TERVEZÉSI
ÚTMUTATÓ

Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének alternatív módszere

2016. április 8.

TARTALOM

1. A TERVEZÉSI ÚTMUTATÓ HATÁLYA 2
2. AZ ALKALMAZÁS FELTÉTELEI 2
   2.1. Általános feltételek 2
   2.2. Környezeti feltételek 2
   2.3. Hivatkozások 2
3. FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK 3
   3.1. Egységtengely (Et) 3
   3.2. Egységtengely-áthaladási szám (F100) [db] 3
   3.3. Tervezési forgalom (TF) 3
   3.4. Többrétegű rendszer 3
   3.5. Poisson-tényező (μ) 3
   3.6. Rugalmassági modulus, réteg modulus (E) 3
   3.7. Megengedett vízszintes fajlagos megnyúlás (ε_v) 3
   3.8. Megengedett függőleges fajlagos összenyomódás (ε_f) 4
   3.9. Talaj teherbírási modulusa (E_{2talaj}) 4
   3.10. A földmű 4
   3.11. Földmű méretezési teherbírása (E_{2m}) 4
   3.12. Talajstabilizáció 4
   3.13. Javítóréteg 5
   3.14. Fagyvédő réteg 5
   3.15. Tisztasági réteg 5
   3.16. Védőréteg 5
   3.17. Úttükör 5
   3.18. Hidraulikus kötőanyagú rétegek 5
   3.19. A méretezési modulusok értelmezése a pályaszerkezeti modellben 5
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 tervezése 8
      4.3.2. A javítóréteg tervezése 9
      4.3.3. Alapréteg anyagának kiválasztása, tervezése 11
      4.3.4. Aszfalt rétegrend tervezés 12
   4.4. Igénybevételek számítása a háromrétegű rendszerben 14
      4.4.1. Határigénybevételek meghatározása 15
      4.4.2. A méretezés végrehajtása 16
   4.5. Az útpályaszerkezet fagyvédelmének ellenőrzése 16
   4.6. A pályaszerkezetek javasolt műszaki egyenértékűsége 17
5. MINTASZÁMÍTÁS 18
   5.1. Méretezés 18
   5.2. Adott forgalmi terhelésre történő ellenőrzés 20
   5.3. Egyenértékűség vizsgálat 20
6. Jelölések 22

1. A TERVEZÉSI ÚTMUTATÓ HATÁLYA

A jelen tervezési útmutató célja, hogy az 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 műszaki képességek esetleges figyelembevételére.
A jelen tervezési útmutató az e-ÚT 06.03.13. „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése" (ÚT 2-1.202:2005) 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 pályaszerkezet és 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.

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 találhatók, azok figyelembevétele jelen tervezési útmutató alkalmazásakor elengedhetetlen.
Jelen tervezési útmutató alkalmazása során meg kell győződni arról, hogy nem jelent-e meg 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.

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-ÚT 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" (MPa) rétegmodulusok és „μ" Poisson-tényezők képviselik a réteg „H" vastagságán kívül. A terhelést az egységtengely egyik kerekének terhelő ereje jelenti egy „r" sugarú körtárcsa felületén megoszló „p" nyomás alakjában.

3.5. Poisson-tényező (μ)

A pályaszerkezeti anyag 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. Megengedett vízszintes fajlagos megnyúlás (ε_v)

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

3.8. Megengedett függőleges fajlagos összenyomódás (ε_f)

Nyomó-igénybevételekből eredő fáradási kritérium, amely szerint a földműre nem juthat nagyobb igénybevétel, mint amit a földmű az élettartam alatt áthaladó egységtengelyek hatására károsodás (pl. maradó alakváltozás) nélkül elviselhet.

3.9. Talaj teherbírási modulusa (E_{2talaj})

A tömörített talaj felső rétegének felszínén a tervezéshez felvett E_2 teherbírási modulus az MSZ 2509-3 szerinti értelmezésben.

3.10. 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.

3.11. Földmű 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 teherbírási modulus fogalmának megfelelően kell figyelembe venni. A jelen tervezési útmutató az e-ÚT 06.03.13. „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése" (ÚT 2-1.202:2005) című útügyi műszaki előírással szemben nem E_{2m} = 40 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 teherbírási modulus értéket is megkövetelhet.

3.12. Talajstabilizáció

A talajkezelés azon formája, amelynél a talaj tulajdonságainak javításán túl, azt javítóanyag hozzákeverésével, a forgalom és az időjárás igénybevételeivel szemben – tudatosan, tervezett beavatkozással, tartósan – állékonnyá teszik.

3.13. 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.

3.14. Fagyvédő réteg

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

3.15. Tisztasági réteg

Minimum 10 cm vastag homokos kavicsréteg, amely az FZKA alapréteg alatt az esetleg elnedvesedett kötött talaj felnyomódásának megakadályozását szolgálja. A tisztasági réteg nem része a pályaszerkezetnek.

3.16. Védőréteg

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

3.17. Úttükör

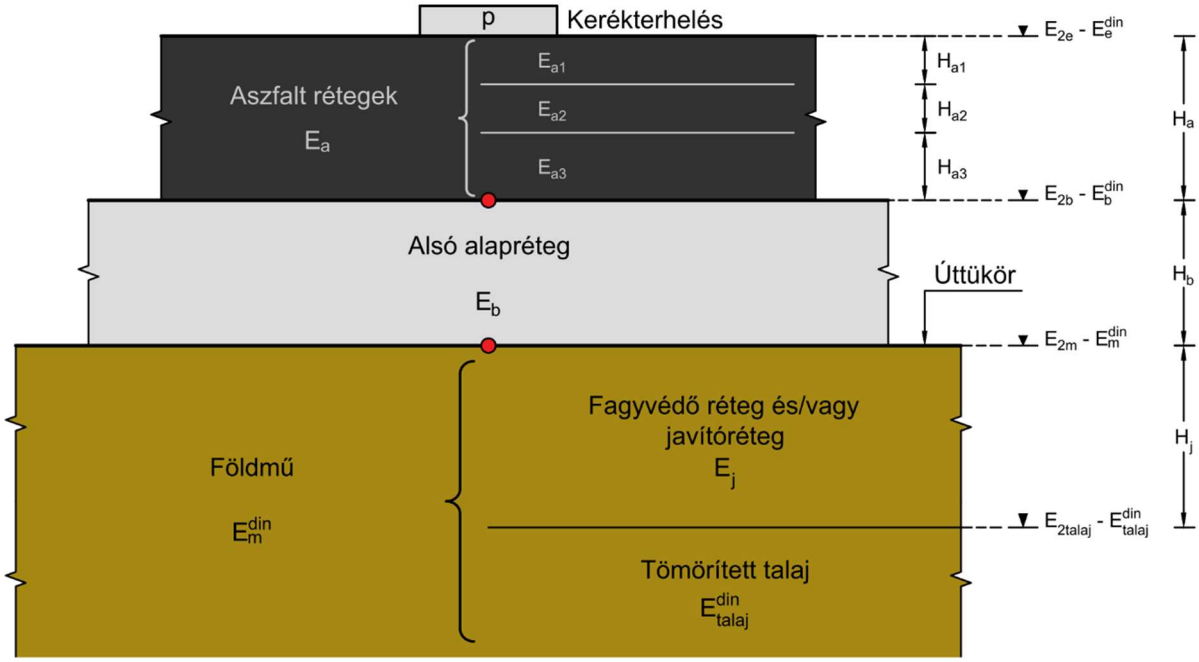
A földmű megfelelő oldaleséssel kiképzett tömörített és teherbíróvá tett sík felülete, amelyre a pályaszerkezet legalsó rétegét építik.

3.18. Hidraulikus kötőanyagú rétegek

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

3.19. A méretezési modulusok értelmezése a pályaszerkezeti modellben

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



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

4. ASZFALTBURKOLATÚ ÚTPÁLYASZERKEZETEK ALTERNATÍV MÉRETEZÉSI MÓDSZERE

4.1. A méretezési módszer alapelve

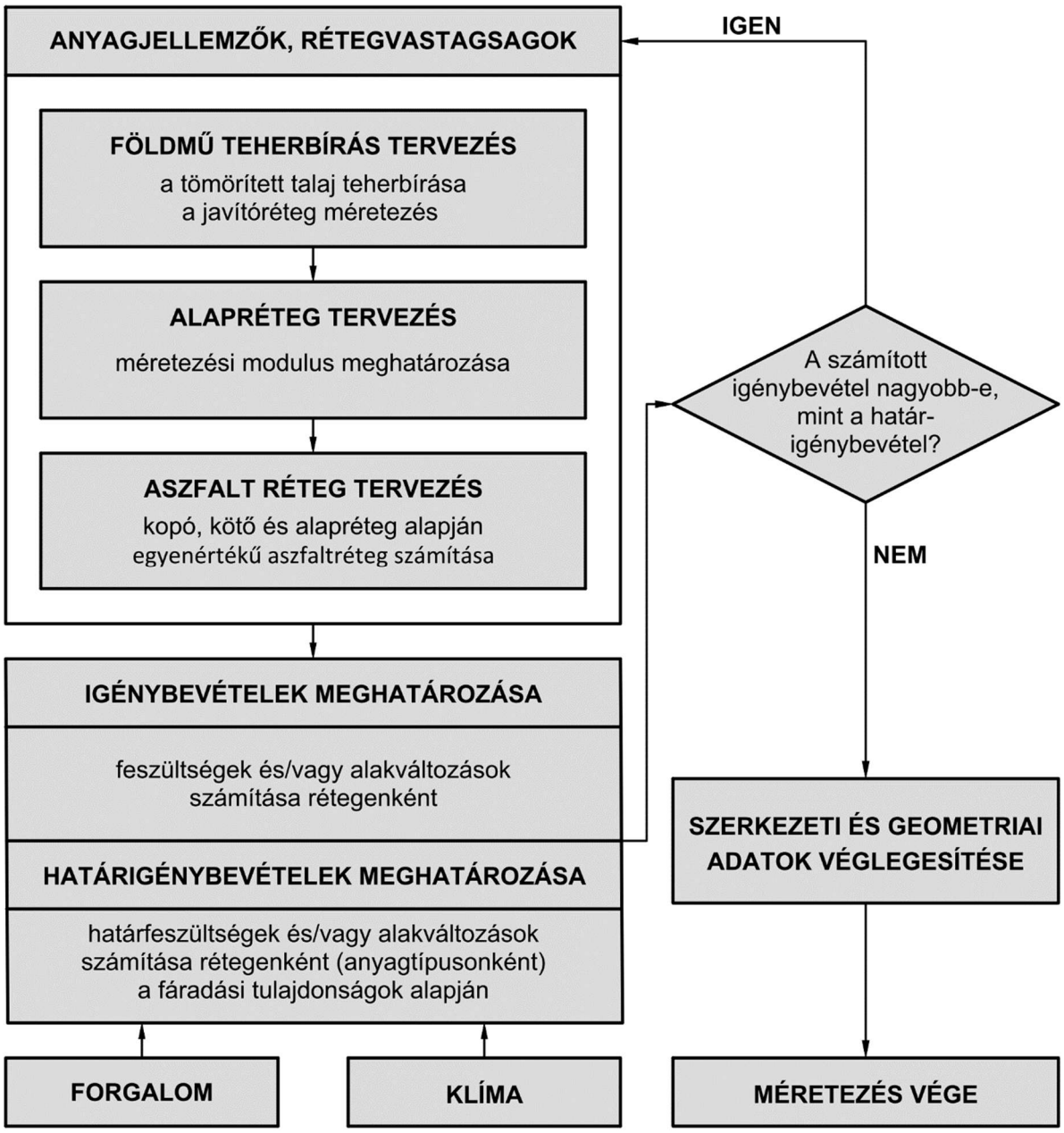
Jelen tervezési útmutatóban szereplő eljárás az útpályaszerkezeteket rugalmas, végtelen izotróp féltéren (úttükör) fekvő, többrétegű hajlékony lemezekként kezeli, melyeket vastagságuk (H), rugalmassági modulusuk (E) és Poisson-tényezőjük (μ) jellemez. A felsorolt három paraméter ismeretében, a legfelső aszfaltréteg felszínén ható, egyenletesen megoszló, kör alakú terhelő felület hatására számítható a többrétegű rendszer bármely belső pontjában a létrejövő feszültség, a megnyúlás, illetve az elmozdulás.
Az eljárás az aszfaltrétegek alsó szálában ébredő vízszintes fajlagos megnyúlást illetve közvetlenül az útpályaszerkezet alatt keletkező fajlagos függőleges összenyomódást tekinti kritikus igénybevételként. Az eljárás alkalmazásakor a megadott anyagparaméterek segítségével megalkotott modellben a kritikus helyeken meghatározva az ébredő igénybevételeket a szerkezet megfelel, ha ezek az értékek kisebbek az anyagi tulajdonságok alapján megengedhető határigénybevételek értékeinél.

4.2. A méretezés végrehajtásának lépései

A 2. ábra a jelen útmutatóban részletezett mechanikai méretezés folyamatát mutatja be.
A méretezés kiinduló pontjául szolgáló modellszámítás az aszfaltburkolatú útpályaszerkezet háromrétegű modelljének megalkotásával kezdődik. A következő három rétegcsoportot különítjük el:

- aszfalt rétegek
- alapréteg(ek)
- földmű (úttükör).

A méretezéskor a háromrétegű rendszer rétegeihez anyagjellemzőket (E, μ) illetve a felső két réteghez (H) rétegvastagság értékeket kell rendelni. A gazdaságos útpályaszerkezetek kialakíthatósága érdekében javasolt, hogy a réteg modulusok felülről lefele csökkenjenek, a vastagságok pedig nőjenek.



2. ábra: A méretezési eljárás folyamatábrája

4.3. Anyagjellemzők és rétegvastagságok felvétele

4.3.1. Földmű teherbírás tervezése

Laboratóriumi vizsgálatokból (W_{opt}+ΔW) víztartalom mellett meg kell állapítani a tömörített talaj teherbírási modulusát (E_{2talaj}), majd talajmechanikai szakvélemény alapján meg kell határozni a földmű méretezési teherbírási értékét (E_{2m}). Amennyiben a tervezés ezen szakaszában lehetséges a talaj teherbírási modulus – közvetlen – helyszíni tárcsás méréssel történő meghatározása, abban az esetben ezen eredmények szolgálnak a méretezés kiinduló adatául és laboratóriumi CBR vizsgálatok elhagyandók.

Szemben az e-ÚT 06.03.13. „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése" (ÚT 2-1.202:2005) című útügyi műszaki előírásban foglaltakkal, ahol az úttükör szintjére vonatkozóan a földmű méretezési teherbírásához E_{2m} = 40 MPa érték került rögzítésre, jelen módszer alkalmazásakor a tervező ennél magasabb értékeket is felvehet. Sőt nem is célszerű egy minimális földmű modulust választva, az értékesebb pályaszerkezeti rétegek vastagságát növelve érni el az elvárt teherbírást, hanem javasolt a helyi adottságokat kihasználva a lehető legjobb földműtükör teherbírás elérésének betervezése, amely segítségével gazdaságosabb pályaszerkezeti rétegrend is kialakítható.
A talaj tervezési teherbírási modulusa (E_{2talaj}) a tömörített talaj felső rétegének felszínén mérhető E_2 statikus teherbírási modulussal jellemezhető az MSZ 2509-3 szerinti értelmezésben, tekintettel a tárcsás teherbírásmérési eredmények széleskörű elterjedésére és könnyű használhatóságára.
Fontos megjegyezni, hogy a méretezéskor a teherbíró képesség figyelembevétele dinamikus modulus értékeken alapul (1. ábra), így a statikus értékek dinamikus megfeleltetése szükséges. Figyelembe véve, hogy a két mérési módszer elve oly mértékben különbözik egymástól, hogy általánosan érvényes összefüggés nem adható, így a statikus – dinamikus értékek kölcsönös megfeleltetéshez az 1. táblázat használható. Ez a táblázat alkalmazható a tömörített altalajon és az úttükör szintjén mért tárcsás teherbirási értékek átszámításához.

E_2 [MPa]	40	50	60	70	80	90	100	120	150
E_{din} [MPa]	50	65	80	95	110	125	140	170	220

1. táblázat: Statikus és dinamikus modulusok megfeleltetése

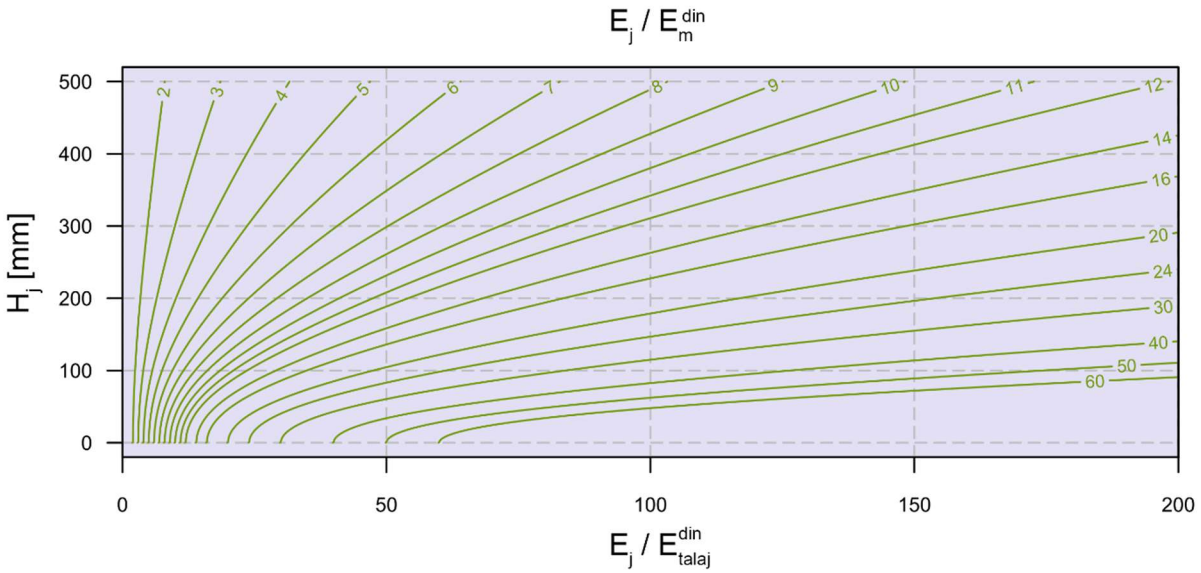
Amennyiben a teherbírás jellemzésére CBR % érték áll a tervező rendelkezésre, annak figyelembe vétele az 1. egyenletben közölt összefüggéssel történhet.

$$E_{2talaj} = 10 \cdot CBR^{0,7} \quad (1)$$

Amennyiben E_{2talaj} értéke alacsony, azaz $E_{2m} > E_{2talaj}$ és ez vastag pályaszerkezeti rétegek építését követeli meg, javítóréteg tervezhető, amellyel a pályaszerkezet kötött rétegeinek vastagsága csökkenthető a méretezés során. A javítóréteg anyaga lehet kötőanyag nélküli szemcsés réteg vagy lehetséges a talaj helyszíni stabilizációja is.

4.3.2. A javítóréteg tervezése

A Tervező által előírt úttükör teherbírási érték biztosításához szükséges javítóréteg vastagsága a 3. ábra segítségével határozható meg.



3. ábra: **A földmű javító rétege vastagságának meghatározása (E_{talaj}^{din} a javítandó földmű modulusa, E_j a javító réteg modulusa, E_m^{din} a javító réteg tetején elérendő egyenértékű teherbírási modulus, H_j a javítóréteg vastagsága)**

A diagram a javítóréteg saját modulusa (E_j) és vastagsága (H_j), a javítandó földmű (E_{talaj}^{din}) modulusa, és a javítóréteg tetején (úttükör) elérhető egyenértékű modulus (E_m^{din}) közötti összefüggést tartalmazza. A számításhoz ismerni kell a javítóréteg saját modulusát, amelyet minden esetben körültekintően elvégzett laboratóriumi vagy terepi kísérletek útján kell meghatározni. A javítóréteg méretezés menetét az alábbi számpélda illusztrálja:
A földmű $E_{talaj}^{din} = 20$ MPa értékű modulusát $E_j = 1200$ MPa modulusú helyszínen kevert hidraulikus kötőanyagú talajstabilizációval javítják az úttükör szintjén tervezett $E_m^{din} = 80$ MPa egyenértékű teherbírási modulusra. A 3. diagram vízszintes tengelyéről az $E_j / E_{talaj}^{din} = 60$ értéket az $E_j / E_m^{din} = 15$ interpolált görbére vetítve, a metszéspontot az ordináta tengelyre kivetítve kapjuk a javítóréteg ($H_j = 170$ mm) vastagságát.
Ha a földmű tükör tervezett teherbírásának javítása a talajon valamilyen helyszíni talajstabilizációs technológia (pl. meszes, cementes, kémiai, stb.) alkalmazásával történik, nagy jelentőségű a javító réteg saját modulusának megbízható ismerete. Ezen technológiai lehetőségek alkalmazhatósága és eredményessége azonban alapvetően függ nemcsak a helyszíni adottságoktól, hanem a kivitelezéskor alkalmazott műszaki és technológiai megoldásoktól is. Erre az esetre a jelen tervezési útmutató nem fogalmaz meg általánosan alkalmazható összefüggést a különböző stabilizációs technológiák teherbírást növelő hatásáról, de lehetővé teszi a tervező számára azok betervezését, az alábbiakra tekintettel.
A tervező

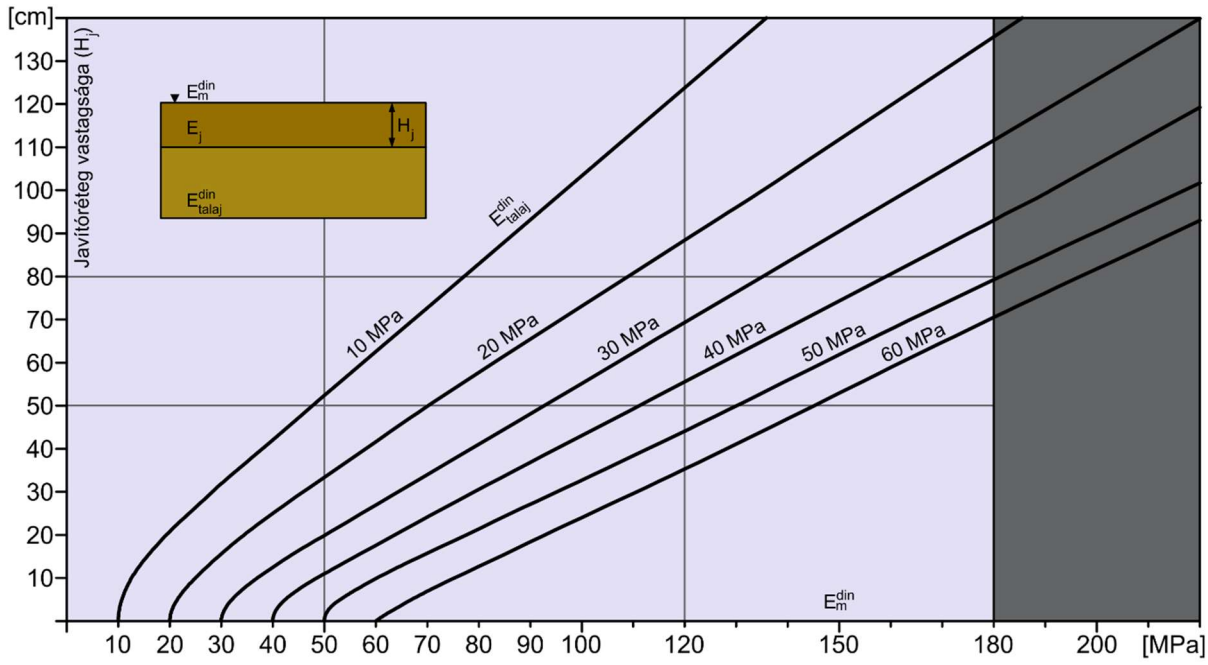
- az általa meghatározott földműtükör tervezési teherbírás érték megvalósíthatóságát laboratóriumi illetve helyszíni vizsgálatokkal és mérésekkel támasza alá,
- részletes technológiai utasítás kidolgozásával igazolja a javasolt technológia megvalósíthatóságát, ebben rögzítse azokat a kivitelezés közben betartandó követelményeket és feltételeket, amelyek megvalósítása esetén a meghatározott földműtükör tervezési teherbírás érték biztosítható,

– az adott rétegre vonatkozóan készítsen Mintavétel és Minősítési Tervet, amelynek a végrehajtása és betartása esetén igazolható, hogy a réteg az elvárt és tervezett minőségben valósul meg.

Amennyiben a kivitelezéskor az elvárt földműtükör teherbírás nem valósul meg, a továbbépítést megelőzően a kapott eredmények ismeretében a rétegek újraméretezése, a pályaszerkezet áttervezése szükséges.

Szemcsés anyagú javítóréteg vastagságának meghatározása több lépésben történik, mivel a szemcsés réteg modulusa az alatta elhelyezkedő réteg(ek) teherbírásától és a szemcsés réteg vastagságától is függ. Azért, hogy az iterációs folyamatot leegyszerűsítsük, az általánosan alkalmazható 3. sz. diagram helyett egy a hazai gyakorlat számára kidolgozott méretezési diagram bevezetését javasoljuk (4. ábra). A diagram a „gömbölyű" kis belső súrlódással jellemezhető homokos kavics és kavicsos homok rétegek méretezéséhez készült.

Felhívjuk a figyelmet arra, hogy folyami eredetű legömbölyödött szemcséjű homokos kavics felhasználásával a 80 MPa-nal nagyobb úttükör teherbírás már nehezen kivitelezhető, ezért indokolt azt tört anyaggal feljavítani, ha magasabb értéket kíván a tervező elérni.

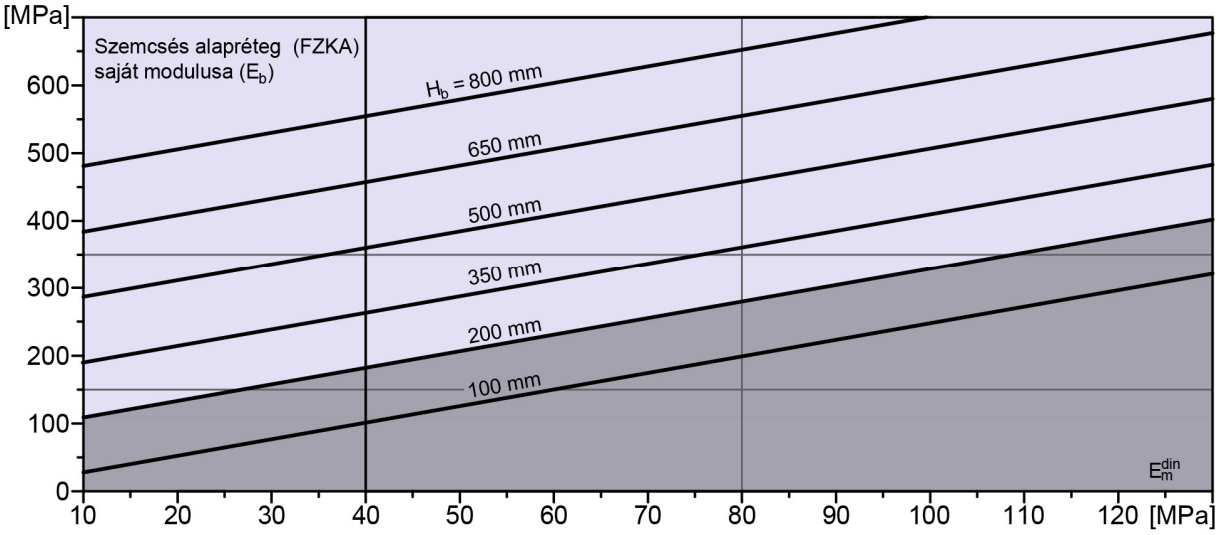


4.ábra. Szemcsés javítóréteg vastagságának meghatározása

A tervezéskor be kell tartani az e-ÚT 06.02.11 (ÚT 2-1.222:2007) „Utak és autópályák létesítésének általános geotechnikai szabályai" című útügyi műszaki előírásban foglaltakat.

4.3.3. Alapréteg anyagának kiválasztása, tervezése

Az eljárás alkalmazásakor az alaprétegek anyagául kötőanyag nélküli (szemcsés) réteg, hidraulikus kötőanyagú alapréteg továbbá teljes aszfaltpályaszerkezet esetén aszfalt alapréteg választható.



5.ábra. **Az FZKA alapréteg vastagságának meghatározása**

A kötőanyag nélküli zúzottkő (FZKA) réteg saját modulus becslése (E_b) a tervezett földműtükör teherbírás (E_m^{din}) és az alapréteg vastagságának (H_b) függvényében az 5. ábrán látható diagram segítségével végezhető el.

Az FZKA réteg tervezhető minimális vastagsága 100 mm, maximális vastagság 800 mm, a Poisson-tényező értéke 0,45.

Az FZKA alaprétegek betervezése során meg kell vizsgálni, hogy fennáll-e az altalaj esetleges elnedvesedését követően a felnyomódás kockázata, ha igen, akkor azt tisztasági réteg vagy geotextilia betervezésével meg kell akadályozni.

Hidraulikus kötőanyagú alapréteg méretezéskor figyelembe vehető modulusa 2000 MPa, Poisson-tényező értéke 0,25, tervezhető minimális vastagsága 150 mm, maximális vastagság 250 mm.

A tervezéskor be kell tartani az e-ÚT 06.03.52 (ÚT 2-3.207) „Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei. Tervezési előírások." című útügyi műszaki előírásban foglaltakat.

Teljes aszfalt pályaszerkezet esetén az aszfalt alapréteg méretezésekor figyelembe vehető modulusa 4500 MPa (20° C), a Poisson-tényező értéke 0,35. A tervezhető minimális illetve maximális vastagságok megválasztásánál be kell tartani az építhető vastagságokra vonatkozó követelményeket, az e-ÚT 06.03.21 „Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési és minőségi követelmények" (ÚT 2-3.302) című útügyi műszaki előírás szerint.

4.3.4. Aszfalt rétegrend tervezés

Az aszfaltrétegek modulusa erősen függ a változó hőmérséklettől, ami a többrétegű rendszerben a különböző nagyságú modulusokkal történő hosszadalmas és bonyolult számolás sorozatot tenne szükségessé. Ehelyett az eljárás – felhasználva a Miner-féle fáradási összefüggést –, rétegenként olyan egyenértékű hőmérséklet és egyenértékű aszfaltmodulus értékeket használ, amelyek, ha állandó értékek lennének az év során ugyanakkora fáradási kár keletkezne a pályaszerkezetben, mint a különböző hőmérsékletek eltérő aszfaltmodulusaival számolt igénybevételek összegzett hatása.

Aszfalt réteg	Egyenértékű aszfalt modulus [Mpa] 20°C	Poisson-tényező
kopó	4000	0,35
kötő	5800	0,35
alap	4500	0,35

2. táblázat: Aszfaltmodulusok

A kopó, kötő és alapréteg tervezési modell paramétereinek felvétele a 2. táblázatban foglalt adatok alapján történjen, betartva az építhető vastagságokra vonatkozó követelményeket az e-UT 06.03.21 (ÚT 2-3.302) „Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési feltételek és minőségi követelmények." című útügyi műszaki előírásban foglaltak szerint.
A pályaszerkezet egyes rétegeiben tervezhető és beépíthető aszfalttípusokat járulékos igénybevételtől függő normál (N), vagy fokozott (F) igénybevételi kategóriák figyelembevételével kell meghatározni. A járulékos igénybevétel jellegét a forgalmi, a terepi és a klimatikus viszonyok együttesen határozzák meg az e-UT 06.03.21 (ÚT 2-3.302) „Út-pályaszerkezeti aszfaltrétegek. Építési feltételek és minőségi követelmények." című útügyi műszaki előírásban foglaltak szerint.
A különböző aszfaltburkolati rétegek a háromrétegű pályaszerkezeti modell számítás alkalmazhatósága érdekében a 2. egyenletben közölt súlyfüggvény segítségével egy réteggé vonandók össze.
Két aszfaltréteg összevont modulusa egyenlő az alsó réteg modulusával, vastagsága pedig az alábbi összefüggés szerint számítható:

$$E_a = E_{a2}$$

$$H_a = \left[\frac{A^4 + 4A^3N + 6A^2N + 4AN + N^2}{(A+1)^3(A+N)}\right]^{1/3} \cdot (H_{a1} + H_{a2}) \qquad (2)$$

Ahol:

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

E_a :	az egyes aszfaltrétegek egyenértékű merevsége [MPa]
E_{ai} :	az egyes aszfaltrétegek merevsége [MPa]
H_a :	az aszfaltrétegek egyenértékű vastagsága [mm]
H_{ai} :	az egyes aszfaltrétegek vastagsága [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 alaprétegen vagy a földművön. A felső két aszfaltréteg összevonása alapján a többrétegű rendszer az alábbi lépésekben alakítható át:

1. Felülről az első (E_{a1}, H_{a1}) és második (E_{a2}, H_{a2}) pályaszerkezetei rétegeket egyenértékű réteggé összevonva, az eredmény egy $E_a = E_{a2}$ és Ha paraméterekkel jellemzett réteg.
2. Az egyenértékű réteget 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 folytatható, amíg az alapréteg vagy a földmű feletti összes aszfaltréteg összevonásra nem került egy, az eredeti rétegrenddel egyenértékű réteggé (E_a és H_a).

Az aszfaltburkolati rétegek a modellszámítás során „E_a" és „H_a" paraméterekkel kerülnek figyelembe vételre.

4.4. Igénybevételek számítása a háromrétegű rendszerben

Az útpályaszerkezetek méretezésekor használt háromrétegű mechanikai modell egyes rétegeiben a pályaszerkezet rétegeinek anyagait a jellemző „E" rétegmodulusok és „μ" Poisson-tényezők illetve a „H" rétegvastagságok képviselik. A terhelést az egységtengely egyik kerekének terhelő ereje jelenti egy „r" sugarú körtárcsa felületén megoszló „p" 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/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.

Ezen számítástechnikai támogatás segítségével az alábbi paraméterek határozandók meg:

– az aszfalt réteg alsó szálában jelentkező nyúlás számítása: $\varepsilon_{mértékadó}^{aszfalt}$ [μstrain]
– a földmű fajlagos függőleges összenyomódásának számítása: $\varepsilon_{mértékadó}^{földmű}$ [μstrain]

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

a) A pályaszerkezet méretezési forgalom meghatározása

A tervezési forgalom (TF (F100)) meghatározása az e-ÚT 06.03.13. „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése" (ÚT 2-1.202:2005) című útügyi műszaki előírásban foglaltak szerint történik, azzal a megkötéssel, hogy az eljárás alkalmazása csak 1 millió egységtengely áthaladási szám felett javasolt.

b) Az anyagokra jellemző fáradási tulajdonságok meghatározása

A méretezési eljárás egyik kritériuma, hogy az együttdolgozó 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 összefüggéssel határozható meg:

$$N_{eng} = \frac{SF}{F} \cdot a \cdot \varepsilon^{k} \tag{3}$$

Ahol:

N_{eng} :	megengedett egységtengely áthaladási szám (F100)
a :	anyagparaméter fáradásvizsgálat alapján (értéke: 2,8283)
ε :	számított megnyúlás
k :	anyagparaméter fáradásvizsgálat alapján (értéke: -4,194)
SF :	shiftfaktor, indirekt húzóvizsgálat esetén SF = 1500
F :	biztonsági tényező, értéke az alapréteg típusának függvényében változik: FZKA vagy teljes aszfaltpályaszerkezet esetén= 2,5

A forgalom és a fáradási egyenes alkalmazása lehetővé teszi a megengedhető nyúlások vagy feszültségek meghatározást.
Az összefüggést átalakítva, N_{eng} = TF (F100) jelölést bevezetve, kapjuk a tervezési forgalomhoz tartozó megengedett vízszintes fajlagos megnyúlás értékét (4. egyenlet).

$$\varepsilon_{eng}^{aszfalt} = \left(\frac{F}{SF \cdot a} \cdot TF \right)^{\frac{1}{k}} \tag{4}$$

Ahol:

$\varepsilon_{eng}^{aszfalt}$:	megengedett vízszintes fajlagos megnyúlás (μstrain)

TF :	tervezési forgalom (F100)
a :	anyagparaméter fáradásvizsgálat alapján (értéke: 2,8283)
k :	anyagparaméter fáradásvizsgálat alapján (értéke: -4,194)
SF :	shiftfaktor, indirekt húzóvizsgálat esetén SF = 1500
F :	biztonsági tényező, értéke az alapréteg típusának függvényében változik FZKA vagy teljes aszfaltpályaszerkezet esetén= 2,5

A földmű összenyomódás kritériumra a belga CRR útügyi kutatóintézet módosított (szigorúbb) összefüggése alkalmazandó az 5. egyenlet szerint.

$$\varepsilon_{eng}^{földmű} = \frac{6000}{TF^{0,23}} \tag{5}$$

Ahol:

$\varepsilon_{eng}^{földmű}$:	megengedett függőleges fajlagos megnyúlás [μstrain]
TF :	tervezési forgalom (F100)

4.4.2. A méretezés végrehajtása

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

$$\varepsilon_{mértékadó}^{aszfalt}(\mu strain) \leq \varepsilon_{eng}^{aszfalt}(\mu strain)$$

és

$$\varepsilon_{mértékadó}^{földmű}(\mu strain) \leq \varepsilon_{eng}^{földmű}(\mu strain)$$

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, – a megengedett túlméretezés ellenőrzése után – a rétegvastagságokat véglegesíteni kell az alkalmazott technológiának megfelelően.

4.5. 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.

4.6. 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 számítási eredmények nagy szórására – félrevezető lehet, ezért az egyenértékűséget – a teherviselő képességgel arányosan, de sávosan – határértékkel kijelölve célszerű rögzíteni a 3. táblázat alapján.

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

3. 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 megbízói adatszolgáltatás alapján:

- TF (F100) : **4 800 000 et**
- CBR (talaj teherbírás) : **7%**

Alkalmazva az (1) képletet a talaj teherbírás

$$E_{2talaj} = 10 \cdot CBR^{0,7} = 10 \cdot 7^{0,7} = 39 \text{ MPa} \Rightarrow \mathbf{40\ MPa}$$

A méretezéshez szükséges dinamikus érték az 1. táblázat alapján:

$$E_{talaj}^{din} : \mathbf{50\ MPa}$$

A tervezői döntés alapján meghatározott földmű statikus méretezési teherbírás érték (E_2):

$$E_{2m} : \mathbf{60\ MPa}$$

A méretezéshez szükséges dinamikus érték az 1. táblázat alapján:

$$E_m^{din} : \mathbf{80\ MPa}$$

Figyelembe véve, hogy $E_{talaj}^{din} < E_m^{din}$javítóréteg betervezése szükséges.

Szemcsés javítóréteget választva és felhasználva a 4. ábrát, kapjuk, hogy a szükséges javítóréteg vastagsága 20 cm.

Ebben a példában 200 mm vastag hidraulikus kötőanyagú 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	0,25			
földmű		80	0,45			**81**

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

A megengedett megnyúlás meghatározáshoz használva a 4. egyenletet, kapjuk:

$$\varepsilon_{eng}^{aszfalt} = \left(\frac{F}{SF \cdot a} \cdot TF\right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{2}{1500 \cdot 2,8283} \cdot 4800000\right)^{\frac{1}{-4,194}} = \mathbf{158,5\ mikrostrain}$$

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

Megnövelve a kötőréteg vastagságát 90 mm-re, az alapréteget pedig 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	**90**	5800				
aszfalt alapréteg	**80**	4500			**152**	
hidraulikus alapréteg	200	2000	0,25			
földmű		80	0,45			**67**

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

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

Ellenőrizve a szerkezetet a földmű függőleges összenyomódására, az 5. egyenlet alapján kapjuk:

$$\varepsilon_{eng}^{földmű} = \frac{6000}{TF^{0,23}} = \frac{6000}{4800000^{0,23}} = \mathbf{174,4} > \varepsilon_{mértékadó}^{földmű}$$

azaz, a szerkezet megfelel.

5.2. Adott forgalmi terhelésre történő ellenőrzés

A Megbízó E_2 = 40 MPa-os talajteherbírás és 60 cm vastag szemcsés javítórétegre előírt E_2=100 MPa teherbírású úttükrön teljes aszfalt pályaszerkezet tervez. Az aszfaltszerkezet felépítése 40 + 80 +100 + 100 = 320 mm, az autópálya becsült tervezési forgalma 75 millió Et. A méretezéshez szükséges dinamikus érték az 1. táblázat alapján:

$$E_m^{din} : \mathbf{140\ MPa}$$

Meghatározva az aszfaltrétegek helyettesítő modulusát a 2. 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	Ea = 4500 MPa ha = 326 mm		
aszfalt kötőréteg	80	5800				
aszfalt alapréteg	200	4500			**77,2**	
földmű		140	0,45			**28,8**

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

Alkalmazva a 3. egyenletet, kapjuk:

$$N_{eng} = \frac{SF}{F} \cdot a \cdot \varepsilon^k = \frac{1500}{2,5} \cdot 2,8283 \cdot 0,0772^{-4,194} = \mathbf{78\ 525\ 329\ Et.}$$

A szerkezet tehát képes a tervezett 75 millió egységtengely elviselésére. Ellenőrizve a földmű függőleges összenyomódás kritérium szerint is a szerkezetet, adódik:

$$\varepsilon_{eng}^{földmű} = \frac{6000}{TF^{0,23}} = \frac{6000}{75000000^{0,23}} = \mathbf{92,66} > \varepsilon_{mértékadó}^{földmű}$$

azaz szintén megfelel.

5.3. Egyenértékűség vizsgálat

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

„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	**179,8**	**III.**
aszfalt kötőréteg	80	5800				
aszfalt alapréteg	80	4500				
hidraulikus alapréteg	150	2000	0,25			
földmű		70	0,45			

„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	**176,5**	**III.**
aszfalt kötőréteg	80	5800				
aszfalt alapréteg	100	4500				
FZKA alapréteg	250	250	0,45			
földmű		50	0,45			

„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	**142,7**	**IV.**
aszfalt kötőréteg	80	5800				
aszfalt alapréteg	80	4500				
hidraulikus alapréteg	250	2000	0,25			
földmű		100	0,45			

*méretező szoftverrel végzett számítás eredménye

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

6. Jelölések

a :	anyagparaméter fáradásvizsgálat alapján
A :	rétegvastagság hányados [-]
ε :	fajlagos alakváltozás [μ strain]
ε_f :	megengedett függőleges fajlagos összenyomódás [μ strain]
ε_v :	megengedett vízszintes fajlagos megnyúlás [μ strain]
$\varepsilon_{mértékadó}^{aszfalt}$:	a modell pályaszerkezet aszfalt rétegének alsó szálában jelentkező fajlagos vízszintes megnyúlás [μ strain]
$\varepsilon_{eng}^{aszfalt}$:	az aszfaltréteg alsó szálában megengedett fajlagos vízszintes megnyúlás [μ strain]
$\varepsilon_{mértékadó}^{földmű}$:	a modell pályaszerkezet földművének fajlagos függőleges összenyomódása [μ strain]
$\varepsilon_{eng}^{földmű}$:	a földmű megengedett fajlagos függőleges összenyomódása [μ strain]
E :	rugalmassági modulus [MPa]
E_2 :	pályaszerkezeti réteg, vagy talaj felszínén mért statikus tárcsás teherbírási modulus [MPa]
E_{2m} :	a földmű statikus méretezési teherbírása [MPa]
E_{2e} :	a pályaszerkezet felszínén mért (egyenértékű) statikus tárcsás teherbírási modulus [MPa]
E_{2talaj} :	a talaj statikus teherbírási modulusa [MPa]
E_a :	az összevont aszfalt rétegek dinamikus saját modulusa [MPa]
E_{ai} :	az egyes aszfaltrétegek dinamikus saját modulusa [MPa]
E_b :	az alapréteg dinamikus saját modulusa [MPa]
E_b^{din} :	az alapréteg felszínén mért (egyenértékű) dinamikus teherbírási modulus [MPa]
E_e^{din} :	a pályaszerkezet felszínén mért (egyenértékű) dinamikus teherbírási modulus [MPa]
E_{din} :	dinamikus igénybevétellel meghatározott teherbírási modulus [MPa]
E_j :	a javítóréteg dinamikus saját modulusa [MPa]
E_m^{din} :	a földmű felszínén mért (egyenértékű) dinamikus teherbírási modulus [MPa]

E_{talaj}^{din}:	a tömörített altalaj felszínén mért, vagy laboratóriumi CBR értékből meghatározott dinamikus teherbírási modulus [MPa]
Et:	100 kN egységtengely
f:	biztonsági tényező
$F100$:	egységtengely áthaladási szám [db]
H:	rétegvastagság
H_a:	aszfalt rétegek egyenértékű vastagsága
H_{ai}:	az egyes aszfaltrétegek vastagsága
H_b:	alsó alapréteg vastagsága
H_j:	a javítóréteg vastagsága
k:	anyagparaméter fáradásvizsgálat alapján [-]
μ:	Poisson-tényező [-]
K:	rétegmodulus hányados [-]
N_{eng}:	megengedett egységtengely áthaladási szám [db]
p:	a modell pályaszerkezetet terhelő megoszló terhelés [MPa]
r:	a modell pályaszerkezetet terhelő körtárcsa sugara
SF:	shiftfaktor [-]
TF:	tervezési forgalom [Et]
W_{opt}:	optimális tömörítési víztartalom [tömeg %]
ΔW:	az optimális tömörítési víztartalom és a legkedvezőtlenebb víztartalom közti különbség [tömeg %]