



Aszfalt útpályaszerkezet alternatív méretezésének bemutatása és összehasonlítása az útügyi műszaki előírás szerintivel

Juhász Gábor

¹ Duna Aszfalt Zrt.

E-mail: gabor.juhasz44@gmail.com

DOI: [10.36246/UL.2023.1.02](https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.02)

KIVONAT

Jelen cikk alapját a 2020-ban írt diplomamunkám adta, amelyben a jelenlegi Útügyi Műszaki Előírás által előírt aszfalt pályaszerkezet méretezést hasonlítom össze egy alternatív, analitikus elven felépített aszfalt pályaszerkezet méretezéssel. Egy adott tervezési környezetre vetítve alkalmaztam egyik, majd másik eljárást, majd az eredményeket összevettem. A WESLEA for Windows nevű szoftver segítségével a konkrét példában alkalmazott pályaszerkezet teher hatására bekövetkező feszültségeit és alakváltozásait határozom meg. A WESLEA egy mechanikus burkolatelemző program, amely kiszámítja a burkolat reakcióját az alkalmazott gumiabroncs terhelésekre. A burkolat reakcióját a feszültségek és a hozzá tartozó elmozdulásokkal határozza meg. Ezekből a reakciókból meg tudjuk becsülni a pályaszerkezet élettartamát.

Kulcsszavak: pályaszerkezet, méretezés, aszfalt, weslea, alternatív méretezés

ABSTRACT

The basis of this article is my diploma thesis from 2020, in which I compare the sizing of asphalt pavement structures prescribed by the current Road Technical Regulations with an alternative, analytically constructed asphalt pavement structure sizing. I applied one, then the other method to a specific design environment, and then compared the results. Using the software called WESLEA for Windows, I determined the stresses and strains that occur in the pavement structure due to loading. WESLEA is a mechanical pavement analysis program that calculates the pavement's reaction to applied tire loads. The reaction of the pavement is determined by stresses and corresponding displacements. From these reactions, we can estimate the lifespan of the pavement structure.

Keywords: pavement, design, asphalt, weslea, alternative design

Juhász Gábor

Okleveles infrastruktúra-építőmérnök, a Duna Aszfalt Zrt. úttervező – BIM modellezője.

1. BEVEZETÉS

Világszerte az elmúlt évtizedekben jelentős mértékben fejlődött az aszfalt pályaszerkezetek méretezése, valamint annak terhek hatására történő viselkedésének feltérképezése. Magyarországon az útpályaszerkezet-méretezés és -megerősítés területén a kilencvenes évek elején lezajlott korszerűsítés óta érdemi változás nem történt, a technológiai fejlődést nem követte le [8] [11].

Ezt a fejlődést leginkább a modern szoftvereknek köszönhetjük. Ezek lehetővé tették, hogy a tervezett pályaszerkezetek szilárdságtani tulajdonságaiból, valamint a rájuk ható terhekből meghatározzuk a legjellemzőbb tönkremeneteli lehetőségeket [8].

Habár ezeket a szilárdságtani alapokat a Magyarországon jelenleg is érvényben lévő, e-ÚT 06.03.13 nevű Útügyi Műszaki Előírás is tartalmazza, az esetleges alkalmazandó pályaszerkezet meghatározására csupán típus-pályaszerkezetek állnak rendelkezésre [8].

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

- Tervezési forgalom meghatározása

Az útszakaszra vonatkozó becsült forgalom nagysága 240 Et/nap, mely adat tartalmazza a forgalomfejlődési szorzószámot és mellyel a Tervezési forgalom nagysága:

$$TF = 1,25 * 1,50 * 365 * 15 * 0.5 * 1 * 240 = 1.231.875 Et \quad (1)$$

A kapott tervezési forgalom a „D”, tehát a nehéz terhelési osztályba tartozik, amely a fokozott igénybevételi kategóriába esik [3].

- Típus-pályaszerkezet megválasztása

A korábban meghatározott terhelési osztályt, valamint az igénybevételi kategóriákat felhasználva határozhatjuk meg a szükséges aszfalt vastagságot a választott burkolatalap függvényében. Útalapnak a folytonos szemmegoszlású zúzottkővet (FZKA) választottam, amelyhez szükséges aszfaltvastagság 180 mm [3]. Ezek ismeretében a választott három rétegű aszfalt pályaszerkezet rétegek a következők [4]:

- 4 cm AC 11 kopó (mF) PmB 25/55-65,
- 6 cm AC 16 kötő (mF) PmB 25/55-65,
- 8 cm AC 22 alap (mF) PmB 25/55-65,
- 20 cm FZKA 0/63 $T_{rr} \geq 96 \%$, $E_2 \geq 160 \text{ MN/m}^2$,
- 25 cm jó minőségű (M-2), fagyálló (X-1) és legalább jó vízvezető (V-2) földműanyag ($T_{rr} \geq 97 \%$, felső szintjén $E_2 \geq 80 \text{ MPa}$),
- 25 cm jó minőségű (M-2) fagyálló (X-1) földműanyag ($T_{rr} \geq 97 \%$, felső szintjén $E_2 \geq 60 \text{ MPa}$),
- 50 cm (M-2) földműanyag ($T_{rr} \geq 95 \%$, felső szintjén $E_2 \geq 40 \text{ MPa}$).

Az altalaj javítására szolgáló M-2 minőségű földműrétegek, valamint az ahhoz tartozó talajfizikai paraméterek meghatározása a Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt. által kiadott műszaki tartalmak megfelelőségének ellenőrzésére szolgáló kiadvány szerint lett kialakítva.

Jól látható, hogy ebben a tervezési esetben a szükséges mennyiségű altalaj eltávolítása miatt a 40 MN/m²-es minimális modulus többlettel biztosított, ettől függetlenül az úttükör feletti pályaszerkezeti rétegrendek az e-ÚT 06.03.13 szerinti aszfalt pályaszerkezet méretezése nem veszi ezt figyelembe, nem használja ki az erősített altalaj többlet teherbírását.

- Alternatív méretezés bemutatása

Ezt a méretezési eljárást ugyanazon a tervezési eseten fogom bemutatni, mint a jelenleg érvényben lévő, hogy szemléletes legyen a kettő közti különbség. A méretezés alatt ugyan azokat a talaj modulusokat fogom felhasználni, melyek a talajvizsgálati jelentés taglal. A méretezéshez szükséges számításokat a WESLEA nevű segédsoftverrel fogom meghatározni.

Mivel az 1 m mély helyszíni talajcsere miatt az úttükörre vonatkozó E_{2m} értéket 80 MN/m^2 -re meg tudtam növelni, a méretezés javítóréteg tervezési részére nincs szükség a továbbiakban.

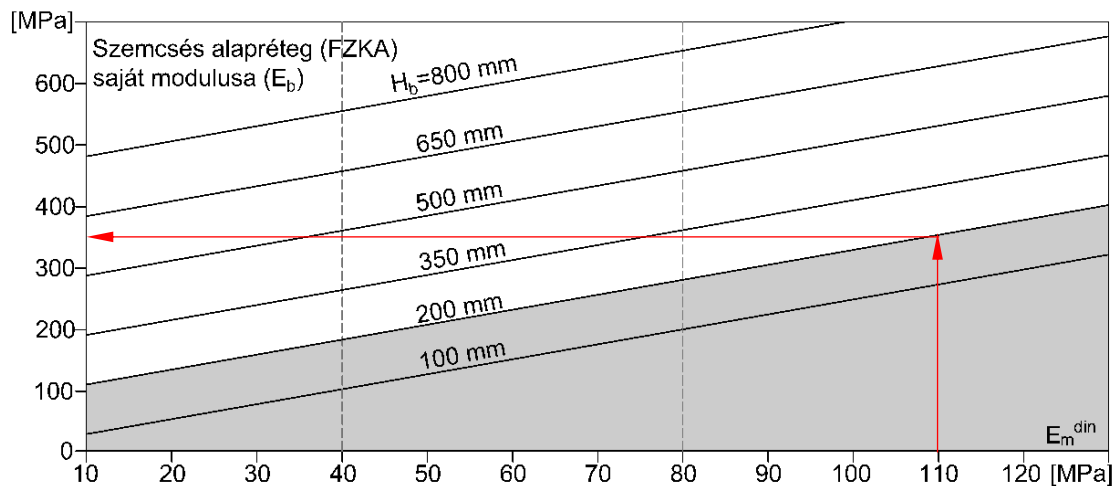
A talaj teherbíró képessége ez esetben dinamikus modulus értékeken alapul, így a 80 MN/m^2 statikus értéknek dinamikus megfeleltetése szükséges (1. táblázat), így 110 MN/m^2 értékre kell felvenni.

1. táblázat. Statikus és dinamikus modulusok megfeleltetése [8].

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

- FZKA alapréteg vastagságának meghatározása

Az útalap tekintetében a másik példához hasonlóan a folytonos szemmegoszlású zúzottkő alapot (FZKA) választottam. Az alapréteg vastagsága függ a korábban meghatározott E_m^{din} értéktől, valamint az FZKA alapréteget minimum 100 mm vastagságban biztosítani kell. Ezek figyelembevételével határoztam meg az útalap szükséges vastagságát.



1. ábra. FZKA alapréteg vastagságának meghatározása [8].

Ahogy láthatjuk (1. ábra), a 110 MN/m^2 -es úttükörszinti modulus mellett 20 cm FZKA alapréteg alkalmazása esetén közelítőleg 350 MN/m^2 saját modulussal rendelkeznek. Az altalaj elnedvesedés okozta felnyomódás veszélye ez esetben biztosítva van az 1 m-es megfelelő földműanyag alkalmazásával.

- Aszfalt rétegrend meghatározása

A különböző aszfaltburkolati rétegek a háromrétegű pályaszerkezeti modell számítás alkalmazhatósága érdekében súlyfüggvény segítségével egy réteggé vonandók össze [10.]. A számításokban a 2. táblázatban található aszfalt rétegekhez tartozó modulusokat használtam:

2. táblázat Aszfaltréteg modulusok [10].

Aszfalt réteg	Egyenértékű aszfalt modulus [MPa] 20°C	Poisson-tényező
kopó	4000	0.35
kötő	5800	0.35
alap	4500	0.35

Két aszfaltréteg összevont modulusa egyenlő az alsó réteg modulusával, vastagsága pedig a Pronk (1986) féle összefüggés szerint számítható [10.]:

$$TE_a = E_{a2} \tag{2}$$

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

ahol:

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

1 – 2. réteg összevonása:

$$H_{a1-2} = \left[\frac{\frac{6^4}{4} + 4 * \frac{6^3}{4} * \frac{20}{29} + 6 * \frac{6^2}{4} * \frac{20}{29} + 4 * \frac{6}{4} * \frac{20}{29} + \frac{20^2}{29}}{\left(\frac{6}{4} + 1\right)^3 * \left(\frac{6}{4} + \frac{20}{29}\right)} \right]^{1/3} * (4 + 6) = 9,39 \text{ cm} \quad (4)$$

A következő lépésben az előzőekben kapott vastagságot vonom össze a 3. réteg vastagságával.

- 2 – 3. réteg összevonása:

$$H_{a2-3} = \left[\frac{\frac{8^4}{9,39} + 4 * \frac{8^3}{9,39} * \frac{58}{45} + 6 * \frac{8^2}{9,39} * \frac{58}{45} + 4 * \frac{8}{9,39} * \frac{58}{45} + \frac{58^2}{45}}{\left(\frac{8}{9,39} + 1\right)^3 * \left(\frac{8}{9,39} + \frac{58}{45}\right)} \right]^{1/3} * (9,39 + 8) = 18,12 \text{ cm} \quad (5)$$

Az összevont aszfalrétegek a modellszámításban figyelembe veendő paraméterei:

- $E_a = 4500 \text{ MPa}$
- $H_a = 18,12 \text{ cm}$

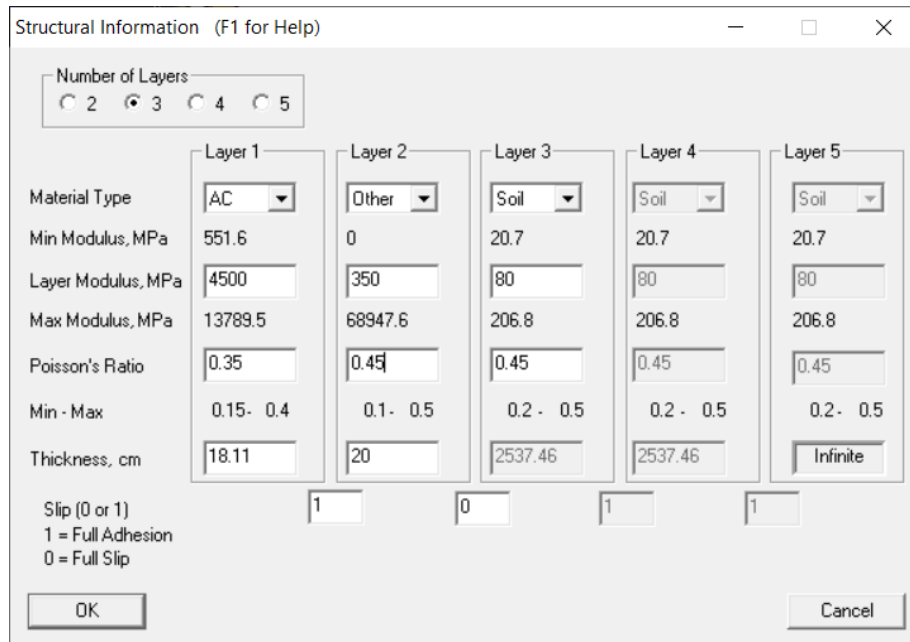
- Határigénybevétel meghatározása

A pályaszerkezet fáradási tulajdonságai közül a mértékadó az együtt dolgozó aszfalrétegek alatti húzási nyúlás ($\varepsilon_{eng}^{aszfalt}$), valamint a földmű feletti összenyomódási érték ($\varepsilon_{eng}^{földmü}$) [10]. A tervezési forgalmi értékünk ez esetben 1.231.875 Et.

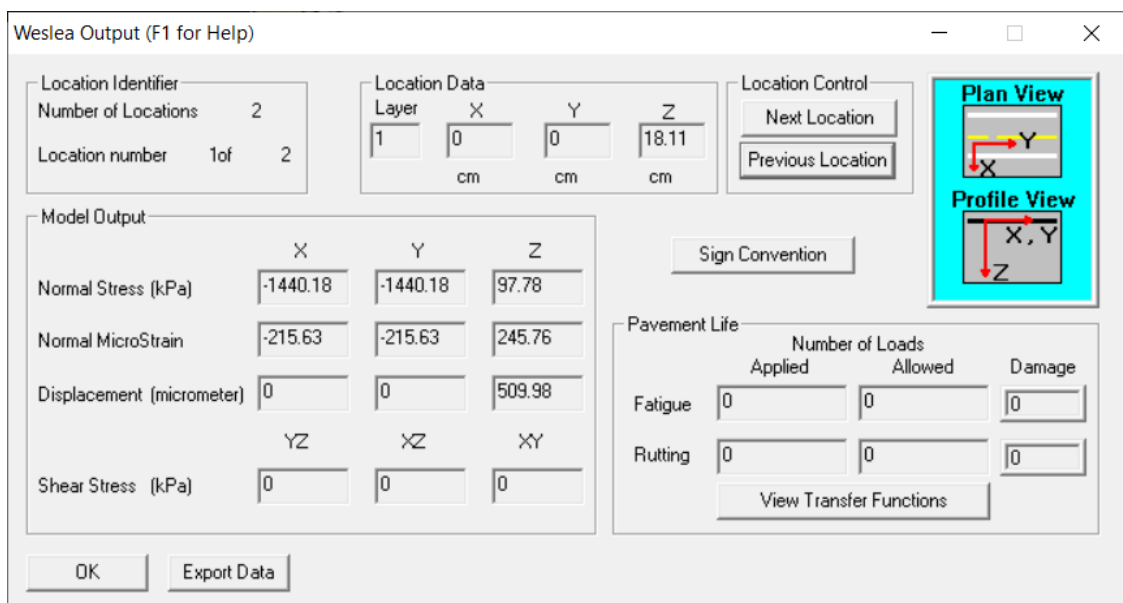
$$\varepsilon_{eng}^{aszfalt} = \left(\frac{F}{SF * a} * TF \right)^{\frac{1}{k}} = \left(\frac{2,5}{1500 * 2,8283} * 1.231.875 \right)^{\frac{1}{-4,194}} = \mathbf{208 \text{ mikrostrain}} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{eng}^{földmü} = \frac{6000}{TF^{0,23}} = \frac{6000}{1231875^{0,23}} = \mathbf{238 \text{ mikrostrain}} \quad (7)$$

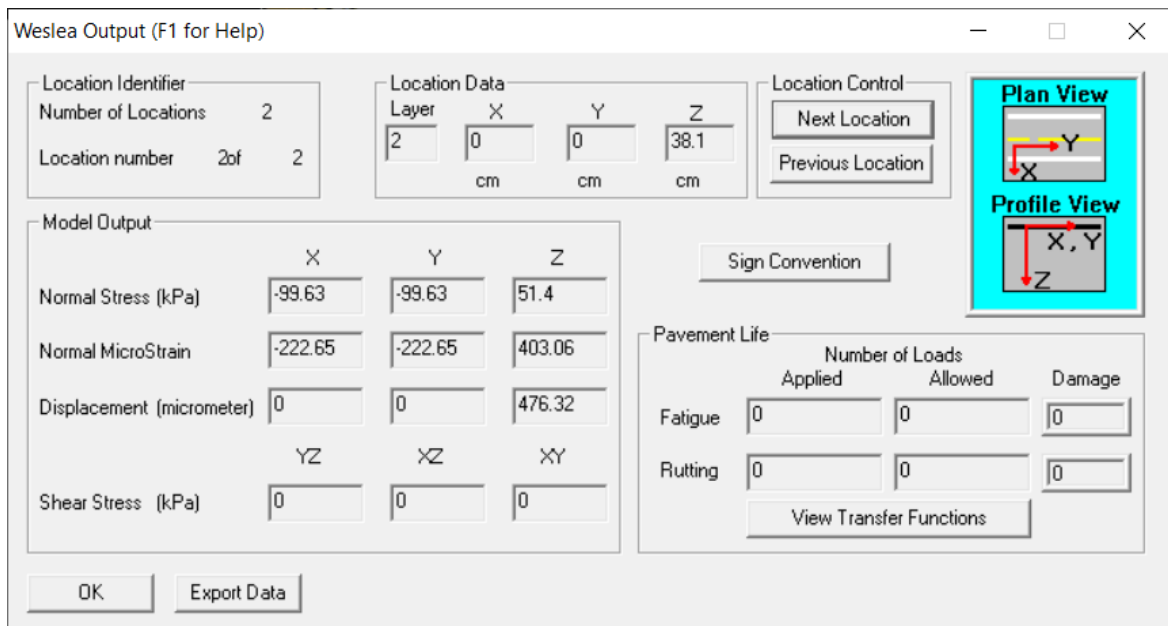
Alkalmazva a számolt 20 cm-es FZKA burkolatalapot, és a hozzá tartozó 350 MN/m²-es teherbírást (1. ábra), a számolt igénybevételek a következőképpen alakultak a WESLEA-val számolva az összevont aszfalt réteggel (3. és 4. ábra):



2. ábra. Számításhoz alkalmazott szerkezeti felépítés.



3. ábra. Aszfalt alatti nyúlás.



4. ábra. Altalaj feletti összenyomódás.

$$\epsilon_{\text{mértékadó},1}^{\text{aszfalt}} = 245.8 \text{ mikrostrain} \quad (8)$$

$$\epsilon_{\text{mértékadó},1}^{\text{földmü}} = 403.1 \text{ mikrostrain} \quad (9)$$

Ahogy látható, az aszfalt alatti nyúlás értéke, valamint a földmü feletti összenyomódás is nagyobb a határfeszítésnél, tehát a rétegrendet át kell tervezni. Annak érdekében, hogy a meghatározott határigénybevételek alá essenek a számított fajlagos alakváltozások, az FZKA burkolatalapot lecseréltem 15 cm vastag hidraulikus kötőanyagú alaprétegre, melyhez 2000 MPa rugalmassági modulus érték, valamint 0,25 értékű Poisson-tényezőt vettem figyelembe. A számítás újbóli elvégzését követően a pályaszerkezet megfelelő. A következő eredményeket kaptam:

$$\epsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{aszfalt}} = 196.6 \text{ mikrostrain} \leq \epsilon_{\text{eng}}^{\text{aszfalt}} = 208 \text{ mikrostrain} \quad (10)$$

$$\epsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{földmü}} = 120.6 \text{ mikrostrain} \leq \epsilon_{\text{eng}}^{\text{földmü}} = 238 \text{ mikrostrain} \quad (11)$$

Ha a pályaszerkezet aszfalt rétegeit úgy veszem figyelembe, hogy mindegyik réteg minimálisan alkalmazandó vastagságát alkalmazom, akkor az összevont aszfalt vastagsága 15.60 cm, modulus értéke az előző értéknek megfelelően 4500 MPa. A következő eredményeket kaptam:

$$\epsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{aszfalt}} = 228.5 \text{ mikrostrain} \geq ! \epsilon_{\text{eng}}^{\text{aszfalt}} = 208 \text{ mikrostrain} \quad (12)$$

$$\epsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{földmü}} = 153.3 \text{ mikrostrain} \leq \epsilon_{\text{eng}}^{\text{földmü}} = 238 \text{ mikrostrain} \quad (13)$$

- Megfelelő pályaszerkezet kialakítása
- Hidraulikus kötőanyagú stabilizációs alapréteg alkalmazása

Láthatjuk, hogy az aszfaltréteg alatti relatív nyúlás értéke nem felel meg a határfeszültségünknek, az összenyomódási érték megfelelő. Minél jobban próbálunk közelíteni a határfeszültséghez látszik, hogy a 17 cm vastagságú aszfaltréteg felel meg a határ követelménynek.

$$\varepsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{aszfalt}} = \mathbf{208.0 \text{ mikrostrain}} = \varepsilon_{\text{eng}}^{\text{aszfalt}} = \mathbf{208 \text{ mikrostrain}} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{földmü}} = \mathbf{132.3 \text{ mikrostrain}} \leq \varepsilon_{\text{eng}}^{\text{földmü}} = \mathbf{238 \text{ mikrostrain}} \quad (15)$$

Ez teljes mértékben megegyezik a UME szerinti, 15 cm vastag hidraulikus kötőrétegű burkolatalapra alkalmazandó aszfaltréteg vastagságával. Az egyetlen különbség az, hogy az 1 méter vastag talajcseréből következő altalaj modulus értéke 80 MN/m². Ez azt jelenti, hogy ha a tervezési területen a tervező számára az altalaj biztosít 80 MN/m²-es modulus értéket, akkor az aszfalt réteg típusokra meghatározott minimális vastagság alkalmazása is elegendő a határfeszültségek megfelelésének. Ha ugyanezt a pályaszerkezetet 40 MN/m² modulusértékkel veszem figyelembe, amit az említett műszaki előírás is megkövetel, a fajlagos alakváltozás már meghaladja a megengedett értéket:

$$\varepsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{aszfalt}} = \mathbf{235.7 \text{ mikrostrain}} \geq ! \varepsilon_{\text{eng}}^{\text{aszfalt}} = \mathbf{208 \text{ mikrostrain}} \quad (16)$$

$$\varepsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{földmü}} = \mathbf{140.0 \text{ mikrostrain}} \leq \varepsilon_{\text{eng}}^{\text{földmü}} = \mathbf{238 \text{ mikrostrain}} \quad (17)$$

Mivel az aszfaltrétegek összevonásánál az alternatív méretezési eljárás az összes aszfalt típus réteget kvázi ugyan olyanak tekinti, vagyis nem tesz különbséget két különböző kopóréteg mechanikai tulajdonságai között, ez a feltételezés az összes olyan rétegre igaz, mely megfelel a terhelési osztálynak, valamint az igénybevételi kategóriának. Ebből következően a megállapításom az, hogy a hatályban lévő műszaki előírás által meghatározott 40 MN/m² altalajhoz tartozó modulus érték nem elegendő az esetben, ha a tervező az előírásban meghatározott minimális vastagságot szeretné alkalmazni. Kijelentésem az eddigieket ismertetve kizárólag a hidraulikusan stabilizált alaprétegre vonatkozik.

A további kettő féle pályaszerkezet kialakítást a következőkben fogom ismertetni.

o Teljes aszfalt pályaszerkezet alkalmazása

Az aszfalt alaprétegre vonatkozó modulus érték 4500 MPa, Poisson-tényezője 0,35. Ez esetben a kopó, valamint a kötő réteget is a legminimálisabb vastagsággal beépíthető rétegfajtát választottam, mely a kopóréteg esetén az AC 8 kopó 2,5 cm vastagságban, kötőrétegben pedig az AC 16 kötő 5,0 cm vastagságban. A terhelési osztálynak és az igénybevételi kategóriának megfelelően 21 cm aszfalt vastagságot alkalmaztam. A fennmaradt rész AC 32 típusú alapréteg 13,5 cm vastagságban, mely egyenértékű az aszfalt alaprétegre vonatkozó paraméterekkel.

$$\varepsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{aszfalt}} = \mathbf{167.27 \text{ mikrostrain}} \leq \varepsilon_{\text{eng}}^{\text{aszfalt}} = \mathbf{208 \text{ mikrostrain}} \quad (18)$$

$$\varepsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{földmü}} = \mathbf{186.81 \text{ mikrostrain}} \leq \varepsilon_{\text{eng}}^{\text{földmü}} = \mathbf{238 \text{ mikrostrain}} \quad (19)$$

Ez a pályaszerkezet megfelel a határértékeknek, ha ráadásul a 40 MN/m²-es altalaj modulusát alkalmazom, a pályaszerkezet szintén megfelel:

$$\varepsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{aszfalt}} = \mathbf{199.58 \text{ mikrostrain}} \leq \varepsilon_{\text{eng}}^{\text{aszfalt}} = \mathbf{208 \text{ mikrostrain}} \quad (20)$$

$$\varepsilon_{\text{mértékadó},2}^{\text{földmü}} = \mathbf{219.19 \text{ mikrostrain}} \leq \varepsilon_{\text{eng}}^{\text{földmü}} = \mathbf{238 \text{ mikrostrain}} \quad (21)$$

o Kötőanyag nélküli szemcsés alapréteg alkalmazása

Ahogy láthatjuk, az FZKA modulus értékei jelentősen alacsonyabbak, mint akár az aszfalt, akár a cementes kötőanyagú burkolat alapok esetében. Az UME által meghatározott 20 cm vastag burkolatalapra a forgalmi terhelési osztályunk esetében 18 cm aszfalt burkolatra van szükségünk. Maradva az előző példánál, a legminimálisabb vastagságokat alkalmazzuk. AC 8 kopó 2,5 cm, AC 16 kötő 5,0 cm, valamint a fennmaradó 10,5 cm AC 32 aszfalt alaprétegből épül fel.

$$\varepsilon_{mértékadó,2}^{aszfalt} = 212.9 \text{ mikrostrain} \geq ! \quad \varepsilon_{eng}^{aszfalt} = 208 \text{ mikrostrain} \quad (22)$$

$$\varepsilon_{mértékadó,2}^{földmü} = 396.2 \text{ mikrostrain} \geq ! \quad \varepsilon_{eng}^{földmü} = 238 \text{ mikrostrain} \quad (23)$$

Ahogy a példa elején is láthattuk, az FZKA alapréteg az alacsony saját modulusából adódóan közel nem teljesíti az elvárt teherbírást 80 MN/m²-es általaj E₂ modulussal sem. Ahhoz, hogy a pályaszerkezet szilárdsága megfeleljen, minimum 50 cm-ben kell alkalmazni, ami gazdasági szempontok miatt nem ajánlott.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Az analitikus számításokban láthattuk, hogy a típus-pályaszerkezetek rétegvastagságai a műszaki előírás által ajánlott és betartandó általaj modulus mellett nem feleltek meg ennek az alternatív méretezési eljárásnak, kivéve a teljes aszfaltburkolatú pályaszerkezetek. A bemutatott mintapélda egy változat arra nézve, hogy a helyi általaj, valamint a javítóréteg gondos megtervezése jelentősen tud javítani a pályaszerkezet teherbíróképességén, élettartamán. A gyakorlatban gyakran előfordul, hogy a kiszámított forgalmi terhelési osztályhoz gazdaságossági okokból a lehető legminimálisabb aszfalt rétegeket alkalmazzuk, hiszen azok így is megfelelnek az Útügyi Műszaki Előírásnak. A számítások viszont azt mutatják, hogy ezek a rétegvastagságok a tervezési élettartam előtti anyag elfáradáshoz vezethetnek. A számításaim szerint, amennyiben az egyes építőanyagokhoz meghatározott mechanikai paraméterek (rugalmassági modulus, Poisson-tényező), valamint az alternatív pályaszerkezet méretezésben meghatározott diagrammok valósan mutatják be az anyagok viselkedéseit, az egyes beépítési vastagsághoz vélhetően tartozó saját modulus értékeket, akkor a csupán kötőanyag nélküli burkolatalapokat alkalmazó pályaszerkezetek nagyságrendekkel a várható élettartam alatt fog teljesíteni, jóval korábban feltűnhetnek az anyagfáradás jelei. Mindazonáltal hozzá kell tenni, hogy a pályaszerkezet méretezés kiindulási paraméterét jelentő tervezési forgalom (TF) pontos és reprezentatív meghatározása a mai napig nagyon nehéz, nagyfokú hibafaktort hordoz magában.

4. IRODALOMJEGYZÉK

- [1]: 02.01.21, e.-U., 2009. Országos közutak keresztmetszeti forgalmának számlálása és a fogalom nagyságának meghatározása, Budapest: Magyar Útügyi Társaság.
- [2]: 02.01.31, e.-U., 2005. Közutak távlati forgalmának meghatározása előrevetítő módszerrel, Budapest: Magyar Útügyi Társaság.
- [3]: 06.03.13, e.-U., 2005. Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése, Budapest: Magyar Útügyi Társaság.
- [4]: 06.03.21:2018, e.-U., 2018. Útpályaszerkezetek aszfaltburkolati rétegeinek követelményei, Budapest: Magyar Útügyi Társaság.
- [5]: MSZ 2509/3-1989: Útpályaszerkezetek teherbíró képességének vizsgálata, Tárcsás vizsgálat, Budapest, ismeretlen szerző.
- [6]: Fi, I., Bocz, P., Pethő, L. & Tóth, Cs. 2012. Útburkolatok méretezése. Budapest: Terc kft.

[7]: Bocz, P. 2009. Az aszfaltkeverékek mechanikai paramétereinek és a pályaszerkezet fáradási élettartamának összefüggései. PhD. értekezés, Budapest: BME Út és Vasútépítési Tanszék. ISBN: 978 963 9968 34 9.

[8]: Primusz, P. & Tóth, C. 2018. Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek egyszerűsített analitikus méretezése. *Közlekedéstudományi Szemle*, 68 (5). pp. 17-33.

[9]: Soós, Z. 2016. A forgalomfejlődés becslésének pontossága a valós forgalom tükrében. *Közlekedéstudományi Szemle*, (65): 5, pp. 28-39.

[10]: Primusz, P. & Tóth, Cs. 2021. Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése. Budapest: *MAKADÁM 2000 Kft.*

[11]: Primusz, P. & Tóth, Cs. 2020. Az egyedi pályaszerkezet-méretezésben rejlő gyakorlati előnyök. *Az Aszfalt*, (27), pp. 13–19.

[12]: Gribovszki, Z., Kalicz, P., Herceg, A. & Primusz, P. 2020. A klimatikus jellemzők hatásai az útpályaszerkezetre. *Útügyi Lapok*, (8), 1–16. <https://doi.org/10.36246/UL.2020.1.01>

[13]: 06.03.53:2018, e-U., Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú burkolatalapok, Budapest: Magyar Útügyi Társaság.