méretezési teherbírási modulusot is választhat. Javasolt a helyi talaj és hidrológiai adottságokat kihasználva a lehető legjobb úttükör (E_m) teherbírást tudatosan megtervezni, ezzel elkerülve, hogy a teljes pályaszerkezettel szemben elvárt teljesítményt csak az értékesebb pályaszerkezeti rétegek vastagságának növelésével lehessen biztosítani.

Az 3. ábra a földmű teherbírás tervezés általános modelljét mutatja be. A bevezetett modellnek megfelelően a földmű teherbírás tervezés főbb lépései az alábbiak (4. ábra):

1. A tömörített talaj (E_{talaj}) teherbírási modulusának meghatározása.
2. Az úttükör (E_m) méretezési teherbírási modulusának meghatározása.



4. ábra. A földmű teherbírás tervezés folyamatábrája

3. Abban az esetben, ha az E_{talaj} teherbírési modulus alacsony, azaz $E_{talaj} \ll E_m$ és ez vastag pályaszerkezeti rétegek tervezését (és építését) követeli meg, javítóréteg tervezendő. Ellenkező esetben $E_m = E_{talaj}$ és a földmű teherbírás tervezésnek vége.
4. A javítóréteg (E_j) teherbírési modulusának meghatározása.
5. A tömörített talaj (E_{talaj}) és az úttükör (E_m) méretezési teherbírési modulusának ismeretében a javítóréteg szükséges (h_j) vastagságának számítása.
6. A fagyvédő-, szűrő-, és tisztasági réteg szükségességének ellenőrzése.

A földmű tervezés elsődleges feladata, az elérendő (E_m) úttükör teherbírás számára a megfelelő anyagok és technológiák szakszerű kiválasztása. A tervezéskor figyelembe kell venni az e-UT 06.02.11 [ÚT 2.1.222:2007] „Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai” című útügyi műszaki előírásban foglaltakat.

4.3.1.1. Az altalaj teherbírési modulusának meghatározása

Az út tervezésekor készülő talajvizsgálati jelentés (TVJ) képezi a földműtervezés alapját. A talajvizsgálati jelentés az adott terület talaj és talajvíz viszonyait mutatja be helyszíni feltárások és laboratóriumi vizsgálatok alapján. Szakmai tartalmát az e-UT 06.02.11 [ÚT 2.1.222:2007] 2.4. fejezete illetve az MSZ EN 1997-2:2008 B melléklete tartalmazza.

A talajvizsgálati jelentés által feltárt és beazonosított talajok tartósan biztosítható (E_{talaj}) tervezési teherbírás modulus értékeit laboratóriumi vizsgálatokkal kell meghatározni, figyelembe véve a földmű víztartalom változását és annak a teherbírásra gyakorolt hatását.

A laboratóriumi vizsgálatok számára előkészített talajminta tervezési (T_{rp}) tömörségi foka az MSZ 14043-7:1981 szerint szemcsés talajoknál 95%, kötött talajoknál 90% legyen. A tényleges víztartalom a fenti szabvány szerinti (w_{opt}) optimális víztartalomnál Δw értékkel legyen nagyobb. Ezeket az értékeket az e-UT 06.03.13. [ÚT 2-1.202:2005] műszaki előírás 5. fejezetében található 2. táblázat foglalja össze. Ily módon a talaj teherbírásának laboratóriumi meghatározásakor egy jól tömörített, kissé elázott földmű építési körülményeit modellezzük.

A fentieknek megfelelően előkészített talajminta tervezési teherbírési modulusa (E_{talaj}) a talajok ciklusos terheléssel szembeni viselkedését leíró MSZ EN 13286-7:2004 szerinti triaxiális vizsgálat, vagy az MSZ EN 13286-47:2012 szerint CBR-vizsgálat eredményéből becsült (M_r) reziliens modulussal helyettesítendő ($E_{talaj} \approx M_r$). Az alternatív pályaszerkezet méretezési eljárás altalajokra az (E_{talaj}) dinamikus teherbírési modulus $E_{talaj} \leq 150$ MPa értékben maximalizálja, de a javítórétegek ennél magasabb értéket is felvehetnek.

4.3.1.2. Az úttükör méretezési teherbírési modulusának meghatározása

A talajvizsgálati jelentés (talaj és talajvíz viszonyok) ismeretében és az elérhető útépitési anyagok és technológiák figyelembevételével mellett a tartósan biztosítható földmű (E_m) méretezési teherbírési modulus meghatározása az úttükör szintjére vonatkoztatva.

4.3.1.3. A javítóréteg teherbírési modulusának meghatározása

A javítóréteg különböző anyagok és eltérő technológiák alkalmazásával építhető meg. A földmű tervezésénél alkalmazható fő javítóréteg típusok:

- kötőanyag nélküli szemcsés javítóréteg,
- geoműanyaggal erősített szemcsés javítóréteg,
- kötőanyaggal készülő talajstabilizációs javítóréteg.

A helyi viszonyok figyelembevételével meg kell vizsgálni a magasabb teljesítményű javítóréteg alkalmazásának lehetőségét, hogy a pályaszerkezet műszaki-gazdasági optimalizálása elvégezhető legyen.

4.3.1.3.1. Kötőanyag nélküli szemcsés javítóréteg

A kötőanyag nélküli szemcsés javítóréteg készülhet az útépitési alapréteggként is használatos folytonos szemeloszlású zúzottkő (FZKA) vagy mechanikai stabilizáció (M) felhasználásával. A tervezéskor figyelembe kell venni az e-UT 06.03.52 [ÚT 2-3.207:2007] című útügyi műszaki előírásban foglaltakat.

Egyéb szemcsés anyagú talajok is felhasználhatóak javítóréteg építésre, de ez esetben a talajoknak kiváló vagy jó minőségű (M-1, M-2), jól tömöríthető (T-1) és fagyálló (X-1) osztályba kell tartozniuk.

A szemcsés javítórétegek modulusa (E_j) laboratóriumban meghatározandó a talajoknál ismertett ciklusos triaxiális (MSZ EN 13286-7:2004) vagy CBR-vizsgálatok (MSZ EN 13286-47:2012) eredményéből. A Tervező engedélyezési tervfázisig a Melléklet 4. táblázatának értékeit is felhasználhatja a számításokhoz. A táblázatos értékek kizárólag javítóréteg esetén alkalmazhatók, pályaszerkezeti alsó alapréteg esetén nem érvényesek.

4.3.1.3.2. Geoműanyaggal erősített szemcsés javítóréteg

A szemcsés anyagú javítóréteg vastagsága hatékonyan csökkenthető geoműanyag réteg(ek) beépítésével. Geotextíliákat, georácsokat, geowebeket és különböző kompozit geoműanyagokat lehet erre a célra felhasználni (MSZ EN 13249:2014+A1:201). A rendkívül nagy választékban elérhető, különböző típusú és szilárdságú geoműanyag gyártók a saját termékeikre kifejlesztett méretező diagramokkal és szoftverekkel rendelkeznek, így az úttükör teherbírasi modulusát (E_m) minden esetben a gyártóval egyeztetett módon javasolt meghatározni. A geoműanyaggal erősített szemcsés javítóréteg vastagságának (h_j) ismeretében a geoműanyaggal erősített szemcsés javítóréteg teherbírasi modulusa (E_j) a 5. ábra felhasználásával visszaszámolható és a pályaszerkezet méretezéséhez felhasználható.

4.3.1.3.3. Kötőanyaggal készülő talajstabilizációs javítóréteg

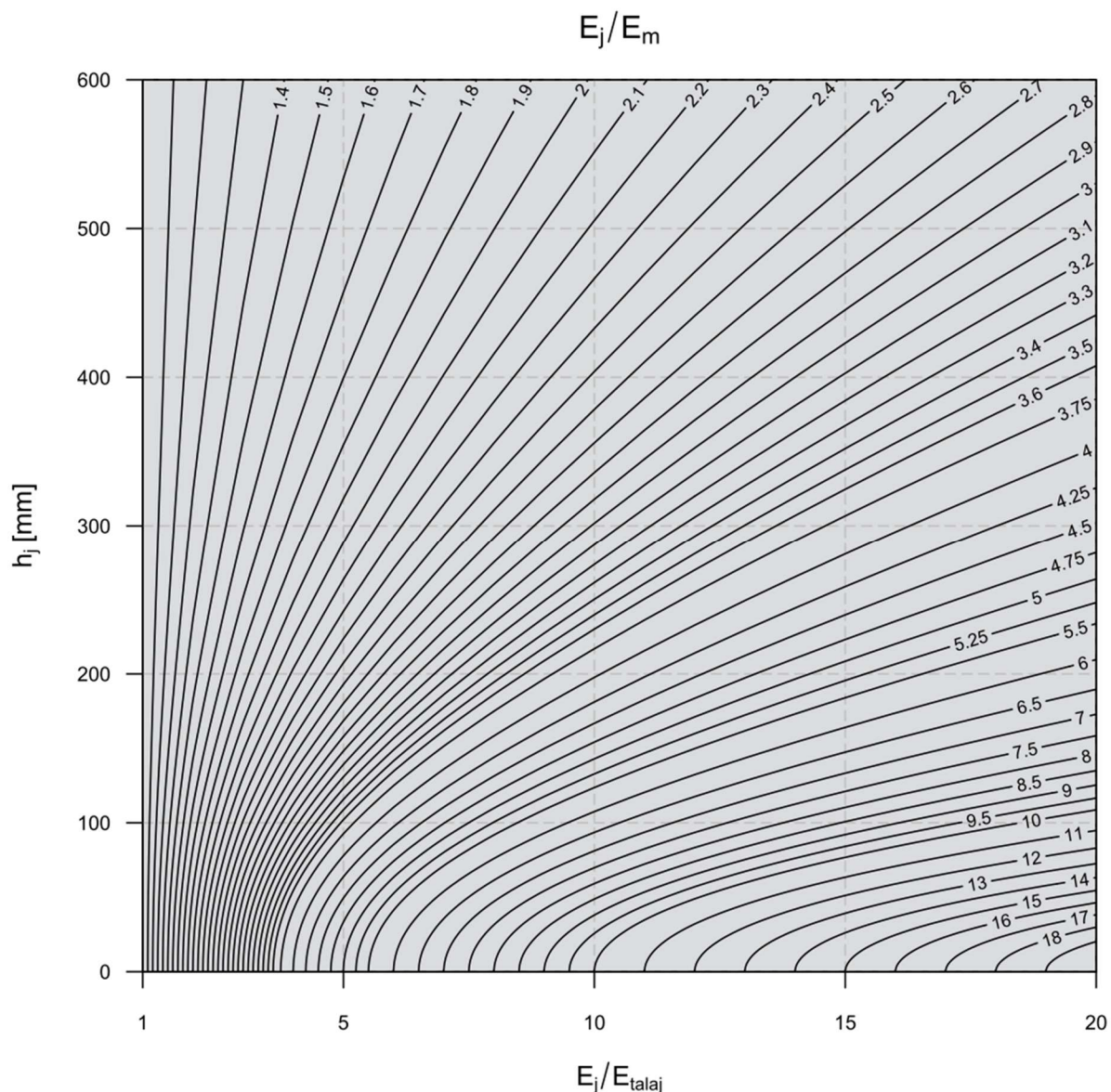
A kötőanyag hozzáadásával készülő talajstabilizációk legnagyobb előnye, hogy a helyben található talajok tulajdonságait úgy módosítja, hogy azok nedvességgel és fagyhatásokkal szemben ellenálló anyagokká válnak. A talaj tulajdonságaiban bekövetkező változásokat hosszú távon szükséges biztosítani, ezért tartóssági tesztek is tartalmazó laboratóriumi vizsgálatok elvégzése szükséges. Ezekkel igazolni kell, hogy a stabilizált réteg vízzel és faggal szemben tartósan ellenállóvá vált. A tervezési útmutató ezekre a vizsgálatokra vonatkozóan nem ad előírásokat, azt az egyes kötőanyag típushoz vagy talajkezelési eljáráshoz tartozó műszaki előírás alapján szükséges elvégezni és kiértékelni.

A kötőanyaggal készülő talajstabilizációs javítórétegek tervezésénél az e-UT 06.03.52 [ÚT 2-3.207:2007] számú hidraulikus alaprétegekre vonatkozó útügyi műszaki előírást kell figyelembe venni, ha a kiválasztott kötőanyag típus vagy talajkezelési eljárás még nem rendelkezik érvényes szabályozással. Javítórétegnek, csak olyan kötőanyagot tartalmazó talajstabilizáció tervezhető, amely hatályos alkalmazási engedéllyel rendelkezik. Meszes talajstabilizáció tervezésekor az e-UT 06.02.12:2012 számú műszaki előírás betartása kötelező.

A talajstabilizációs javítóréteg teherbírasi modulusa (E_j) laboratóriumban meghatározandó a talajoknál ismertett ciklusos triaxiális (MSZ EN 13286-7:2004) vagy CBR-vizsgálatok (MSZ EN 13286-47:2012) eredményéből. A Tervező engedélyezési tervfázisig a Melléklet 4. táblázatának értékeit is felhasználhatja a számításokhoz.

4.3.1.4. A javítóréteg vastagságának meghatározása

Ha az úttükör méretezési teherbírasi modulusa jelentős mértékben meghaladja a tömörített talaj teherbírasi modulusát, azaz $E_{talaj} \ll E_m$ és ez vastag pályaszerkezeti rétegek tervezését (és építését) követeli meg, javítóréteg tervezendő.



5. ábra. A földmű javítóréteg vastagságának meghatározása (E_{talaj} a javítandó talaj modulusa, E_j a javító réteg modulusa, E_m a javító réteg tetején elérendő teherbírési modulus, h_j a javítóréteg vastagsága)

A javítóréteg vastagságának meghatározásakor ismerni szükséges a javítóréteg alatti tömörített talaj (E_{talaj}) és a javítóréteg (E_j) teherbírési modulusát. Az ismert rétegmodulusok alapján az úttükör tervezett (E_m) teherbírési értékének eléréséhez szükséges javítóréteg vastagság (h_j) a 5. ábra segítségével határozható meg.

A diagram a javítóréteg modulusa (E_j) és vastagsága (h_j), a javítandó talaj (E_{talaj}) modulusa, és a javítóréteg tetején (úttükör szintjén) elérhető modulus (E_m) közötti összefüggést tartalmazza. A számításhoz ismerni kell a javítóréteg modulusát, amelyet engedélyezési tervfázisig a Melléklet 4. táblázatából lehet kiválasztani. A Tervezőnek minden más esetben laboratóriumban meghatározott értékekkel kell dolgoznia. A javítóréteg (h_j) tervezési vastagsága nem lehet kisebb a technológiai rétegvastagságnál. A javítóréteg vastagságába a fagyvédő réteg vastagsága, ha eltérő anyagból épül nem számítható be.

A javítóréteg méretezését az alábbi számpélda mutatja be:

A tömörített talaj $E_{talaj} = 20 \text{ MPa}$ értékű teherbírási modulusát egy $E_j = 195 \text{ MPa}$ modulusú szemcsés anyaggal javítják az úttükör szintjén tervezett $E_m = 65 \text{ MPa}$ értékű teherbírási modulusra. A 5. ábra vízszintes tengelyéről az $E_j/E_{talaj} = 9,75$ értéket az $E_j/E_m = 3,0$ interpolált görbére vetítve, a metszéspontot az ordinátatengelyre kivetítve kapjuk a javítóréteg ($h_j = 300 \text{ mm}$) vastagságát.

Megjegyzés: Ha az $E_j/E_m \approx 1,0$ akkor az adott javítóanyag (és teherbírási modulus) nem alkalmazható hatékonyan a célteherbírás eléréséhez.

4.3.1.5. A fagyvédő réteg tervezése

A fagyvédő réteg építésének szükségességét és vastagságát a fagyvédelemre vonatkozó érvényes műszaki előírás (e-UT 06.02.11 [ÚT 2.1.222:2007]) alapján kell meghatározni.

A javítóréteg vastagsága beszámítható a fagyvédő réteg vastagságába, ha a beépített anyag a fagyvédelemre vonatkozó előírásokat kielégíti, és ugyanabból az anyagból készül, mint a fagyvédőréteg.

4.3.1.6. A tisztasági réteg tervezése

Kötött talajú földmű esetében az FZKA pályaszerkezeti alapréteg alá legalább 100 mm vastag szemcsés (homokos kavics) védőréteget kell tisztasági réteggént építeni, vagy geotextíliát kell helyezni a földmű felületére. A tisztasági réteg vastagsága nem számítható be a javítóréteg vastagságába.

4.3.1.7. A szűrőréteg tervezése

A pályaszerkezetbe jutó vizek kivezetésére, vagy a kapilláris vízemelkedés megszakítására alkalmazott szűrőréteget úgy kell megtervezni és elkészíteni, hogy a vízvezető, szűrő és megtámasztó funkcióját egyszerre el tudja látni. Ennek biztosítására a tervezői gyakorlat a Terzaghi-féle vagy a szigorúbb szűrési feltételeket kielégítő ún. svájci szűrőszabályt alkalmazza. A szűrőréteg minimális vastagsága 100 mm, gyakori értéke 150 mm. A szűrőréteg vastagsága nem számítható be a javítóréteg vastagságába.

4.3.1.8. Az úttükör teherbírás ellenőrzése

Az úttükör szintjére tervezett (E_m) egyenértékű felületi modulus helyszíni ellenőrzése a pályaszerkezet építése előtt statikus tárcsás teherbírásméréssel történik (MSZ 2509-3:1989). A kivitelezés helyszíni minősítésekor meghatározott E_2 értéket a statikus E_{2e} földmű építési teherbírással kell összehasonlítani. A dinamikus E_m tervezési teherbírási modulusból az alábbi képlettel becsülhető meg a várható statikus érték:

$$E_{2m} \approx 0,7 \cdot E_m \quad (1)$$

Az átszámított E_{2m} értékből kell kiindulni az (E_{2e}) építési teherbírás előírásakor:

$$E_{2e} \approx \begin{cases} 50 \text{ MPa} & \text{ha } E_{2m} \leq 50 \text{ MPa} \\ E_{2m} + 10 \text{ MPa} & \text{ha } E_{2m} > 50 \text{ MPa} \end{cases} \quad (2)$$

Az MSZ 2509-3:1989 szerint meghatározott E_2 érték megfeleléségét az e-UT 06.02.11 [ÚT 2.1.222:2007] útügyi műszaki előírásban foglaltak szerint kell eldönteni.

Amennyiben a kivitelezéskor az elvárt úttükör teherbírás nem valósul meg, a továbbépítést megelőzően a kapott eredmények ismeretében az úttükör szintjére tervezett (E_m) teherbíráserérték eléréséhez szükséges további javítóréteg(ek) méretezése és beépítése szükséges.

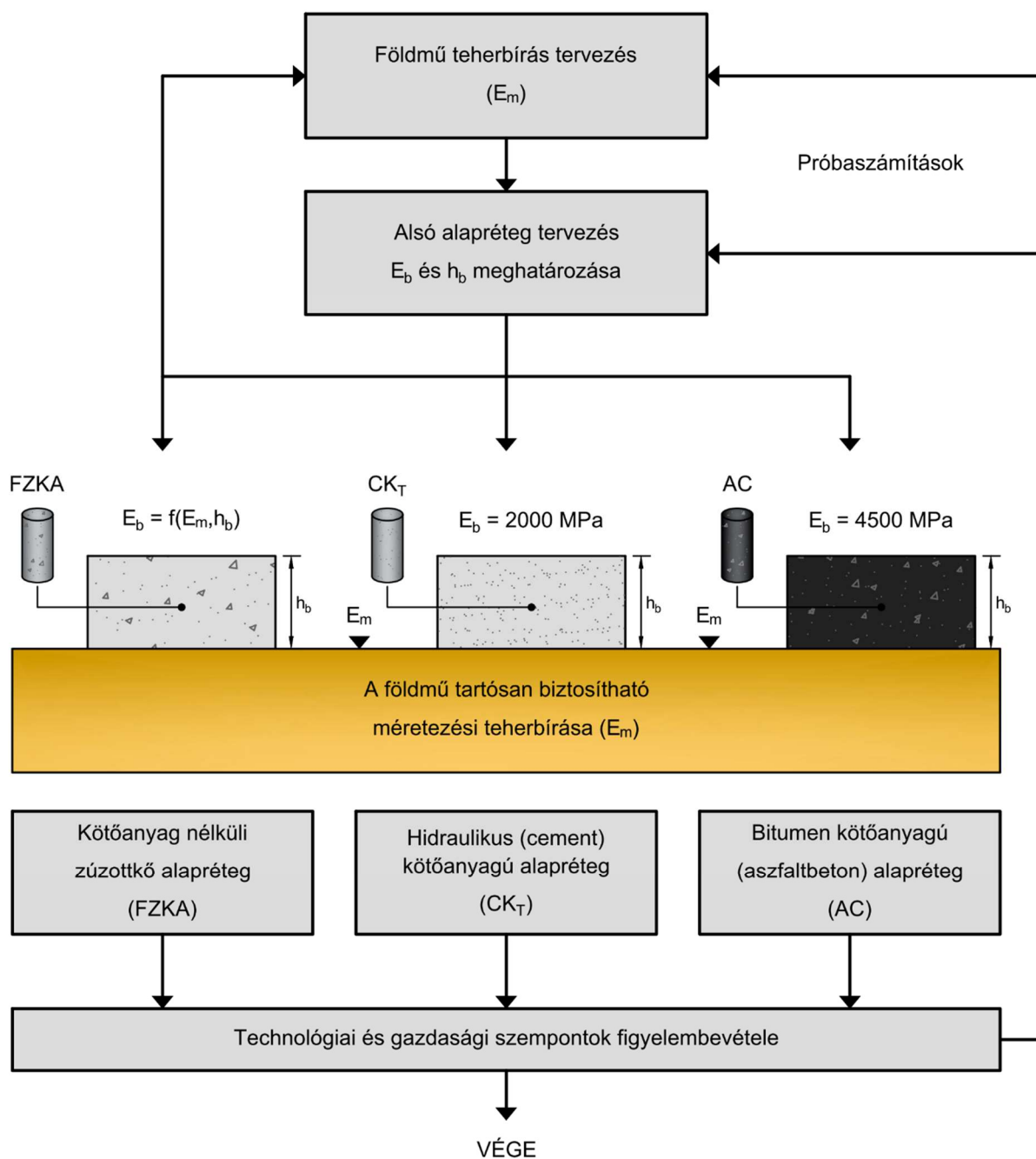
4.3.2. Alsó alap réteg(ek) tervezése

Az alternatív pályaszerkezet méretezési eljárás esetén az alsó alapréteg készülhet kötőanyag nélkül zúzottkőből és kötőanyaggal stabilizált keverékekből. A kötőanyag szerint megkülönböztetünk:

- hidraulikus (cement) kötőanyaggal, és
- bitumen kötőanyaggal szilárdított

alsó alaprétegeket.

Az alsó alapréteg méretezésének folyamatát az 6. ábra foglalja össze.



6.ábra. Az alsó alapréteg tervezés folyamatábrája

4.3.2.1. Kötőanyag nélküli (szemcsés) alsó alapréteg

A kötőanyag nélküli szemcsés anyagok közül a folytonos szemeloszlású zúzottkövek (FZKA) használhatók pályaszerkezeti alsó alapréteg(ek) építésre, tekintettel a nagy forgalmi terhelésre ($TF > 1$ millió). Az FZKA rétegeknek mindenben meg kell felelniük az e-UT 06.03.52 [ÚT 2-3.207:2007] című útügyi műszaki előírásban foglaltaknak.

Az FZKA réteg – pályaszerkezeten belüli – modulus becslése (E_b) a tervezett úttükör teherbírás (E_m) és az alsó alapréteg vastagságának (h_b) függvényében az 7. ábrán látható diagrammal vagy az alábbi egyenlet felhasználásával történhet:

$$E_b = 2,46 \cdot E_m + 0,64 \cdot h_b - 54,6 \quad (3)$$

ahol

E_b	:	az FZKA alsó alapréteg modulusa [MPa]
E_m	:	az úttükör tartósan biztosítható méretezési modulusa [MPa]
h_b	:	az FZKA alsó alapréteg vastagsága [mm]

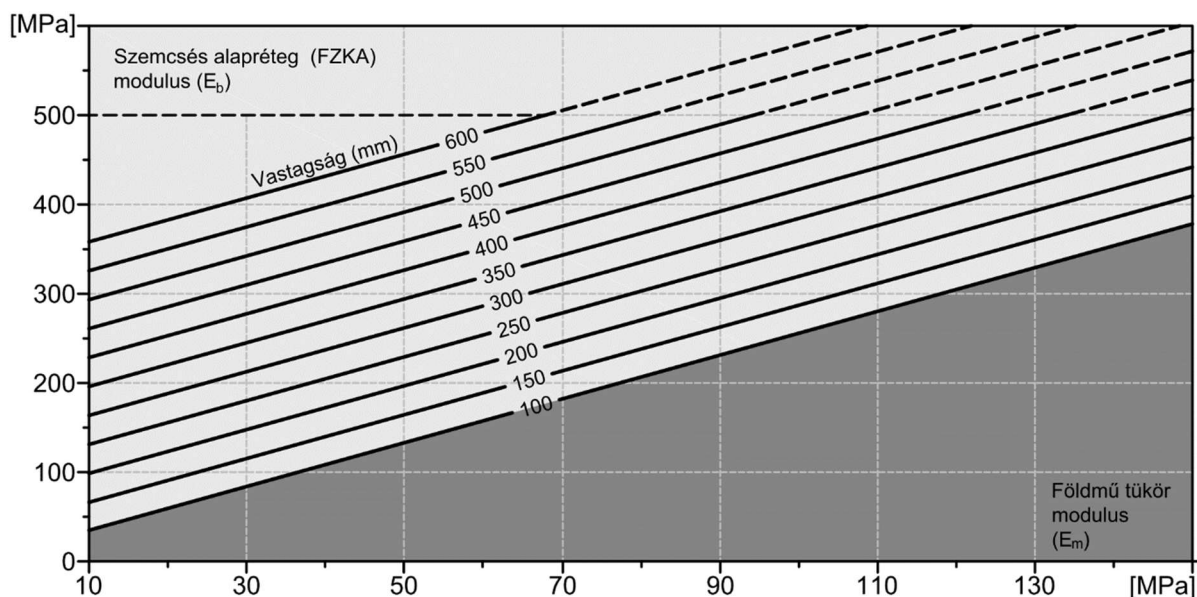
A (3) egyenlet $10 \text{ MPa} \leq E_m \leq 150 \text{ MPa}$ és $100 \text{ mm} \leq h_b \leq 800 \text{ mm}$ határok között, 25 mm-es lépésközökkel alkalmazható azzal a megszorítással, hogy az FZKA réteg modulusára teljesülni kell az $E_b \leq 500 \text{ MPa}$ feltételnek is.

Az FZKA réteg tervezhető minimális (h_b) vastagsága 100 mm, maximális vastagsága 800 mm, a Poisson-tényező értéke $\mu = 0,40$.

Az FZKA alsó alap gyakori (h_b) vastagsága 200-300 mm között van. A méretezésnél használt (h_b) vastagságot végül építési (v) vastagságokra kell felbontani, itt figyelembe kell venni, hogy a legnagyobb szemcseméret (D_{max}) a tömör rétegvastagság 1/3-ánál nem lehet nagyobb:

$$D_{max} \leq \frac{1}{3}v \quad (4)$$

ahol v az egy terítésben épített és tömörített réteg vastagsága, általában 100-200 mm.



7.ábra. Az FZKA alsó alapréteg modulusának meghatározása

Az FZKA alaprétegek tervezésénél mindig meg kell vizsgálni, hogy fennáll-e az altalaj esetleges elnedvesedését követően a felnyomódás kockázata, ha igen, akkor azt a földmű teherbírás tervezésénél tisztasági réteg, geotextília vagy meszes-, cementes talajstabilizáció betervezésével meg kell akadályozni.

Az építési és minőségi követelményeket az e-UT 06.03.51 [ÚT 2-3.206:2007] számú útügyi műszaki előírás szabályozza.

4.3.2.2. Hidraulikus (cement) kötőanyagú alsó alapréteg

A hidraulikus kötőanyagú alapréteg előírt szemeloszlással rendelkező kőanyag, cement és víz megfelelő arányú keverékéből, tömörítéssel előállított pályaszerkezeti alsó alapréteg. Tervezésénél be kell tartani az e-UT 06.03.52 [ÚT 2-3.207:2007] című útügyi műszaki előírásban foglaltakat.

A hidraulikus (cement) kötőanyagú alsó alapréteg méretezésekor figyelembe vehető mechanikai jellemzői:

$$\text{Rétegmodulus: } E_b = 2000 \text{ MPa}$$

$$\text{Poisson-tényező: } \mu = 0,20$$

A tervezhető minimális (h_b) vastagsága 150 mm, maximális vastagság 250 mm, mely 25 mm-es lépésközökkel változtatható.

Az építési és minőségi követelményeket az e-UT 06.03.51 [ÚT 2-3.206:2007] számú útügyi műszaki előírás szabályozza.

4.3.2.3. Bitumen kötőanyagú (aszfaltbeton) alsó alapréteg

A bitumen kötőanyagú (aszfaltbeton) alsó alapréteg előírt szemeloszlással rendelkező kőanyag és útépítési bitumen meleg keverésével és betömörítésével előállított pályaszerkezeti alapréteg. Teljes aszfalt pályaszerkezet esetén az aszfaltbeton (AC) anyagú alsó alapréteg méretezésekor figyelembe vehető mechanikai jellemzői:

$$\text{Rétegmodulus: } E_b = 4500 \text{ MPa (20°C)}$$

$$\text{Poisson-tényező: } \mu = 0,35$$

A fenti mechanikai paraméterek nem használhatók fel bitumen emulziós (e-UT 05.02.16 [ÚT 2-3.310:2004]) vagy habosított bitumennel (e-UT 06.03.24 [ÚT 2-2.126:2009]) készülő alsó alaprétegek tervezéséhez.

A tervezhető minimális, illetve maximális (h_b) vastagságok megválasztásánál be kell tartani az építhető vastagságokra vonatkozó követelményeket, az e-UT 06.03.21 [ÚT 2-3.302:2010] számú útügyi műszaki előírás szerint. Az építési és minőségi követelményeket az e-UT 05.02.11 [ÚT 2-3.301-1:2010] számú útügyi műszaki előírás szabályozza.

Teljes aszfalt pályaszerkezet esetén a mértékadó (ε_t) megnyúlást nem az aszfaltrétegek alján, hanem az alsó aszfaltbeton (AC) alapréteg alján kell meghatározni.

4.3.3. Aszfalt rétegrend tervezés

Az aszfaltrétegek modulusa erősen függ a pályaszerkezet pillanatnyi de egész évben folyamatosan változó hőmérsékletétől. A hőmérsékletfüggés miatt a többrétegű pályaszerkezet modellekben a hátralévő élettartam meghatározása a különböző nagyságú aszfalt modulusok miatt hosszadalmas és bonyolult számolás sorozatot tenne szükségessé. Ehelyett jelen eljárás – felhasználva a Miner-féle fáradási összefüggést –, rétegenként olyan egyenértékű hőmérséklet és aszfaltmodulus értékeket használ, amelyek, ha a teljes év alatt változatlanok lennének, akkor ugyanakkora fáradási kár keletkezne a pályaszerkezetben, mint a különböző hőmérsékletek eltérő aszfaltmodulusaival számolt igénybevételek összegzett hatása.

Aszfalt réteg	Egyenértékű aszfalt modulus [Mpa] 20°C	Az aszfalt keverék bitumen térfogata [%]	Poisson-tényező
Kopó	4 000	12,8	0,35
Kötő	5 800	11,4	0,35
Alap	4 500	11,0	0,35

1. táblázat. A méretezéshez használható egyenértékű aszfaltmodulusok

Az aszfalt kopó-, kötő- és alapréteg tervezési paramétereit az 1. táblázat foglalja össze. A méretezés szempontjából a normál és a polimerrel modifikált bitumennel (PmB) kevert aszfaltok modulusa megegyezik. Az aszfaltrétegek építési és minőségi követelményeit az e-UT 05.02.11 [ÚT 2-3.301-1:2010] számú utügyi műszaki előírás szabályozza, de az abban foglalt merevség- és fáradásértékek nem helyettesíthetők jelen Tervezési Útmutató értékeivel.

A különböző modulusú aszfaltrétegeket egy réteggé kell összevonni a háromrétegű pályaszerkezeti modell felállításához. Két aszfaltréteg összevont modulusa egyenlő az alsó réteg modulusával $E_a = E_{a2}$, vastagsága (h_a) pedig az (5) egyenletben közölt súlyfüggvény segítségével számítandó:

$$h_a = \left[\frac{A^4 + 4A^3N + 6A^2N + 4AN + N^2}{(A+1)^3(A+N)} \right]^{1/3} \cdot (h_{a1} + h_{a2}) \quad (5)$$

ahol

$$A = \frac{h_{a2}}{h_{a1}} \text{ és } N = \frac{E_{a1}}{E_{a2}}$$

E_a	:	az aszfaltrétegek egyenértékű modulusa [MPa]
E_{ai}	:	az i -ik aszfaltréteg modulusa ($i = 1 \dots n$) [MPa]
h_a	:	az aszfaltrétegek egyenértékű vastagsága [mm]
h_{ai}	:	az i -ik aszfaltréteg vastagsága ($i = 1 \dots n$) [mm]

Az aszfalt rétegeket felülről lefele számozva, E_{a1} , E_{a2} és E_{a3} merevségű és h_{a1} , h_{a2} és h_{a3} vastagságú aszfaltrétegek fekszenek az alsó alaprétegen vagy földművön. A felső két aszfaltréteg összevonása alapján a többirétegű rendszer az alábbi lépésekben alakítható át:

1. Felülről az első (E_{a1} , h_{a1}) és második (E_{a2} , h_{a2}) pályaszerkezeti rétegeket egyenértékű réteggé összevonva, az eredmény egy $E_a = E_{a2}$ és h_a paraméterekkel jellemzett réteg.
2. Az egyenértékű réteget (E_a , h_a) a sorban következő (E_{a3} , h_{a3}) réteggel összevonva állítható elő egy újabb $E_a = E_{a3}$ és h_a paraméterekkel jellemezhető réteg.
3. Az első két lépés egészen addig folytatandó, amíg az alsó alap vagy a földmű feletti összes aszfaltréteg összevonása meg nem történik, az eredeti rétegrenddel egyenértékű réteggé (E_a , h_a).

Az aszfaltburkolati rétegek a modellszámítás alatt egy E_a és h_a paraméterekkel jellemzett ún. egyenértékű aszfalt réteggel kerülnek figyelembevételre.

4.4. Igénybevételek számítása a pályaszerkezetben

Az útpályaszerkezetek méretezésekor használt háromrétegű mechanikai modell egyes rétegeinek anyag jellemzőit:

- az E rugalmassági modulusok [MPa],
- a μ Poisson-tényezők [-], illetve
- a h rétegvastagságok [mm]

képviselik.

A terhelést a 100 kN nagyságú egységtengely egyik kerekének terhelő ereje (50 kN) jelenti egy $r = 150$ mm sugarú körtárcsa felületén megoszló $p = 0,7$ MPa nyomás alakjában.

Már egy valóságos útpályaszerkezet háromrétegű rendszerrel történő helyettesítése is jelentős egyszerűsítés, azonban az igénybevételek meghatározása még ebben az esetben is igen nagy számítási munkát jelent és a gyakorlati alkalmazhatóság grafikonok és táblázatok nehézkes vagy számítógépes programok egyszerűbb használatát igényli. Erre tekintettel a jelen Tervezési Útmutató alkalmazásának kiírója a számítások végrehajtásához elektronikusan elérhető számítástechnikai támogatást biztosít, vagy arra alkalmas, több – a kereskedelmi forgalomban hozzáférhető – méretező szoftvert jelöl ki (pl. Bitumen Stress Analysis in Roads (BISAR), WESLEA for Windows).

A megfelelő számítástechnikai támogatással a háromrétegű pályaszerkezetmodellben az alábbi igénybevételek határozandók meg a terhelés tengelyében:

- 1) Az aszfaltréteg alsó szálában értelmezett (ε_t) nyúlás microstrainben kifejezve:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{\text{mértékadó}}^{\text{aszfalt}} \text{ } \mu\text{strain}$$

- 2) A földmű tetején értelmezett (ε_v) összenyomódás microstrainben kifejezve:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{\text{mértékadó}}^{\text{földmű}} \text{ } \mu\text{strain}$$

A Tervezési Útmutató érvényességében – így a kijelölt és közreadott segédprogram kapcsán – beálló minden változást a Tervezési Útmutató kiadója hivatalosan közzétesz.

4.4.1. Határigénybevételek meghatározása

4.4.1.1. A pályaszerkezet méretezési forgalom meghatározása

A tervezési forgalom (TF [F100]) meghatározása az e-ÚT 06.03.13. [ÚT 2-1.202:2005] számú utügyi műszaki előírásban foglaltak szerint történik, azzal a megkötéssel, hogy jelen eljárás alkalmazása csak 1 millió egységtengely áthaladási szám felett engedélyezett.

4.4.1.2. Az anyagokra jellemző fáradási tulajdonságok meghatározása

Az analitikus méretezési eljárás egyik kritériuma, hogy az együttműködő aszfaltrétegek alján ébredő húzási nyúlások ne legyenek nagyobbak, mint az illető terhelési szint fáradási határigénybevétele az illető aszfaltanyag Wöhler-görbéje alapján. Adott terhelési szinthez tartozó megengedett egységtengely áthaladási szám az alábbi (6) összefüggéssel határozható meg:

$$N_{eng} = \frac{F}{SF} \left[\frac{10^4 \cdot (0,856 \cdot V_b + 1,08)}{E_a^{0,36} \cdot \varepsilon_t} \right]^5 \quad (6)$$

ahol

N_{eng}	:	a megengedett (F100) egységtengely áthaladási szám [db]
V_b	:	a bitumen térfogata az 1. táblázat szerint [%]
E_a	:	az aszfaltréteg modulusa az 1. táblázat szerint [MPa]
ε_t	:	a számított vízszintes fajlagos megnyúlás [μ strain]
SF	:	a shiftfaktor, értéke az alsó burkolatalap típusának függvényében változik
F	:	a biztonsági tényező, értéke az alsó pályaszerkezeti aszfaltréteg típusának megfelelően változik

Shift faktor (SF) értéke:

kötőanyag nélküli (szemcsés) alsó alapréteg (FZKA): $SF = 3,00$
 hidraulikus (cement) kötőanyagú alsó alapréteg (CK_T): $SF = 2,50$
 bitumen kötőanyagú (aszfaltbeton) alsó alapréteg (AC): $SF = 5,00$

Biztonsági (F) tényező:

hagyományos útépitési bitumen (normál): $F = 1,00$

polimerrel módosított bitumen (PmB): $F = 1,50$

A forgalom és a fáradási egyenes alkalmazása lehetővé teszi a megengedhető nyúlások vagy feszültségek meghatározását. A (6) összefüggést átalakítva, $N_{eng} = TF$ jelölést bevezetve, kapjuk a tervezési forgalomhoz tartozó megengedett vízszintes fajlagos megnyúlás értékét (7):

$$\varepsilon_{eng}^{aszfalt} = \left[\frac{F}{SF} \right]^{0,2} \cdot \frac{10^4 \cdot (0,856 \cdot V_b + 1,08)}{E_a^{0,36} \cdot TF^{0,2}} \quad (7)$$

ahol a változók a korábbiak szerint értelmezendők.

A földmű összenyomódás kritériumra a belga CRR útügyi kutatóintézet módosított (szigorúbb) összefüggése alkalmazandó a lenti összefüggés (8) szerint:

$$\varepsilon_{eng}^{földmü} = \frac{6000}{TF^{0,23}} \quad (8)$$

ahol

$\varepsilon_{eng}^{földmü}$	:	a megengedett függőleges fajlagos megnyúlás [μ strain]
TF	:	a tervezési forgalom (F100) egységtengely áthaladási számban [db]

4.4.2. A méretezés végrehajtása

Az analitikus méretezés elve szerint, a terhelésből adódó mértékadó igénybevételek a tervezési élettartam alatt várható egységtengely áthaladási szám alapján meghatározott megengedett igénybevételeket nem haladhatják meg. Ennek ellenőrzése az alábbiak szerint történik:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{mértékadó}^{aszfalt} \leq \varepsilon_{eng}^{aszfalt}$$

és

$$\varepsilon_v = \varepsilon_{mértékadó}^{földmü} \leq \varepsilon_{eng}^{földmü}$$

Ha a számított – mértékadó – igénybevétel nagyobb, mint a – megengedett – határigénybevétel, akkor a szerkezet NEM fel meg, az anyagjellemzők és a rétegvastagságok újraszámítása szükséges. Ha a számított – mértékadó – igénybevétel kisebb, mint a – megengedett – határigénybevétel, akkor a szerkezet mechanikai szempontból MEGFELEL, és a túlméretezés ellenőrzése után a rétegvastagságokat véglegesíteni kell az alkalmazott technológiának megfelelően.

Gondosan kell eljárni a vékony aszfaltrétegek tervezésnél, különösképpen merev alsó alaprétegek esetén, mivel a pályaszerkezetben ébredő igénybevételek két vastagsági érték esetén is kielégíthetik a fenti követelményt. A kétértelmű megoldások elkerülésének és a repedésáttükröződés kockázatának minimalizálásának érdekében, a CK_T alsó alaprétegre épített aszfalt pályaszerkezetek minimális aszfaltvastagság 150 mm-nél nem lehet kisebb.

4.4.3. Az útpályaszerkezet fagyvédelmének ellenőrzése

A méretezett útpályaszerkezetet a fagy- és az olvadási károk megelőzése érdekében ellenőrizni kell, illetve a fagyvédőréteg szükséges vastagságának méretezését és tervezését el kell végezni, az e-ÚT 06.02.11 (ÚT 2-1.222:2007) „Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai” című útügyi műszaki előírásban foglaltak szerint. Ha nem megfelelő, a rétegek vastagságát vagy anyagát szükséges megváltoztatni és a méretezést újra elvégezni.

4.4.4. A pályaszerkezetek javasolt műszaki egyenértékűsége

Tekintettel arra, hogy az útpályaszerkezetek tervezett és megvalósult élettartama közötti különbség esetenként meglepően nagy lehet, az egyes pályaszerkezetek műszaki egyenértékűség tekintetében történő összevetésekor szélesebb igénybevételi határokat célszerű figyelembe venni. Így a méretezett útpályaszerkezetek műszaki egyenértékűségének vizsgálatakor azok közvetlen összevetése – például a megengedett teherismétlési számok diszkrét értékei alapján, tekintettel az útpályaszerkezet méretezési eljárásokban kimutatható nagy szórásra – félrevezető lehet, ezért az egyenértékűséget – a teherviselő képességgel arányosan, de sávosan – határértékkel kijelölve célszerű rögzíteni a 2. táblázat alapján.

Mértékadó aszfalt megnyúlás értékekhez rendelt egyenértékű tartományok (μ strain)						
> 220	200 - 220	175 - 200	140 - 175	110 - 140	100 - 110	< 100
A műszakilag egyenértékű tartomány jele						
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.

2. táblázat. A műszaki egyenértékűség határértékei

Az eljárás alkalmazásakor javasolt definíció szerint két útpályaszerkezet műszakilag egyenértékű, ha az alsó aszfaltszálában ébredő – számított – mértékadó megnyúlás értéke ugyanabba a megnyúlás tartományba esik.

5. MINTASZÁMÍTÁS

5.1. Méretezés

Méretezzen egy hidraulikus alaprétegű útpályaszerkezetet az alábbi megbízási adatszolgáltatás alapján:

- TF (F100) = **9 800 000 Et**
- CBR (talaj teherbírás) = **5%**

Alkalmazva a (10) képletet kapjuk a talaj (méretezéshez szükséges) teherbírási modulusát:

$$E_{talaj} = 10,0 \cdot CBR\% = 10,0 \cdot 5\% = 50,00 \text{ MPa}$$

Alkalmazva a (11) képletet kapjuk a talaj (helyszíni ellenőrzéshez szükséges) statikus teherbírási modulusát:

$$E_{2talaj} = 10,0 \cdot CBR\%^{2/3} = 10,0 \cdot 5\%^{2/3} = 29,24 \text{ MPa}$$

A kapott értéket úgy kerekítjük, hogy nullára vagy ötre végződjön az utolsó számjegy, ennek megfelelően:

$$E_{2talaj} = 30 \text{ MPa}$$

A talajvizsgálati jelentés (talaj és talajvíz viszonyok) ismeretében és az elérhető útépitési anyagok és technológiák figyelembevétele mellett a tartósan biztosítható földmű (E_m) méretezési teherbírási modulusa:

$$E_m = 80 \text{ MPa}$$

Figyelembe véve, hogy $E_{talaj} \ll E_m$, javítóréteg betervezése szükséges. A javítóréteg építésére mechanikai stabilizációt használunk (M22), aminek a mechanikai paramétereit engedélyezési tervfázisig a Melléklet 4. táblázat tartalmazza. A tömörített talaj $E_{talaj} = 50 \text{ MPa}$ értékű teherbírási modulusát egy $E_j = 180 \text{ MPa}$ modulusú M22 anyaggal javítjuk az úttükör szintjére tervezett $E_m = 80 \text{ MPa}$ értékű teherbírási modulusra. A 5. ábra vízszintes tengelyéről az $E_j/E_{talaj} = 3,6$ értéket az $E_j/E_m = 2,25$ interpolált görbére vetítve, a metszéspontot az ordinátatengelyre kivetítve kapjuk a javítóréteg keresett $h_j = 170 \text{ mm}$ vastagságát.

Ebben a példában 200 mm vastag hidraulikus kötőanyagú (CK_T) alapréteget és 40+70+70 mm vastag aszfaltrétegeket választva az alábbi háromrétegű modell konstruálható.

Felépítés	Vastagság (mm)	Modulus (MPa)	Poisson -szám	Egyenértékű modulus és vastagság	Mértékadó megnyúlás* (mikrostrain)	Mértékadó összenyomódás* (mikrostrain)
aszfalt kopóréteg	40	4000	0,35	E _a = 4500 MPa H _a = 181 mm		
aszfalt kötőréteg	70	5800				
aszfalt alapréteg	70	4500			178	
hidraulikus alapréteg	200	2000	0,20			
földmű		80	0,40			

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

A megengedett megnyúlás meghatározáshoz használjuk fel a (7) egyenlet eredményét:

$$\varepsilon_{eng}^{aszfalt} = \left[\frac{F}{SF} \right]^{0,2} \cdot \frac{10^4 \cdot (0,856 \cdot V_b + 1,08)}{E_a^{0,36} \cdot TF^{0,2}} = \left[\frac{1,00}{2,50} \right]^{0,2} \cdot \frac{10^4 \cdot (0,856 \cdot 11 + 1,08)}{4500^{0,36} \cdot 9,800,000^{0,2}}$$

és

$$\varepsilon_{eng}^{aszfalt} = 169 \mu\text{strain}$$

Mivel $\varepsilon_{mértékadó}^{aszfalt} > \varepsilon_{eng}^{aszfalt}$ a szerkezetet át kell tervezni.

Megnövelve a kötőréteg és alapréteg vastagságát 80 mm-re, és ismételten elvégezve a számításokat az alábbi eredményeket kapjuk.

Felépítés	Vastagság (mm)	Modulus (MPa)	Poisson -szám	Egyenértékű modulus és vastagság	Mértékadó megnyúlás* (mikrostrain)	Mértékadó összenyomódás* (mikrostrain)
aszfalt kopóréteg	40	4000	0,35	E _a = 4500 MPa H _a = 211 mm		
aszfalt kötőréteg	80	5800				
aszfalt alapréteg	80	4500			161	
hidraulikus alapréteg	200	2000	0,20			
földmű		80	0,40			73

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

Mivel $\varepsilon_{mértékadó}^{aszfalt} < \varepsilon_{eng}^{aszfalt}$, a szerkezet **megfelel** fáradásra.

Ellenőrizve a szerkezetet a földmű függőleges összenyomódására, a (8) egyenlet alapján kapjuk:

$$\varepsilon_{eng}^{földmű} = \frac{6000}{TF^{0,23}} = \frac{6000}{9,800,000^{0,23}} = 148 \mu\text{strain}$$

Mivel $\varepsilon_{mértékadó}^{földmű} < \varepsilon_{eng}^{földmű}$, a szerkezet **megfelel** nyomvályú kritériumra. Mivel a szerkezet mind a két kritériumot teljesíti, a méretezésnek vége.

5.2. Adott forgalmi terhelésre történő ellenőrzés

A Megbízó E₂ = 40 MPa-os talajteherbírás és 550 mm vastag szemcsés javítórétegre (M56) teljes aszfalt pályaszerkezet tervez. Az aszfaltszerkezet felépítése 40 + 80 + 80 + 100 = 300 mm, az autópálya becsült tervezési forgalma 75 millió Et.

Az E₂ = 40 MPa-os talajteherbírás az (11) egyenlet szerint 8 CBR%-nak felel meg. Ebből már a talaj (E_{talaj}) teherbírási modulusa a (10) egyenlet alapján számolható:

$$E_{talaj} = 17,5 \cdot CBR^{0,65} = 17,5 \cdot 8^{0,65} = 67,62 \text{ MPa}$$

A kapott értéket úgy kerekítjük, hogy nullára vagy ötre végződjön az utolsó számjegy, ennek megfelelően:

$$E_{talaj} = 65 \text{ MPa}$$

A mechanikai stabilizáció (M56) modulusát engedélyezési tervfázisig a Melléklet 4. táblázata tartalmazza. A javítóréteg modulusa (E_j) és vastagsága (h_j) alapján a tartósan biztosítható földmű (E_m) méretezési teherbírasi modulusa az 5. ábra alapján meghatározható:

$$E_{talaj} = 65 \text{ MPa}, E_j = 200 \text{ MPa és } h_j = 550 \text{ mm}$$

ebből

$$E_j/E_{talaj} = 3,1$$

Az 5. ábrán felkeresve a vízszintes tengelyen $E_j/E_{talaj} = 3,1$ -et és az ordinátatengelyen felmérve $h_j = 550 \text{ mm}$ értéket, kapjuk a keresett $E_j/E_m = 1,33$ arányossági tényezőt. A leolvasott értéket szorozva az ismert E_j értékkel kapjuk meg a keresett tartósan biztosítható földmű (E_m) méretezési teherbírasi modulusát: $E_m = 150 \text{ MPa}$.

Meghatározva az aszfaltrétegek helyettesítő modulusát és vastagságát az (5) egyenlet segítségével, az alábbi háromrétegű modell konstruálható.

Felépítés	Vastagság (mm)	Modulus (MPa)	Poisson-szám	Egyenértékű modulus és vastagság	Mértékadó megnyúlás* (mikrostrain)	Mértékadó összenyomódás* (mikrostrain)
aszfalt kopóréteg	40	4000	0,35	$E_a = 5800 \text{ MPa}$ $H_a = 113 \text{ mm}$		
aszfalt kötőréteg	80	5800				
aszfalt alaprég	180	4500		$E_a = 4500 \text{ MPa}$ $H_a = 180 \text{ mm}$	92	
földmű		150	0,40			38

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

Alkalmazva a (6) egyenletet, kapjuk:

$$N_{eng} = \frac{F}{SF} \left[\frac{10^4 \cdot (0,856 \cdot V_b + 1,08)}{E_a^{0,36} \cdot \varepsilon_t} \right]^5 = \frac{1.00}{5.00} \left[\frac{10^4 \cdot (0,856 \cdot 11 + 1,08)}{4500^{0,36} \cdot 92} \right]^5 = 102,600,000 \text{ Et}$$

A szerkezet aszámítás alapján képes a tervezett 75 millió egységtengely elviselésére. Ellenőrizve a földmű függőleges összenyomódási kritériumot a (8) egyenlet alapján:

$$\varepsilon_{eng}^{földmü} = \frac{6000}{TF^{0,23}} = \frac{6000}{75,000,000^{0,23}} = 93 \mu\text{strain}$$

A szerkezet a számítás alapján képes a tervezett 75 millió egységtengely elviselésére a nyomványú kritériumra szerint is.

5.3. Egyenértékűség vizsgálat

Vizsgálja az alábbi három (A-B-C jelű) útpályaszerkezet műszaki egyenértékűségét. Az input adatok alapján háromrétegű modellt építve és elvégezve a számításokat kapjuk az aszfaltrétegek alsó szálában ébredő mértékadó fajlagos vízszintes megnyúlás értékeket.

A táblázatban látható adatok alapján megállapítható, hogy az „A” és „B” szerkezet a III. egyenértékűségi tartományba esik, azaz egyenértékűnek tekinthetők, a „C” szerkezet az előzőktől magasabb teljesítménnyel rendelkezik, mivel az IV. tartományba esik. Így a „C” szerkezet az „A és B” szerkezettel nem tekinthető egyenértékűnek.

[A] SZERKEZET						
Felépítés	Vastagság (mm)	Modulus (MPa)	Poisson -szám	Egyenértékű modulus és vastagság	Mértékadó megnyúlás* (mikrostrain)	Egyenértékű tartomány jele
aszfalt kopóréteg	40	4000	0,35	E _a = 4500 MPa H _a = 201 mm	180	III.
aszfalt kötőréteg	80	5800				
aszfalt alapréteg	80	4500				
hidraulikus alapréteg	150	2000	0,20			
földmű		70	0,40			

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

[B] SZERKEZET						
Felépítés	Vastagság (mm)	Modulus (MPa)	Poisson -szám	Egyenértékű modulus és vastagság	Mértékadó megnyúlás* (mikrostrain)	Egyenértékű tartomány jele
aszfalt kopóréteg	40	4000	0,35	E _a = 4500 MPa H _a = 222 mm	177	III.
aszfalt kötőréteg	80	5800				
aszfalt alapréteg	100	4500				
FZKA alapréteg	250	250	0,40			
földmű		50	0,40			

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

[C] SZERKEZET						
Felépítés	Vastagság (mm)	Modulus (MPa)	Poisson -szám	Egyenértékű modulus és vastagság	Mértékadó megnyúlás* (mikrostrain)	Egyenértékű tartomány jele
aszfalt kopóréteg	40	4000	0,35	E _a = 4500 MPa H _a = 201 mm	143	IV.
aszfalt kötőréteg	80	5800				
aszfalt alapréteg	80	4500				
hidraulikus alapréteg	250	2000	0,20			
földmű		100	0,40			

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

6. HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK ÉS ELŐÍRÁSOK

Hivatkozási szám	Cím	Érvényesség kezdete
e-UT 06.02.11. ÚT 2.1.222:2007	Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai	2007-04-01
e-UT 06.03.13. ÚT 2-1.202:2005	Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése	2005-06-01
e-UT 06.03.51 ÚT 2-3.206:2007	Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei. Építési előírások	2007-07-01
e-UT 06.03.52 ÚT 2-3.207:2007	Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei. Tervezési előírások	2007-07-01
e-UT 06.03.21 ÚT 2-3.302:2010	Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési feltételek és minőségi követelmények	2010-02-15
e-UT 05.02.11 ÚT 2-3.301-1:2010	Útépítési aszfaltkeverékek. Aszfaltbeton (AC)	2010-02-15
e-UT 06.03.24 ÚT 2-2.126:2015	Habosított bitumennel keverőtelepen készülő út-pályaszerkezeti alapréteg	2009-03-15
e-UT 05.02.16 ÚT 2-3.310:2004	Kationaktív bitumenemulzió kötőanyagú alaprétegek, útburkolatok és kátyúzókeverékek	2004-01-01
MSZ EN 1997-2:2008	Eurocode 7: Geotechnikai tervezés. 2. rész: Geotechnikai vizsgálatok	2008-12-01
MSZ 14043-7:1981	Talajmechanikai vizsgálatok. A talajok tömöríthetőségének és tömörségének vizsgálata.	1981-11-01
MSZ EN 13286-47:2012	Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek. 47. rész: Vizsgálati módszer a kaliforniai teherbírási (CBR-) érték, a közvetlen teherbírási index és a lineáris duzzadás meghatározására	2012-11-01
MSZ EN 13286-7:2004	Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú keverékek. 7. rész: Kötőanyag nélküli keverékek ciklusos terheléses, triaxiális vizsgálata	2004-08-01
MSZ 2509-3:1989	Útpályaszerkezetek teherbíró képességének vizsgálata. Tárcsás vizsgálat	1990-04-01
MSZ EN 13249:2014+A1:2015	Geotextíliák és rokon termékeik. Az utak és más közlekedési területek (a vasutak és az aszfalt beépítésének kivételével) szerkezetében való alkalmazás előírt jellemzői	2015-08-01
MSZ 14043-2:2006	Talajmechanikai vizsgálatok. Talajok megnevezése talajmechanikai szempontból	2006-07-01

7. MELLÉKLET

7.1. Talajok, kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú szemcsés keverékek rugalmassági modulusának meghatározása

A talajok, kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú szemcsés keverékek a terhelés hatására nemlineáris módon viselkednek, a Hooke-törvény csak korlátozottan érvényes. A rugalmasságtan alapelveit felhasználó útpályaszerkezet méretezési eljárások ennek ellenére megkövetelik a „rugalmas” viselkedést leginkább jellemző modulusértékek meghatározását. Ez a reziliens (rugalmassági) modulus, csak ciklusos terheléses triaxiális vizsgálattal (4. ábra) határozható meg kellő pontossággal (MSZ EN 13286-7:2004).

A vizsgálathoz ($w_{opt} + \Delta w$) víztartalom mellett előkészített és adott tömörségre beállított mintát kell felhasználni. A ciklusos terheléses triaxiális vizsgálat eredményeiből az 5. ábra alapján meghatározandó a tömörített minta reziliens modulusa (M_r):

$$M_r = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_r} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\varepsilon_r} \quad (9)$$

ahol

σ_d	:	deviátorfeszültség [MPa]
ε_r	:	rugalmas (visszaalakuló) tengelyirányú fajlagos alakváltozás

A reziliens modulus a 3D Hooke-törvény alapján is számítható az MSZ EN 13286-7:2004 szerint. A reziliens modulus (M_r) becsülhető a széles körben elterjed CBR (California Bearing Ratio) vizsgálat (MSZ EN 13286-47:2012) eredményei alapján is:

$$M_r \approx \begin{cases} 10,0 \cdot CBR & \text{ha } CBR \leq 5\% \\ 17,5 \cdot CBR^{0,65} & \text{ha } CBR > 5\% \end{cases} \quad (10)$$

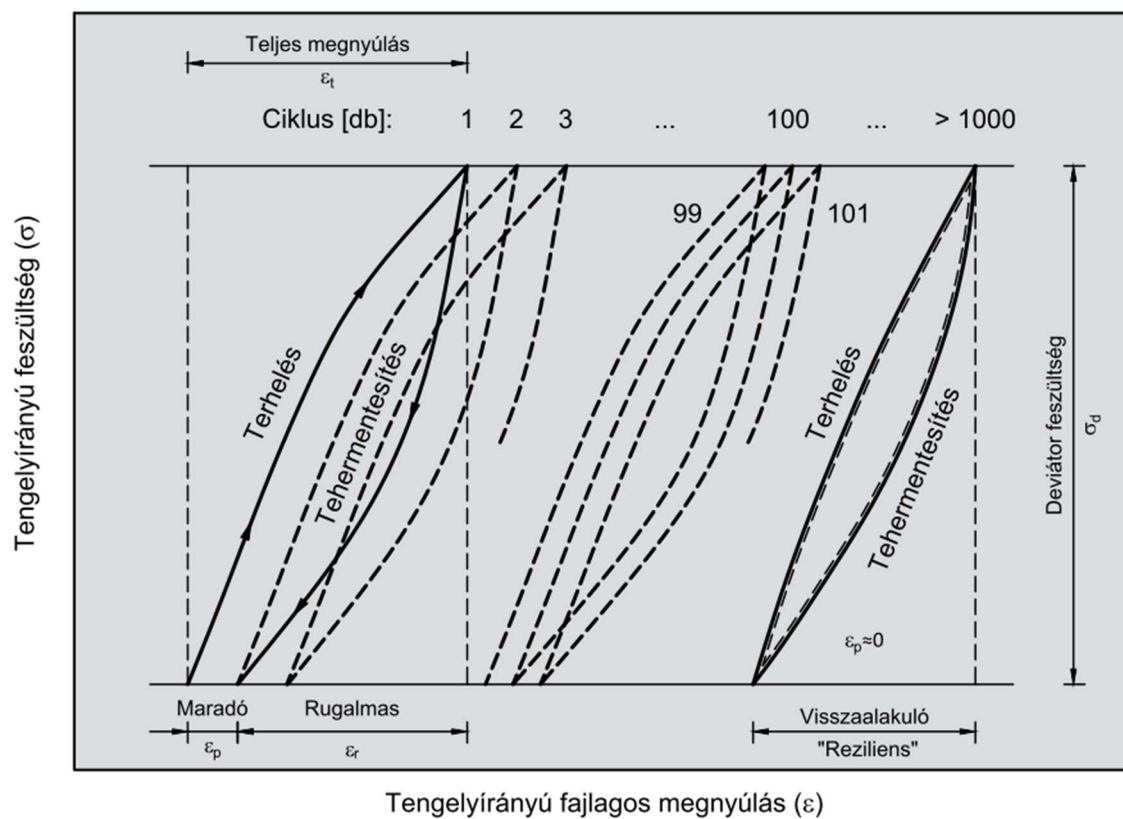
A reziliens modulus (M_r) dinamikus teherbírasi modulus, ezért az közvetlenül nem feleltethető meg a helyszíni statikus tárcsás teherbírasmérés E_2 eredményének (MSZ 2509-3:1989). Tájékoztató jelleggel a Melléklet 3. táblázata mutatja be földműanyagok esetén a különböző vizsgálati módszerekkel meghatározott, egymásnak megfeleltethető teherbírásértékeket.

7.2. A statikus teherbírasi modulus meghatározása CBR vizsgálatból

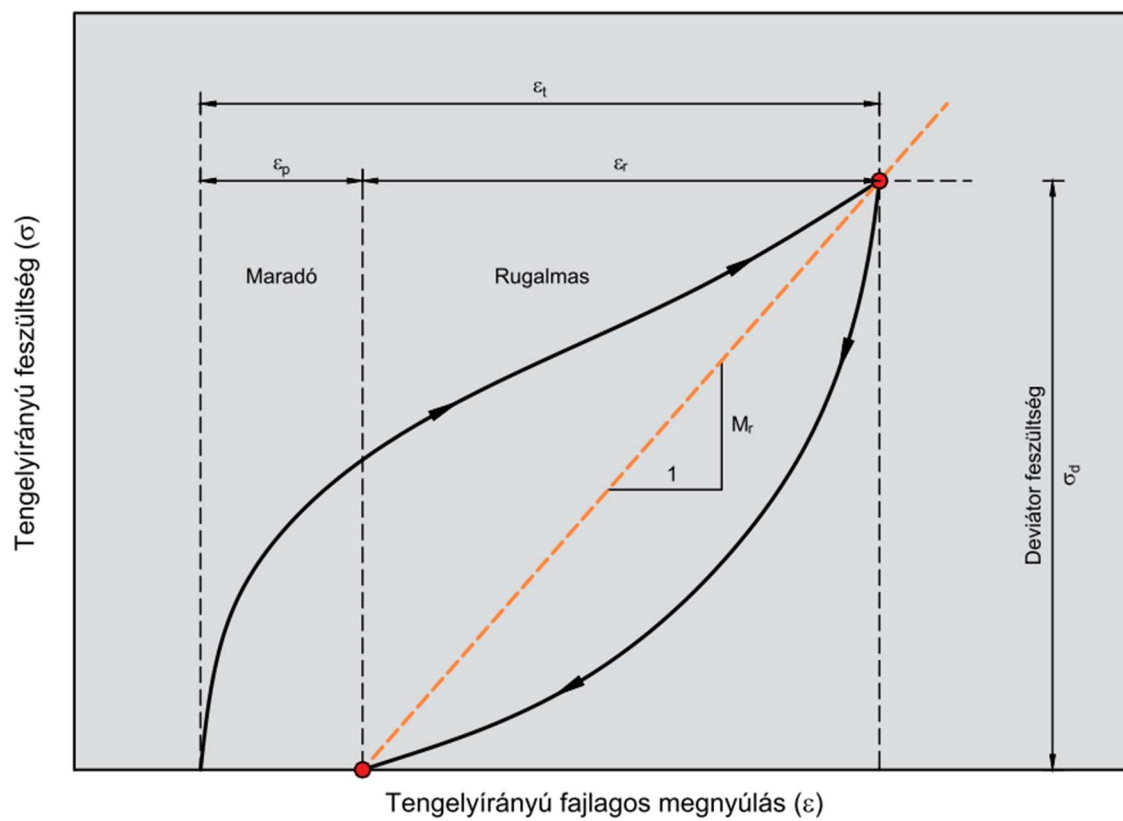
A kivitelezés helyszíni minősítésekor mért E_2 érték, a laboratóriumi CBR vizsgálat eredményeiből becsülhető (MSZ 2509-3:1989):

$$E_2 = 10,0 \cdot CBR^{2/3} \quad (11)$$

A statikus tárcsás teherbírasmérés E_2 eredménye a vizsgált pályaszerkezeti réteg felületén értelmezett ún. egyenértékű felületi modulus (E_e), ezért az így kapott értéket rétegmodulusként nem lehet felhasználni.



7. ábra. A ciklusos triaxiális vizsgálat elve



8. ábra. A reziliens modulus értelmezése

CBR [%]	M _r [MPa]	E ₂ [MPa]	Megjegyzés
1	10	10	Lecsökkent teherbírásértékek, védőréteg tervezése szükséges
2	20	15	
3	30	20	
4	40	25	
5	50	30	Elfogadható és jó teherbírásértékek
10	75	45	
15	100	60	
20	120	75	
25	140	85	
30	155	95	Kimagaslóan jó teherbírásértékek

3. táblázat. Az eltérő vizsgálati módszerekkel meghatározott teherbírásértékek megfeleltetése földműanyagok esetén

Csoport	Anyag	Réteg modulus M _r [MPa]	Poisson-tényező μ (-)
Folytonos szemeloslású zúzottkövek	FZKA 0/22	240	0,40
	FZKA 0/32	280	
	FZKA 0/56	320	
Mechanikai stabilizációk	M22	180	0,40
	M56	200	
	M80	220	
Szemcsés anyagok	Homok	60	0,30
	Homokos kavics	80	0,35
	Kavicsos homok	100	0,35
	Meddős zúzottkő	120	0,35
	Zúzottkő	140	0,40
Hidraulikus kötőanyagú stabilizációk	Cement (CEM) talajstabilizáció (homok talaj)	300	0,20
	Cement és mész talajstabilizáció (átmeneti talaj)	250	0,20
	Mész (L) talajstabilizáció (kötött talaj)	200	0,20

4. táblázat. A javítóréteg építésére felhasználható anyagok mechanikai jellemzői

8. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra. A méretezési modulusok és a pályaszerkezet általános rétegrendje
2. ábra. Az analitikus méretezési eljárás folyamatábrája
3. ábra. A földmű felső (2×50 cm-es) részének jellemző kialakítása a méretezéskor
4. ábra. A földmű teherbírás tervezés folyamatábrája
5. ábra. A földmű javítóréteg vastagságának meghatározása
6. ábra. Az alsó alapréteg tervezés folyamatábrája
7. ábra. A ciklusos triaxiális vizsgálat elve
8. ábra. A reziliens modulus értelmezése