



Kerékpárosok biztonságának elemzése 10 megyei jogú városban különös tekintettel a város és térsége biztonsági helyzetére és a kerékpáros létesítmények típusára

Hóz Erzsébet¹, Lányi Péter², Kalmár Tamás³

¹ KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet Nonprofit Kft.

² Nemzeti Fejlesztési Minisztérium

³ Magyar Közút Nonprofit Zrt.

E-mail: hoz@kti.hu

DOI: [10.36246/UL.2023.1.01](https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.01)

KIVONAT

Hazánkban a kerékpáros halálozások száma az Európai Unió átlagának (4,2 meghalt /1 millió lakos) közel kétszerese (7,8 meghalt/1 millió lakos). 2016-tól számtalan kormányzati forrás, pályázat segíti a kerékpározás infrastrukturális fejlesztését. 10 megyei jogú városban végzett vizsgálat eredményeit mutatja be a cikk, arra keresve a választ, hogy az eddigi kerékpáros fejlesztésekkel és a kerékpár forgalmi hálózati tervek (KfHT) készítésével javult-e a kerékpározás biztonsága, illetve milyen tényezők határozzák meg a kerékpározási feltételeket, színvonalát. Milyen mutatókkal értékelhető a rendelkezésre álló adatok alapján a kerékpározás biztonsága? A városokban a kerékpáros létesítmények típusválasztása megfelelő-e, vagy célszerű újragondolni a kerékpározás tereit?

Kulcsszavak: Közlekedésbiztonság, Kerékpáros balesetek, Kerékpár úthálózat, Kerékpáros létesítmények biztonsága, Kerékpáros barát városok

ABSTRACT

The rate of bicycle accidents that lead to death in Hungary (7.8 deaths/1 million inhabitants) is double the rate in the European Union (4.2 deaths/1 million inhabitants). Since 2016, the Hungarian government has provided financial aid to promote bicycle traffic infrastructure developments. This article presents the results of research involving 10 towns, examining the factors on which the safety and quality of cycling depend and whether they were improved by the financial aid. The study shows the parameters that define bicycle traffic conditions and the level of service. The selection of bicycle infrastructure types is crucial in determining road safety in a town, but sometimes it is useful to reconsider the bicycle network.

Keywords: Road safety, Bicycle accident, Network of bicycle routes, Safety level of bicycle infrastructure. Level of service in town.

Hóz Erzsébet

KTI Magyar Közlekedéstudományi és Logisztikai Intézet Nonprofit Kft., Stratégiai, Kutatás- Fejlesztési és Innovációs Igazgatóság, Közlekedésbiztonsági Kutatóközpont, Forgalmi Biztonsági Osztály, vezető kutató, hoz@kti.hu

Dr. Lányi Péter

Okleveles közlekedéscsoportmérnök, forgalomtechnikai és rendszertervező szakmérnök, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem műszaki doktora, címzetes docense, a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium nyugalmazott főosztályvezető-helyettese, dr.lanyi.peter.pal@gmail.com

Kalmár Tamás

Magyar Közút Nonprofit Zrt. Fejér Megyei Igazgatósága, Megyei forgalomtechnikai és kezelői osztály, forgalomtechnikai vezető mérnök, megyei kerékpáros referens, közúti biztonsági auditor, kalmar.tamas@fejer.kozut.hu

1. BEVEZETÉS

A városi (településen belüli) kerékpározás fejlesztése akkor tekinthető megfelelőnek, ha az ténylegesen követi az igényeket. A hazai kerékpározás és a meglévő létesítmények legfontosabb értékmérője a biztonsági szintjük megállapítása, elemzése. A hazai kerékpáros balesetek (2016-2020 évek között) **90%-a lakott területen**, ennek 25%-a 24 megyei jogú városban, 18%-a Budapesten történt [1]. A magyarországi kerékpáros forgalom nagyságáról kevés információ áll rendelkezésre, az elmúlt években két alkalommal végzett kerékpáros forgalomszámlálások idősoros (2018, 2020. évi) mérési adatai alapján megállapítható, hogy hazánkban a kerékpáros forgalom a 2018-2020 közötti időszakban dinamikusan növekedett. A városi közlekedésben a forgalom arányának eloszlásában (modal-split) a magas kerékpáros részarány növeli a kerékpározás vonzerejét. Amennyiben jók a kerékpározás biztonsági és hálózati adottságai, akkor előtérbe kerül a kerékpározás hivatásforgalmi funkciója, a közösségi közlekedésre való ráhordó szerepe is. Az elmúlt évtizedekben jellemzően a közutakon haladtak a kerékpárosok (a kerékpár is jármű), azonban a gépjárműforgalom dinamikus fejlődése, és a folyamatosan emelkedő sebességszint miatt kiszorultak a közutakról. Ezzel együtt néhány város kivételével (pl. Békéscsaba, Szeged) nem kapott figyelmet és/vagy pénzügyi forrásokat a helyi, napi munkába járási kerékpározás feltételeinek megteremtése. A kerékpározásban egyik élenjáró ország Hollandia, ahol rendszerben gondolkodva kidolgozták a kerékpárforgalmi hálózat [2] tervezési szempontjait. A vizsgált 10 hazai város kerékpározásának és kerékpáros fejlesztéseinek értékelésénél a kerékpárosbarát környezet megteremtéséhez a hollandok által meghatározott öt alapkövetelményt tartottuk szem előtt:

- Összefüggőség: összefüggő és folytonos hálózat (cohesion)
- Közvetlen elérhetőség: lehetséges legrövidebb vonalvezetés (directness)
- Biztonság (safety)
- Kényelem (comfort)
- Vonzerő (attractiveness)

Alapkövetelmény, hogy a hálózatot alkotó kerékpáros létesítmények legyenek biztonságosak, a gépjármű- és gyalogos közlekedéssel harmonizálók, akadálytalanul használhatók a folyópálya szakaszokon és a csomópontokban is. Stratégiai szinten már egyaránt fontos, hogy a hálózat összefüggő, egymáshoz kapcsolódó szakaszokból álljon, azaz a kerékpárosok a lehető legtöbb helyre eljussanak kerékpárosbarát útvonalon. Emellett természetesen fontos a megfelelő minőség és a kapcsolódó szolgáltatások megléte is.

2. A KERÉKPÁROZÁS HÁLÓZATI FELTÉTELEINEK VÁLTOZÁSA AZ ELMÚLT ÉVTIZEDEKBEN HAZÁNK TELEPÜLÉSEIN

A kerékpárosok a településeken a közút kiépítési módja (útkategória, keresztmetszet, sávszélesség, járdák megléte vagy hiánya, beépítési szélesség), a forgalom jellemzői (forgalomnagyság, nehézségi jármű-forgalmi arány, választott sebesség) miatt többnyire a járdákra szorultak. Ezt a

folyamatot a pályázati kiírások, a tervezési háttér, a tervezők és döntéshozók szemléletmódja is támogatta.

2.1. FEJLESZTÉSI FORRÁSOK ÉS BERUHÁZÓK KÖRE

Az elmúlt évtizedekben elsősorban uniós, de hazai források is rendelkezésre álltak a fejlesztésekhez. Mivel az állami kezelésű országos közutakon nem támogatták a kerékpársávok kialakítását, az önkormányzati beruházásoknál (3200 önkormányzat) az ilyen utak mentén kényszerűen az egyoldali, kétirányú kerékpárutak és az egyesített gyalog- és kerékpárutak kialakítása került előtérbe. Közrejátszott az is, hogy járdaépítésre nem, de kerékpárút-építésre lehetett pályázni, ezért kerékpárútként épültek meg járdák is. A biztonságra hivatkozva igyekeztek a döntéshozók, beruházók, tervezők a gépjárművektől elválasztani a kerékpárosokat. Egy 2013-ban készült Állami Számvevőszéki jelentés a következő megállapításokat tette a 2004-2012 között épült kerékpárutak fejlesztései kapcsán. „*A hazai forrásokból támogatott programok eredményeinek mérése – a teljesítendő célértékek hiányában – nem valósult meg. A beruházási szakaszban az egyes megépített kerékpárutak hosszát és egyéb műszaki paramétereinek megfelelőségét, minőségét a támogatást nyújtó nem ellenőrizte. [6]A fejlesztési projekteknek a kerékpáros közlekedésre gyakorolt hatása – mért forgalmi és baleseti adatok hiányában – nem volt megállapítható.*” Ugyanez történt az uniós források felhasználásakor is. „*A kerékpáros forgalom növekedésére, illetve a kerékpáros balesetek számának csökkenésére vonatkozó mutatószámok vagy nem kerültek előírásra, vagy azok teljesítését a közreműködő szervezetek nem követelték meg. [7]*”

2016-ban elindult egy komplex országos fejlesztési program, elsősorban a turisztikai célú kerékpározás feltételeinek megteremtésére [8], ami további hatással volt a települési, belterületi kerékpározásra. A kiemelt turisztikai útvonalak településeken való átvezetése számos problémára, nehézségre irányította a figyelmet a munkába járással kapcsolatos, napi kerékpározás területét érintően is. Éppen a fejlesztések összehangolása érdekében ekkor indult a városok, települések kerékpárforgalmi hálózati terveinek (KfHT¹) készítése is. A fejlesztések irányát és a tervezések alapját egyrészt a pályázati kiírások és az akkor (2015-2016) hatályos útügyi műszaki előírások, illetve a beruházók - az önkormányzatok - munkatársainak szemléletmódja határozta meg. Akkor még a pályázati kiírások nem tettek különbséget belterületi és külterületi kerékpáros fejlesztések között a korszerű kerékpáros tervezési irányelvek figyelembevételét tekintetében. A tervezést többnyire azok a cégek végezték, akik évtizedeken keresztül gépjárművek számára terveztek közutakat (gyorsforgalmi utakat), így a kerékpáros létesítmények tervezésénél is alapvetően azt tartották szem előtt, hogy a gépjárművek érdekei ne sérüljenek. A Terület- és Településfejlesztési Operatív Program – TOP - pályázatok kiírásába (TOP-6.4.1-16) [9] bekerült az a mondat (*„A projekt a közúti közlekedésről szóló 1988. I. tv. 8. § (1a) bekezdésével összhangban kerül tervezésre valamennyi közlekedő igényeinek a figyelembevételével”*), ami sajátos értelmezést kapott, a közúton haladó gépjárművek számára hátrányosnak tekintették a keresztmetszet bármiféle újraelosztását vagy újragondolását. Ezért is csekély a megvalósult kerékpársávok és nyitott kerékpársávok hossza. Az ilyen megoldások a parkolóforgalomnak is nehézséget jelentenek, és számos kerékpáros útvonalon a parkolóhelyek elvételével vagy szűkítésével járna a kialakításuk. Eközben a kerékpárosok részére a gyalogosok - mint többi közlekedő - tereinek elvétele nem jelentett korlátot.

2.2. KERÉKPÁROZHATÓ KÖZUTAK, KERÉKPÁROS LÉTESÍTMÉNYEK ÚTÜGYI MŰSZAKI ELŐÍRÁSAI

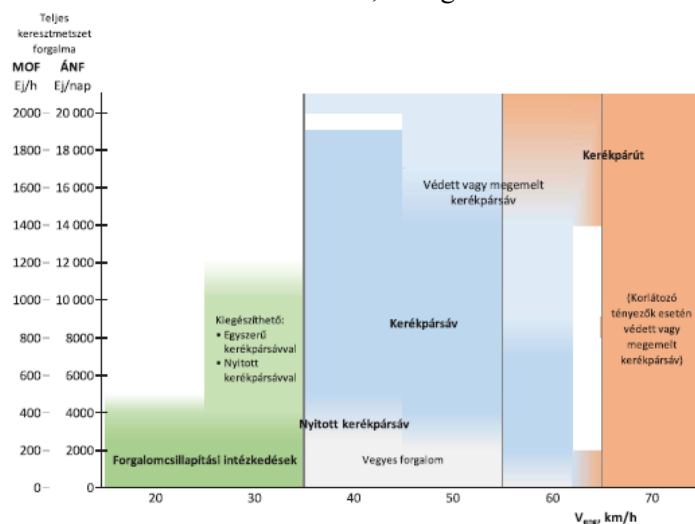
2010-ben készült el az e-ÚT 03.04.11 (ÚT 2-1.203) Kerékpárforgalmi létesítmények tervezése (A KTSZ kiegészítése) útügyi műszaki előírás, ami alapján az elmúlt évtizedben a kerékpáros útvonalakat tervezték. Az előírás hangsúlyozta a hálózati szemléletmódot, de a gyakorlatban ez belterületen nem

¹ A kerékpárforgalmi hálózati terv célja, hogy felmérje a (település és környezete, vagy megye) kerékpáros közlekedésének a helyzetét: kerékpáros forgalmát, kerékpározhatóságát, a kerékpáros közlekedést akadályozó tényezőket, és ezek alapján javaslatot adjon a fejlesztésekre annak érdekében, hogy a kerékpáros közlekedés aránya növekedhessen, és minél többen választhassák mindennapi eszközként a kerékpárt.

érvényesült. A tervezési alapelvek, 3.5.2 A hálózati elemek változatossága pontjánál ez szerepel: „Az a legfontosabb, hogy mielőbb összefüggő kerékpár forgalmi nyomvonalak alakuljanak ki, még annak ellenére is, hogy egyes szakaszokon nem alakítunk ki önálló kerékpárforgalmi létesítményeket (pl. kerékpárutakat). Az előnytelen műszaki jellemzőkkel vagy a kerékpárosok számára kedvezőtlen nyomvonalon kialakított önálló kerékpárforgalmi létesítmények nem érik el a kívánt hatást. A kerékpározásra kialakított útfelületek ne elsősorban gyalogos és zöldfelületek rovására történjen.”

A jól megfogalmazott tervezési alapelvek ellenére az elmúlt évtizedben **külterületen és belterületen is az egyoldali, kétirányú gyalog- és kerékpárutak vagy kerékpárutak épültek többségében.** A KENYI nyilvántartásában is láthatóak ezek az adatok (lásd 2. ábra).

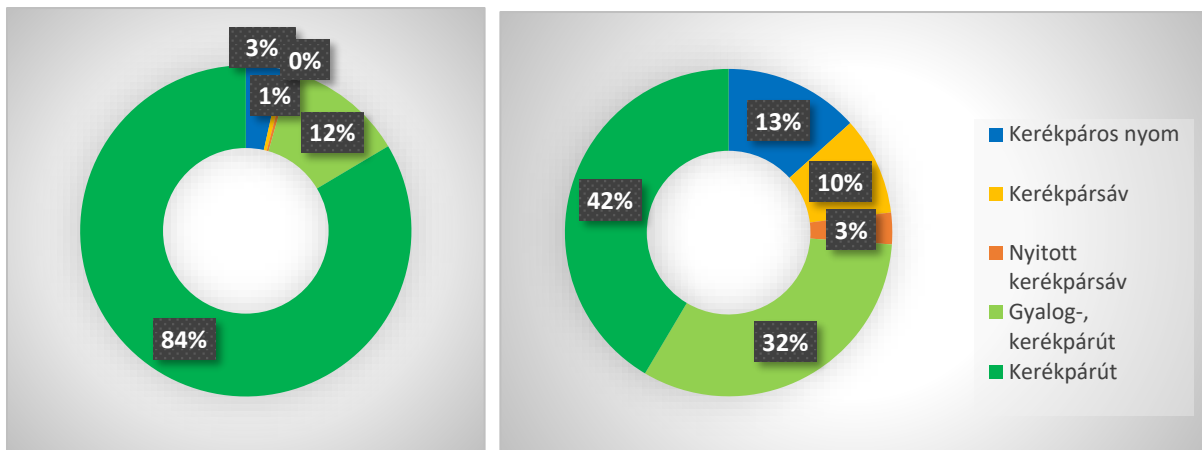
2019-ben készült el az új, jelenleg is hatályos, a nyugat-európai irányvonalat követő „Kerékpározható közutak tervezése, e-ÚT 03.04.13:2019” útügyi műszaki előírás (továbbiakban hatályos ÚME). Egyik kulcseleme a különféle kialakítások, kerékpáros létesítmények közüli választást segíti alapvetően a **forgalomnagyság és az érvényes sebességszabályozás** függvényében (lásd 1. ábra; hatályos ÚME 3. ábra). Mindkét választást meghatározó jellemző változó paraméter, hiszen nincs a sebességszabályozásra vonatkozóan semmiféle előírás, a forgalom is állandó változásban van.



1. ábra. Kerékpárosbarát kialakítás minimális kiépítési szintjei a tervezett gépjárműforgalom és a tervezett engedélyezett sebesség függvényében lakott területen.

2.3. KERÉKPÁROZÁS HELYE, LÉTESÍTMÉNYEI

Fontos tisztázni, hogy mit értünk kerékpárforgalmi hálózaton, milyen típusú kialakítások képezik a hálózat részét. A 2019 májusa óta hatályos „Kerékpározható közutak” útügyi műszaki előírás helyére tette, hogy **a kerékpáros nyom nem létesítmény.** A KRESZ szerint „az útesten, burkolati jellel kijelölt kerékpáros nyom (158/k. ábra) jelzi a kerékpárosok részére az útesten történő haladásra ajánlott útfelületet. Az így megjelölt útesten fokozottan számolni kell kerékpárosok közlekedésével” [10]. Az ebből eredő kétféle értelmezés szerint nem alakult ki egységes hazai alkalmazási gyakorlat (túlzott alkalmazása terjedt el). A KENYI nyilvántartása tartalmazza – helyesen -, ahogy a 2. ábra is mutatja a lakott területen kívüli és lakott területi kerékpáros létesítmények megoszlását. A 2021. évi adatok alapján lakott területen a kerékpáros nyomok jelentik a „létesítmények” 13 százalékát.



2. ábra. A hazai, KENYI nyilvántartása (2021) szerinti **kerékpáros létesítmények megoszlása** (kerékpáros nyomokkal együtt) lakott területen kívül (bal oldali ábra) és lakott területen –országos adatok-.

A **következő létesítmények**, kerékpáros útvonalak figyelembevételére került sor:

- *Kerékpárforgalmi létesítmények:*
- *kerékpársáv,*
- *nyitott kerékpársáv,*
- *gyalog- és kerékpárút,*
- *kerékpárút.*

Kijelölt kerékpáros útvonalak (nem önálló létesítmény):

- *gyalogos és kerékpáros övezet*
- *útirányjelző táblával kijelölt egyéb útvonal (pl. erdészeti, bányászati útvonal, lakóútca, mezőgazdasági út)*
- *kerékpáros nyommal kijelölt útfelület.*

A vizsgálat szempontjából figyelmen kívül hagytuk az olyan egyébként kerékpározás céljára igénybe vehető egyes forgalmú útfelületeket, amelyek:

- *Kerékpárforgalmi létesítménynek nem minősülő út, amelyen a kerékpáros közlekedés a közúti közlekedés szabályairól szóló 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet alapján nem tilos.*

A kerékpáros útvonalak, létesítmények hálózati rendszerben való tervezése (összefüggőség) alapvető feltétele annak, hogy egy-egy útvonal teljes hosszán biztosítva legyen a **biztonságos, kényelmes és közvetlen** kerékpáros közlekedési kapcsolat. Kisebb területi egységen belül sem lehetséges teljesen homogén hálózat létrehozása, azonban a szakadási pontok megszüntetésével, kritikus szakaszok fejlesztésével jelentősen javíthatók a feltételek és így a kerékpározás, mint közlekedési mód vonzóvá válik. A jól felépített hálózat egy településrész vagy kisebb térség esetében elsősorban a mindennapi közlekedési igényeket, regionális vagy országos szinten pedig elsősorban a turisztikai igényeket szolgálja ki. A KfHT elősegíti a források hatékony és jól ütemezhető felhasználását, a kapcsolódó fejlesztési programokkal való összhang megteremtését. A későbbi, részletesebb tervezési fázisokhoz (tanulmányterv, engedélyes- és kiviteli terv) támpontot ad, peremfeltételeket és javaslatokat fogalmaz meg, ezen kívül segít a fejlesztések ütemezésének és sorrendjének meghatározásában.

2.4. AZ ELMÚLT ÉVEKBEN A VIZSGÁLT 10 VÁROSBAN KÉSZÜLT KfHT-K FONTOSABB JELLEMZŐI [4]

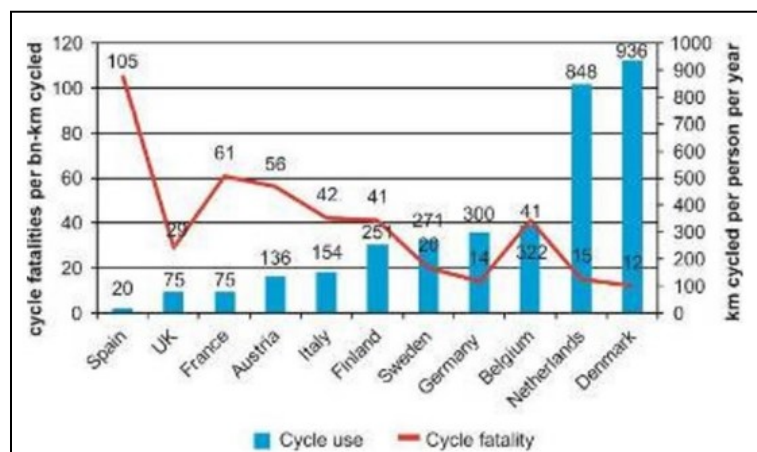
- a KfHT-k kidolgozásának célja nem volt egyértelműen meghatározva, inkább egy-egy kerékpáros projekt utólagos alátámasztását szolgálták,

- a hálózat szakadásmentessége, a projektek egymáshoz és a meglévőhöz való kapcsolódása nem volt kiemelt cél,
- az egy oldalon tervezett kétirányú gyalog- és kerékpárutak tervezése volt túlsúlyban,
- az irányhelyes kerékpáros létesítmény típusok aránya alacsony,
- a szomszédos településeket összekötő kerékpárutak megvalósítását nem segítették a tervek,
- a megyei szintű tervezés, a különböző szintű hálózatok összekapcsolása nem valósult meg,
- az útvonalak forgalmi és baleseti vizsgálata nem kapott megfelelő hangsúlyt a létesítmények kiválasztása során,
- a beavatkozási hierarchia (hatályos ÚME 3. ábrája szerinti sorrend: sebesség-csökkentés, forgalomcsillapítás, forgalomtechnika, kerékpáros létesítmény kijelölése, építése stb.) lehetőségeinek célszerű végiggondolása nem jellemző,
- a kerékpárosbarát komplex tervezési elvek nem érvényesültek teljes mértékben,
- a kapcsolódó létesítmények (útbaigazítótábla-rendszer, kerékpártámaszok, -tárolók) tervezése kisebb hangsúlyt kapott.

Sem a 2004-2012 közötti, sem a 2015-2021 közötti hazai kerékpáros fejlesztéseknél nem kerültek előírásra, nem kaptak hangsúlyt a **kerékpáros forgalom növekedésére és a kerékpáros balesetek számának csökkenésére vonatkozó mutatószámok**, mint célkitűzések, ahogy azt az Állami Számvevőszék 2013-ban készült jelentése [5] is megállapította.

3. NEMZETKÖZI KITEKINTÉS

A kerékpáros hálózatot minősítő és a korszerű, folyamatos fejlesztési irányt megmutató külföldi szakirodalmi kitekintés a hazai eljárások számára javasolható mintaként szolgál. A fejlett kerékpáros közlekedési kultúrával rendelkező országokban, melyekben az éves kerékpáros futásteljesítmények magasabbak, a fajlagos halálozási kockázat – futásteljesítményre eső - alacsonyabb, mint az olyan országokban, ahol kevesebbet kerékpároznak (3. ábra). A jó példaként tekinthető országok sikere abban rejlik, hogy a zsúfolt nagyvárosokban a közúti forgalmi torlódás és a jelentős környezetszennyezés csökkentésére folyamatos kerékpárosinfrastruktúra-fejlesztés kezdődött, amelynek eredményeképpen olyan kerékpárosbarát úthálózat alakult ki, amely a napi iskolai és munkahelyi forgalom számára kedvezőbb és vonzóbb lett, mint a személygépjármű- és tömegközlekedés.



3. ábra. Halálos kerékpáros áldozatok száma a kerékpáros futásteljesítményekhez viszonyítva az EU néhány országában (ECF 2011) [11].

A hazai kerékpárosok mortalitása (7,8 meghalt/1 millió lakos) a közlekedésben való részvételükhöz képest közel kétszerese az európai átlagnak (4,2 meghalt/1 millió lakos) [12] - 2016-2018 -, ami alátámasztja a biztonságuk növelésének és az eddigi tervezési és beruházási gyakorlat felülvizsgálatának szükségességét is.

4. HAZAI KERÉKPÁROZÁS BIZTONSÁGÁNAK ALAKULÁSA A VIZSGÁLT 10 MEGYEI JOGÚ VÁROSBAN ÉS TÉRSÉGÉBEN

A hazai kerékpáros balesetek (2016-2020 évek között) 90%-a lakott területen, ennek 25%-a 24 megyei jogú városban történt, ezért ezekre a városokra vonatkozóan szükségesnek tartottuk további feltáró vizsgálatok és elemzések elvégzését. Kiválasztottunk 10 megyei jogú várost (Békéscsaba; Győr; Kaposvár; Kecskemét; Miskolc; Szeged; Székesfehérvár; Szombathely; Tatabánya; Veszprém), melyekben elvégeztük a kerékpárosok helyzetértékelését, a kapott eredményeket összehasonlítottuk egymással is, kiemelten kezelve a biztonság szempontjait. Célunk a jövőbeni kerékpárosbarát fejlesztések elősegítése az eredmények bemutatásával.

A 10 város elhelyezkedését, úthálózatát, lakosságát vagy a foglalkoztatási mutatóit vizsgálva igen eltérő jellemzőkkel rendelkezik. Két fontos jellemző a területük nagysága és a lakosok száma, eloszlása, ahogy az 1. táblázat mutatja külterület és belterület vonatkozásában [15]. Kecskemét a leginkább „szétterülő” alföldi város, ahol a belterület aránya csupán 13,38 % és Kecskeméten legalacsonyabb a belterületen lakók aránya (74,66%). Békéscsabával mutat hasonlóságot a kiterjedtségében, azonban Békéscsabán a belterületen lakók aránya közel 90 %, alig tér el a többi vizsgált várostól. Szombathely és Győr a két „kompakt” város, ahol 30 % fölötti a belterület aránya, de míg Szombathelyen a belterületen lakik a többség (98,1 %), addig Győroött ez az arány csak 83,84 %.

1. táblázat. A vizsgált városok főbb adatai (2020).

| | Központi belterületen lakók száma [fő] | Belterületen és külterületen lakók száma [fő] | Belterületen lakók aránya [%] | Települések belterülete [km ²] | Települések külterülete [km ²] | Belterület aránya [%] |
|----------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|
| Békéscsaba | 55418 | 62050 | 89,31 | 30,82 | 163,11 | 15,89 |
| Győr | 108598 | 129527 | 83,84 | 56,97 | 117,65 | 32,63 |
| Kaposvár | 57140 | 66245 | 86,26 | 29,69 | 83,90 | 26,14 |
| Kecskemét | 83178 | 111411 | 74,66 | 43,17 | 279,4 | 13,38 |
| Miskolc | 151111 | 167754 | 90,08 | 54,34 | 182,33 | 22,96 |
| Szeged | 162912 | 168048 | 96,94 | 50,77 | 230,23 | 18,07 |
| Székesfehérvár | 98929 | 100570 | 98,37 | 45,90 | 124,99 | 26,86 |
| Szombathely | 77385 | 78884 | 98,10 | 31,96 | 65,54 | 32,78 |
| Tatabánya | 66514 | 67753 | 98,17 | 21,78 | 69,64 | 23,82 |
| Veszprém | 55846 | 61721 | 90,48 | 22,54 | 104,38 | 17,76 |

4.1. A VIZSGÁLT 10 VÁROS KÖZIGAZGATÁSI TERÜLETÉN TÖRTÉNT SZEMÉLYSÉRÜLÉSES BALESETI ADATOK ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉSE

A városok összehasonlíthatóságához **fajlagos mutatókat** kellett képeznünk. A kerékpározás biztonságának értékeléséhez ismernünk kell a város általános közlekedésbiztonsági helyzetét is. Azért, hogy a változásokat is lássuk két évet kiválasztva (2016 és 2019) vizsgáltuk a közlekedésbiztonság színvonalát az alábbi mutatókkal:

- a város **közigazgatási területén** a **személyes balesetek** és **sérülések** száma, súlyossága lakos számra és területre vetítve;
- a város **belterületén** a személyes balesetek és sérülések száma, súlyossága szintén lakos számra és területre vetítve.

Az igazán értékes fajlagos mutatószám a forgalomra vetített balesetszám és súlyosság lenne, azonban 1985 óta nincs rendszeres forgalmi adatgyűjtés a településeinken, tehát erre nincs lehetőség. A rendszeres forgalomszámlálások visszaállítása nélkül csak lakosszámmra és területre vagy hálózathosszra

vetített mutatókkal tudunk dolgozni. Ezek is jobbák, mint az abszolút számok, de minőségét, használhatóságát tekintve elmaradnak a forgalomra vetített mutatóktól.

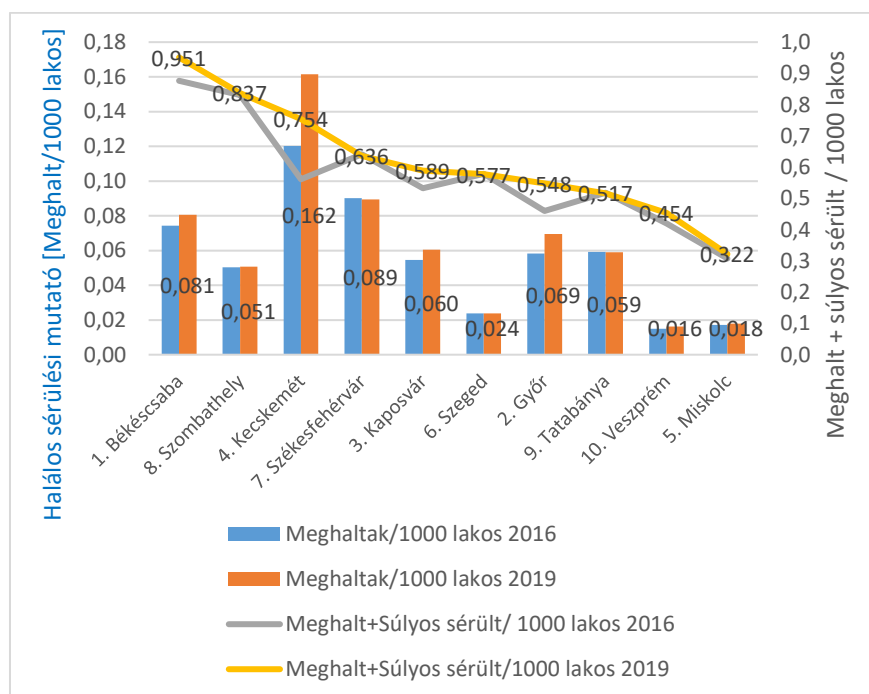
A KSH adatállománya lehetőséget nyújt a közigazgatási területen (külterületen és belterületen) történt balesetek elemzésére. 2020-ig csak ezek az adatok jelentek meg, csupán **2020 óta állnak rendelkezésre a közigazgatási területi és a belterületi adatok egyaránt.**

Igazodva a közúti közlekedés biztonságáról szóló Valletta Nyilatkozatban [14] megfogalmazott célkitűzéshez (nem csak a halálos áldozatok, hanem a súlyos sérültek számát is csökkenteni kell), a közigazgatási területi vizsgálatnál a hangsúlyt **a halálos és súlyos kimenetelű balesetekre, sérültek számára** helyeztük. A következő ábráinkon, a legmagasabb értékű, legkedvezőtlenebb mutatóval rendelkező városok kerültek előre. Minden ábránál az „utolsó békeév”, tehát a pandémia előtti 2019-es év adatai alapján végeztük a sorba rendezést, de más-más mutatók alapján.

Lakosság alapján

A 4. ábra a közigazgatási területen bekövetkezett **halálos sérülési és a halálos + súlyos sérülési mutató** lakosszámmra vetített értékei láthatók együttesen. A sorrendet a 2019-es fajlagos halálos + súlyos sérülési mutató adja. Bár a halálozási mutatót tekintve a legmagasabb értékű város Kecskemét és térsége (a Mercedes gyár városa), ami 2016-hoz képest jelentősen romlott is. Kecskemétet követi Békéscsaba és Székesfehérvár. Hét városban romlás figyelhető meg a halálozási mutatóban 2016-hoz képest, Székesfehérváron, Tatabányán és Szegeden nincs változás.

A 2019-es **halálos + súlyos sérülési mutató** sorrendjében láthatók a városok, nem meglepő, hogy a halálos + súlyos sérüléseket tekintve két hagyományosan kerékpáros város, Békéscsaba és Szombathely mutatói ugranak ki, Kecskemét a harmadik. Ez a mutató igen sok tényezővel lehet kapcsolatban, például a motorizációs szinttel, a sebességszintekkel, de a védtelen úthasználók arányával is. Az ábrán csak a 2019-es halálos sérülési, illetve a halálos és súlyos sérülési mutató értékei kerültek feltüntetésre. (A városok „sorszámát” az abc sorrendjük adja.)



4. ábra. Lakos számra vetített **halálos és súlyos sérülési mutatók** összehasonlítása (2016, 2019).

A halálos és súlyos sérülési mutató szerint Békéscsaba, Szombathely, Kecskemét, Székesfehérvár a sorrend, (követi a halálos és súlyos baleseti mutató szerinti sorrendet), ami összefüggésben van a védtelenek baleseti arányával. Az ábrán (4. ábra) az is látható, hogy 2019-ben Kecskeméten és Győrött jelentősen romlott mind a halálos sérülési mutató, mind a meghaltak és súlyos sérültek fajlagos baleseti

mutatója 2016-hoz képest. **Ebben a két városban nőtt a lakosok száma, az összes többi vizsgált városban fokozatosan csökken.** A két kiemelt, német gépjárműgyártó üzemmel rendelkező város, ahol feltehetően már ennek köszönhetően is nagyobb a gépjárműforgalom, miközben jelentős munkaerő-feltevő helyek.

Területre vetítve

Tekintettel a városok „szétterültségére”, megnéztük, hogy amennyiben nem lakosszámra, hanem közigazgatási területre vetítjük a halálos (halálos és súlyos) baleseteket, hogyan módosul a városok sorrendje. A területi fajlagos mutató (személyes balesetek sűrűsödése) a kompakt városok esetén érhetően magasabb a nagy területű, szétterülő alföldi városokhoz képest. Szombathelyen ugrásszerű javulás volt 2019-ben 2016-hoz viszonyítva.

Domborzat alapján

A kerékpáros forgalom összefüggéseinek megismerésére célszerű további kutatásokat végezni **város-csoportok képzésével**, és csoporton belüli (hasonló jellemzőkkel rendelkező városokat) összehasonlításokkal. Ilyen csoportosítás lehet a **domborzati viszonyok**, a lakosok eloszlása, vagy a közúthálózat szerkezete (gyűrűs-sugaras, rácsos szerkezet).

A kerékpárforgalom domborzattól való függésének vizsgálatára a domborzat jellegét - hazai és nemzetközi ajánlások alapján - az alábbiak szerint határoztuk meg:

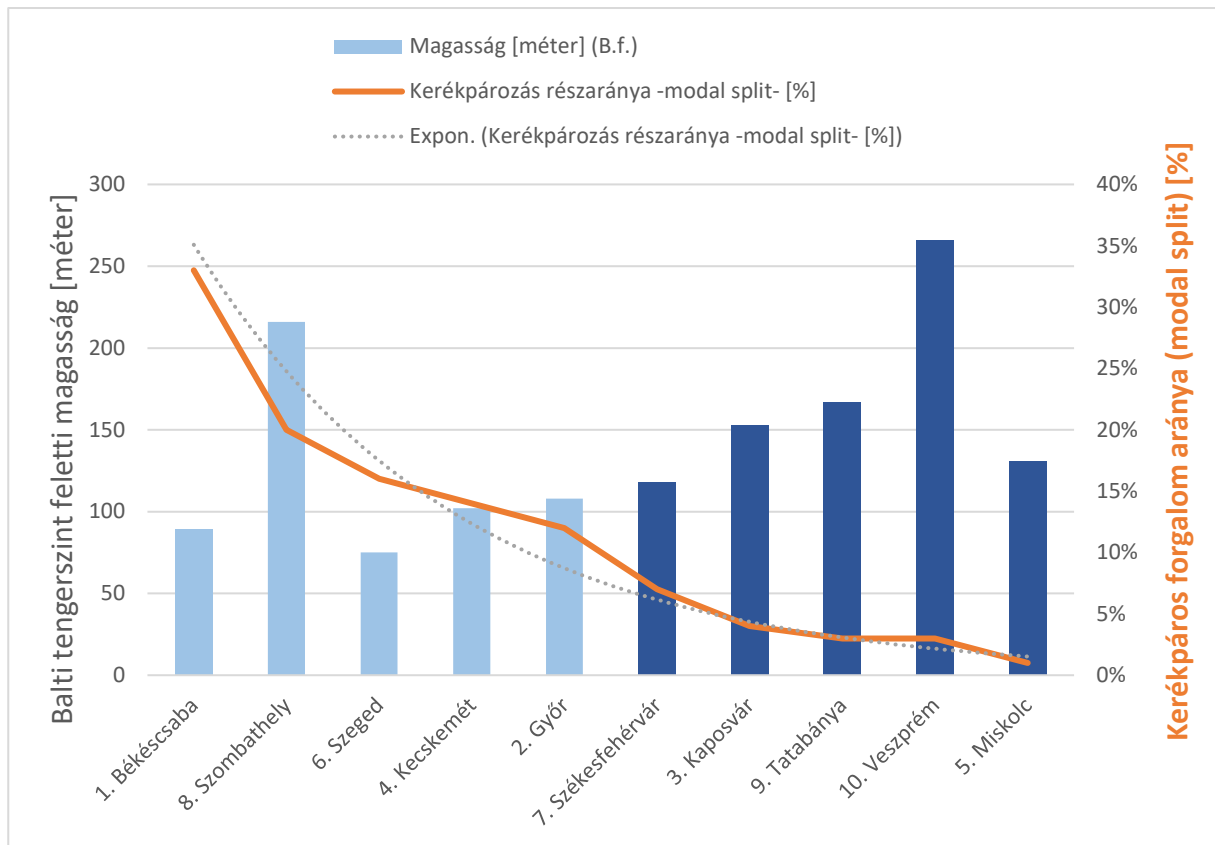
- síkvidéki: városon belüli pont esetén a város bármelyik része jelentősebb szintkülönbség nélkül elérhető.
- hegy- és dombvidéki: városon belüli pont esetén létezik a városon belül olyan pont, amely elérése csak nagyobb szintkülönbség leküzdésével elérhető el.

A 10 vizsgált város domborzati jellege, tengerszint feletti magassági adata és a kerékpáros forgalom aránya között összehasonlítást végeztünk, melyet az 5. ábra mutat be.

Fordított arányosság mutatható ki a domborzat jellemzői (jellege és terep magassága együttesen) és a kerékpáros forgalom (modal-split kerékpáros részanyára) között. A két oszlopdiagramok mutatják a balti tengerszint feletti magasságokat, világoskékkel jelöltük a síkvidéki, míg sötétkékkel a domb- és hegyvidéki jellegű városokat. Az arányt a domborzat jellege lényegesebben befolyásolja (torzítja), mint a terepszint abszolút értelemben meglévő magassága, ez Szombathely esetében a legszembetűnőbb (síkvidéki városnak vettük, mert fennsíkon helyezkedik el), a forgalom oldaláról pedig egyéb befolyásoló tényezők is szerepet játszanak (Miskolc).

Természetszerűen a síkvidéki jellegű települések kedvezőbb lehetőséget jelentenek a kerékpározás számára a domb- és hegyvidéki településekhez képest. A vizsgált 10 város ezt visszaigazolja, a síkvidéki jellegű városokban lényegesen nagyobb a kerékpáros forgalom, mind az abszolút számok, mind a modal-split részarány tekintetében.

A domborzati jellemzők mellett a városok karakterisztikája is jelentős befolyásoló tényező a kerékpározás szempontjából, a szétterülő és a kompakt városok jellemzői különböznek (lásd 1. táblázat). A 10 városban végzett városkarakterisztika és domborzati adottságok vizsgálata alapján megállapíthatjuk, hogy kiterjedtség szempontjából **minden hazai városunk alkalmas a kerékpározásra** (definíció szerint: 5 km-nél kisebb a városközpont és a külső városrészek közötti átlagos távolság), viszont a városközpontban a domborzat hatása elsődleges.

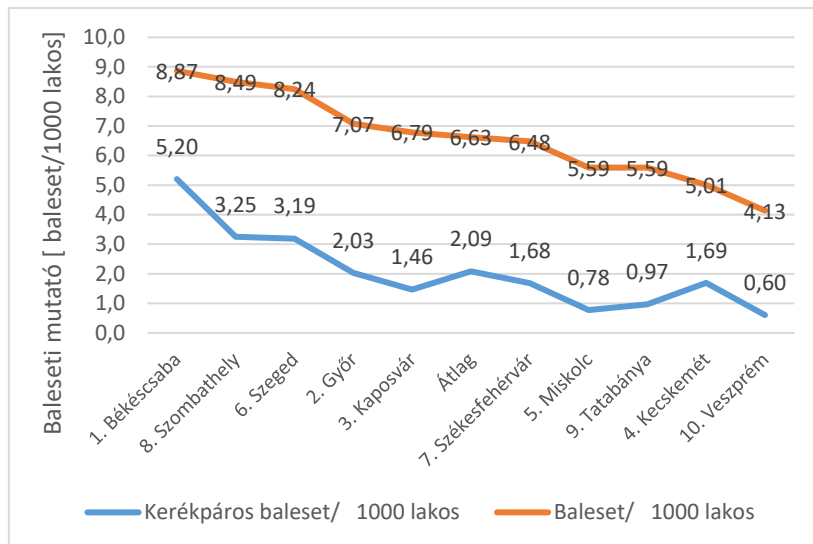


5. ábra. Domborzat és kerékpározás összefüggése.

A területre vetített mutató „torzulása” világított rá arra, hogy **belterületen (lakott területen) kell elsődlegesen vizsgálni a személyesérüléses baleseteket, sérüléseket és azok kimenetelét.** A közigazgatási terület több város esetén jelentős kiterjedésű – lásd 1. táblázat -, mely területek már nagysebességű külterületi részek, biztonságát nem is célszerű együttesen vizsgálni a belterületi részekkel. (Újra megjegyezzük, hogy 2020-ig csak a közigazgatási terület – belterület és külterület együtt - adata volt elérhető a KSH vizsgálataiban.)

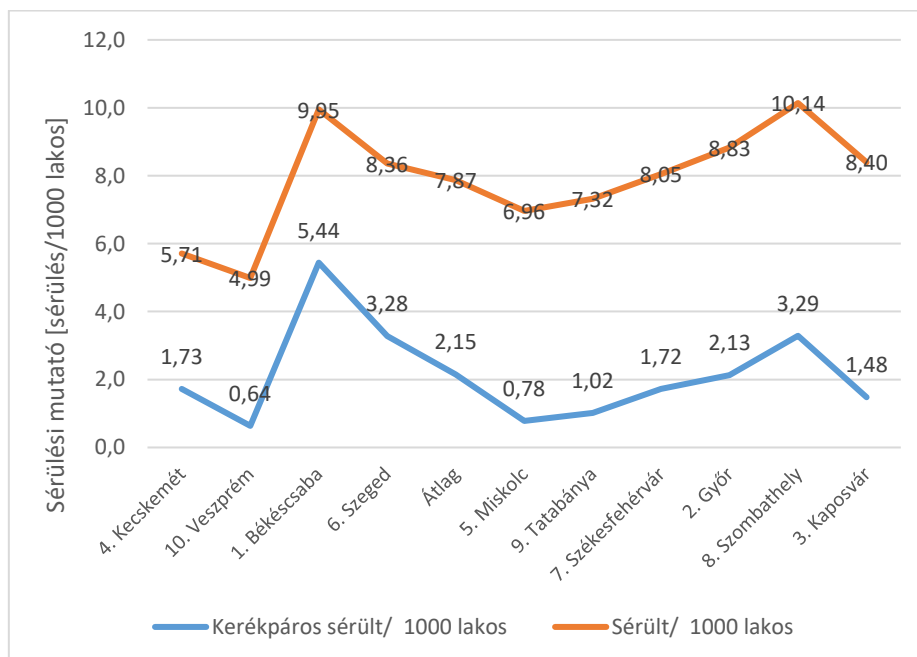
4.2. A VIZSGÁLT 10 VÁROS BELTERÜLETÉN TÖRTÉNT SZEMÉLYSÉRÜLÉSES BALESETEK ÉS A KERÉKPÁROS BALESETEK KÖZÖTTI KAPCSOLAT, ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉS

Megvizsgáltuk a városokban a 2016-2020 közötti időszakban történt személyesérüléses balesetek és a kerékpáros balesetek közötti kapcsolatot. 5 év átlagos balesetszámát és 5 év átlagos kerékpáros baleseteinek számát vetítettük a 2019-es lakos számra. Az alábbi 6. ábra szemlélteti a kapcsolatot az összes baleset és a kerékpáros balesetszám között. A 10 városra képeztünk egy matematikai átlagértéket, azt is feltüntettük. A városok sorrendjét a személyesérüléses balesetek lakos számra vetített értéke adja. A kerékpáros városok (Békéscsaba, Szombathely és Szeged) mutatnak általánosságban rosszabb kerékpáros baleseti arányt (Kecskemét kivétel) mert, ahol sokan kerékpároznak, ott a kerékpáros forgalom növekedésével arányosan nő a kerékpáros balesetek száma is (rövid távon).



6. ábra. Baleseti mutatók a városok belterületére számítva, 5 év átlaga (2016-2020).

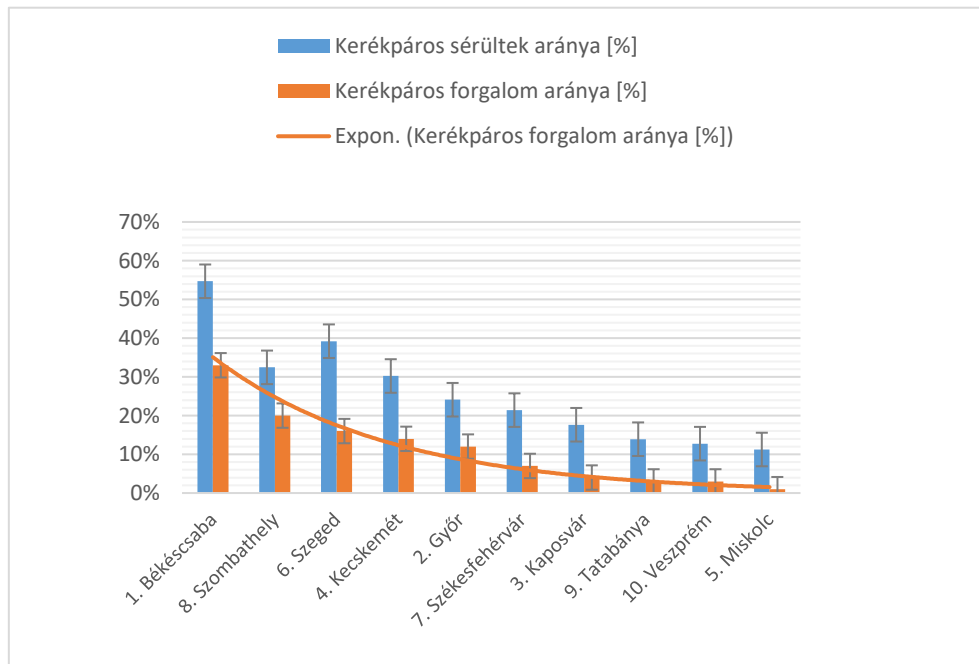
A 6. ábra azt is szemlélteti, hogy a kerékpárosok baleseti helyzete alapvetően meghatározza a város baleseti helyzetét és a kerékpárosbarát városokban egyelőre magasabb a balesetszám, ezzel együtt a kerékpáros elütések száma is. Megnéztük a sérülési mutató alakulását is erre az 5 évre vonatkozóan, melyet a 7. ábra szemléltet, ahol a városok sorrendjét **a személyes sérüléses balesetben megsérültek és a kerékpáros balesetben megsérültek fajlagos értéke közötti különbség határozza meg**. Az ábra azt szemlélteti, hogy Kecskeméten, Veszprémben, Békéscsabán, Szegeden szinte együtt mozog a sérülési mutató a kerékpáros sérülési mutatóval, szoros a kapcsolat közöttük. A sor végére került városok esetén már nem ilyen szoros a kapcsolat, a kerékpáros sérülések „elmaradnak” az összes sérüléstől, tehát kissé kedvezőbb a kerékpárosok helyzete. Székesfehérvár, Győr, Szombathely és Kaposvár esetén feltételezhetően a létesítmény-típusok aránya és hatása miatt kedvezőbb a kerékpárosok baleseti és sérülési mutatója. (Erre vonatkozóan javasolunk további részletes vizsgálatot végezni.)



7. ábra. Sérülési mutatók eltérései a városok belterületére számítva, 5 év átlaga (2016-2020).

4.3. KERÉKPÁROS BALESETEK ÉS A KERÉKPÁROS FORGALOM ARÁNYA KÖZÖTTI KAPCSOLAT VIZSGÁLATA BELTERÜLETEN

Mind a személyesérüléses balesetek, mind a sérülések azt mutatják, hogy a kerékpáros forgalom növekedésével arányosan nő a személyesérüléses balesetek és a kerékpáros sérülések aránya. A kerékpáros balesetek összes baleseten belüli aránya (%) és a kerékpáros forgalom összes forgalmon belüli aránya (%) között szoros kapcsolat van. A 8. ábra a vizsgált 10 városban a kerékpáros forgalom aránya (modal split) és a kerékpáros sérültek aránya közötti kapcsolatot mutatja. Érthető, hogy a kerékpárosbarát városok kerültek előre, mert a kerékpáros balesetek száma a forgalmi arányukkal együtt változik. A városok sorrendjét a kerékpáros forgalom aránya (2018-as modal-split [15]) adja meg az ábrán.



8. ábra. A kerékpárosok forgalmi arányának (modal split) és a kerékpáros sérültek (összes személyesérüléses balesetben sérülteken belüli) arányának kapcsolata.

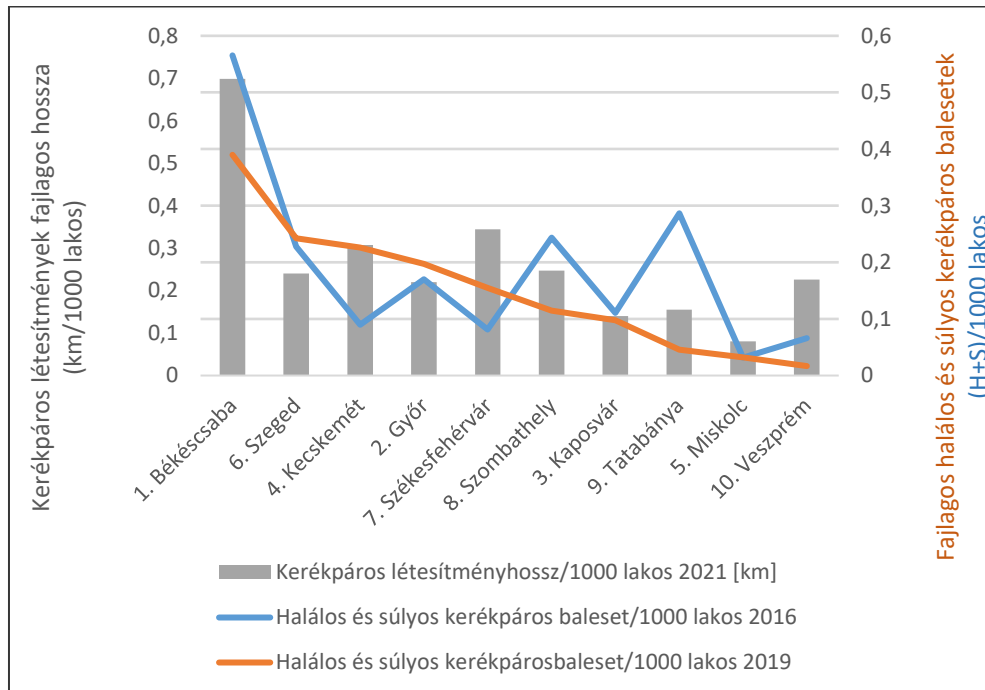
5 év (2016-2020) személyesérüléses baleseteinek átlagából képzett érték azt mutatja, hogy a **kerékpáros forgalom arányával együtt nő a baleseteik száma, aránya is.** Ebből sajnos az a következtetés vonható le, hogy még nem érte el a kerékpárosok forgalma azt a kritikus határértéket (arányszámot), amikor már megkezdődik a balesetszámuk csökkenése, tehát biztonságosabbá válik a kerékpározás.

A kerékpáros balesetek és forgalmi arányuk közötti vizsgálat igazolja, hogy mivel a közelmúltban nem volt hangsúly a biztonsági szemléletű fejlesztéseken, így nem látható javulás a kerékpározás biztonsági helyzetében.

4.4. A KERÉKPÁROS LÉTESÍTMÉNYEK HOSSZÁNAK VÁLTOZÁSA, A LÉTESÍTMÉNYEK TÍPUSA ÉS A KERÉKPÁROS BALESETI HELYZET VIZSGÁLATA BELTERÜLETEN

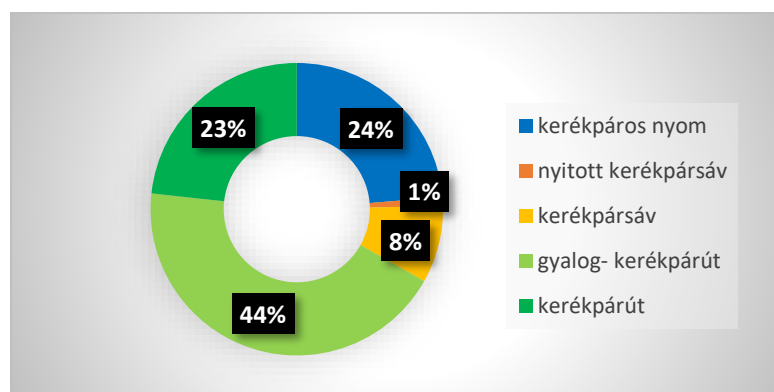
Megpróbáltuk a kerékpáros létesítmények, illetve a kerékpározható közutak, útvonalak változását is megvizsgálni a 10 megyei jogú városban. A pandémia miatt a 2016. és 2019. évi halálos és súlyos kimenetelű fajlagos kerékpáros baleseteket vizsgáltuk és hasonlítottuk a tényleges kerékpáros létesítmények (kerékpárút, gyalog- és kerékpárút, kerékpársáv, nyitott kerékpársáv) fajlagos hosszához. Az eredményeket a 9. ábra mutatja, a városok sorrendjét a halálos és súlyos kerékpáros balesetek 2019-es fajlagos értéke adja. Arra következtethetünk, hogy önmagában a kerékpáros létesítmények

lakosszámmra vetített hossza a minősítéshez nem használható. A kerékpáros városok többségében (Békéscsaba, Szeged, Kecskemét), ahol nagyon magas az épített létesítmények aránya, a létesítmények hosszához viszonyítva magasabb a fajlagos halálos és súlyos kerékpáros balesetek száma, míg azokban a városokban, ahol napjainkban még kevesebben kerékpároznak (Tatabánya, Miskolc, Veszprém) alacsonyabb a fajlagos balesetszám.



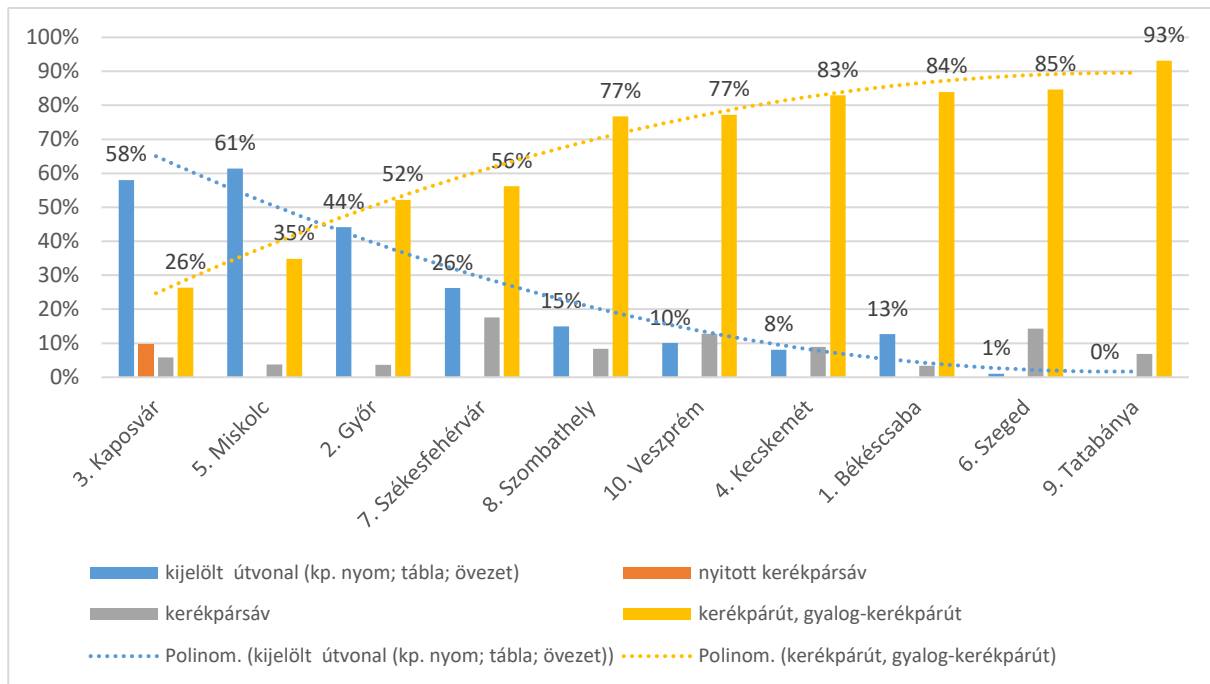
9. ábra. Halálos és súlyos kerékpáros balesetek lakos számra vetített fajlagos száma és a kerékpáros létesítmények fajlagos hosszának együttes vizsgálata (2016, 2019).

A 10 várost együttesen nézve a lakott területi kerékpáros létesítmények részaránya nem mutat jelentős eltérést az országos átlagtól (lásd 10. ábra). Városkarakterisztikai sajátosságok miatt az egymáshoz képesti **különbségeket az épített és kijelölt létesítmény-típusok arányában** látjuk.



10. ábra. A vizsgált 10 városban a kerékpáros létesítmények megoszlásának **átlaga 2021-ben** a KENYI nyilvántartása szerint (kerékpáros nyomokkal együtt).

Egyes városok a kijelölést is (Győr, Miskolc, Kaposvár), más városok (Kecskemét, Békéscsaba, Szeged, Tatabánya) az épített létesítményeket részesítik előnyben, ahogy a 11. ábra mutatja. Vannak olyan városok, amelyek az országos átlaghoz közelítve vegyesen alkalmazzák a kerékpáros létesítményeket és a kijelölt útvonalakat (Székesfehérvár, Miskolc).



11. ábra. A vizsgált 10 városban 2021-ben a KENYI nyilvántartása szerint a kerékpáros létesítmények és kijelölt útvonalak tényleges megoszlása városonként (kerékpáros nyomokkal együtt).

5. VÁROSI KERÉKPÁRFORGALMI HÁLÓZATOK TOVÁBBI ÖSSZEHASONLÍTÓ ÉRTÉKELÉSE A KORSZERŰ KERÉKPÁROSBARÁT IRÁNYELVEK SZERINT

A 2015-17 években készült 10 megyei jogú város kerékpárforgalmi hálózati tervének [4] **egységes módszerű összehasonlító vizsgálata** értékeli a kialakuló hálózat sűrűségét, kényelmi jellemzőit, lehetőséget ad a tovább fejlődés számára új sarokpontok, irányok meghatározására országos szinten.

5.1. VIZSGÁLATI MÓDSZERTAN

A vizsgált városokban véletlenszerűen felvettünk főbb célpontokat, lehetséges kerékpáros forgalomvonzó helyszíneket, ahonnan várható jelentősebb kiinduló kerékpáros forgalom. A kiválasztott helyszínek közötti kapcsolatok meglétét ellenőriztük néhány viszonylatban. A viszonylatok közül kiemelkedően fontos az intermodális kapcsolatok megléte, ezek közül is kiemelten a kapcsolódás a közösségi közlekedéshez (pl. vasútállomás, buszpályaudvar megközelíthetősége, azok területének akadálymentessége), illetve hasonló megfontolásból választottunk egy jellemző helyi turisztikai célterületet is. A kiválasztott helyszínek között minden városban meghatároztuk a kerékpáros eljutás kapcsolati mátrixát mindkét vizsgált időtávban (2021-ben és a KfHT-ban szereplő tervezett végleges kiépítés állapota szerint). A 2. táblázat Kaposvár kapcsolati mátrixát mutatja.

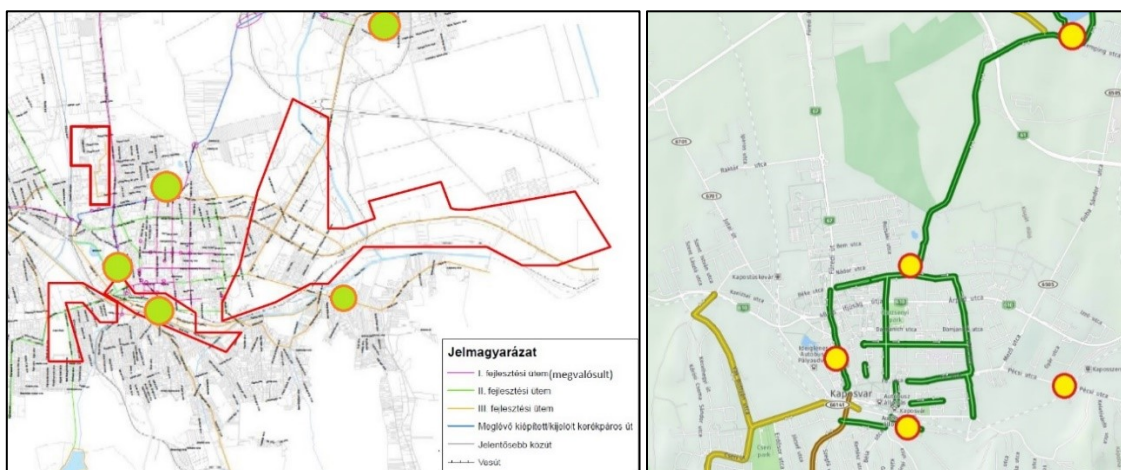
Azokban a városokban, ahol a kapcsolati mátrix alapján túlzottan „egységes” eredmények adódtak (jellemzően a „hagyományosan” síkvidéki kerékpáros városok nagyobb kiterjedésű hálózatait a módszer összefüggőnek értékelte), több pontot vettünk fel és ezek között 5 db véletlenszerű viszonylatban a vonali relációkat vizsgáltuk.

A helyszínek közötti kapcsolatot egyszerű gráf módszer szerint határoztuk meg. Van kapcsolat, amennyiben a két pont között található folytonosan kiépített kerékpáros létesítmény; vagy folytonosan kijelölt kerékpáros útvonal. Nincs kapcsolat a létesítmény, vagy útvonal jelentős megszakadása (közbenso akadály; hiányzó szakasz) esetén.

2. táblázat. Véletlenszerűen kiválasztott forgalomvonzó helyszínek közötti kapcsolati mátrix Kaposvár városában.

| Kaposvár | ÉRKEZÉS Arany J. u. (Kaposvár Aréna) | Vasútállomás (Rákóczi tér) | Cukorgyár | TESCO (Városliget) | Deseda - tó |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| INDULÁS Arany János u. (Kaposvár, Aréna) | - | van (2021) van (KfHT) | nincs (2021) van (KfHT) | van (2021) van (KfHT) | van (2021) van (KfHT) |
| Vasútállomás (Rákóczi tér) | van (2021) van (KfHT) | - | nincs (2021) van (KfHT) | van (2021) van (KfHT) | van (2021) van (KfHT) |
| Cukorgyár | nincs (2021) van (KfHT) | nincs (2021) van (KfHT) | - | nincs (2021) van (KfHT) | nincs (2021) van (KfHT) |
| TESCO (Városliget) | van (2021) van (KfHT) | van (2021) van (KfHT) | nincs (2021) van (KfHT) | - | van (2021) van (KfHT) |
| Deseda - tó | van (2021) van (KfHT) | van (2021) van (KfHT) | nincs (2021) van (KfHT) | van (2021) van (KfHT) | - |

A kapcsolati mátrixot grafikusan a 12. ábra szemlélteti.



12. ábra. Kapcsolati mátrixok grafikus szemléltetése a 2021. évi meglévő állapotban (Kaposvár; háttér: KfHT szerinti tervezett –bal- és KENYI térkép meglévő –jobb- állapot).

A vizsgálat során a KENYI 2021. évi nyilvántartási adataiból indultunk ki, azonban - annak nyilvántartási hiányosságai következtében - a vizsgált kerékpáros útvonalakon helyszíni pontosítást is végeztünk.

5.2. KÖZVETLEN ELÉRHETŐSÉG, GYAKRAN VÁLTOZÓ „LÉTESÍTMÉNYTÍPUSOK”

Egy-egy hálózati nyomvonal két pont közötti közvetlen elérhetőséget biztosító vonalvezetése a legegyszerűbben úgy határozható meg, hogy A és B pont közti hálózati topológia szerinti legrövidebb útvonal mért távolságához (vagy alternatívaként légvonalhoz) képest milyen hosszúságú kitérőre van szükség. Az ilyen kitérők nem csak az utazásra fordított időt növelik meg, hanem többlet erőfeszítést igényelnek a kerékpárostól, aki emiatt lehet, hogy inkább nem is száll kerékpárra.

Hálózati szempontból fontos, hogy az útvonalhossznál 10%-kal nagyobb kitérők alapvetően ne legyenek! Fontos szempont továbbá az alternatív útvonalak megléte, amelyet két kiválasztott pont között a 10 város vizsgálata során a kapcsolati mátrixban felvett helyszínek közötti 2-2 legjelentősebb útvonalon szintén megvizsgáltunk.

Alternatív útvonalak megléte fontos kisebb távolság esetén is, lehetőséget adnak a kerékpárosoknak választani a gyorsabb, de forgalmasabb, és a lassabb, de nyugodtabb, vagy éppen a rövidebb, meredek és a hosszabb, de kevésbé meredek útvonalak között (a mindenki számára biztonságosan használható; illetve a „gyors” – egyértelműen hivatásforgalmi útvonal között).

A városok összehasonlításakor a **kényelmi szempontok** (tervezési alapelvek) teljesülését városonként két időtávban (2021. meglévő állapot; KfHT tervezett állapot) 2 db vizsgált (A. és B. jelű) útvonalon számított fajlagos megállási (elsőbbségadási kötelezettségre vonatkozó) mutatót (M. a megállások száma db/km) a 3. táblázatban foglaltuk össze (M.A. –„A” útvonalon, M.B. „B” útvonalon, M. ÁTL: a két útvonal átlagértéke). A táblázatban feltüntettük a választott útvonalakon a kerékpáros hányféle kialakításon (Séma²) éri el az úticélját, milyen gyakran váltakozik a létesítmény, illetve a kerékpározható közút típusa. A sémánál a létesítmények közül a gyalog- és kerékpárutak összevontan szerepelnek, mert a vizsgálatunk során a rendelkezésre álló tervi és nyilvántartási adatok hiányosságai, illetve az egyes helyszíneken tapasztalt forgalomtechnikai bizonytalanságok (pl. lekopott burkolati jelek) miatt nem tudtunk különbséget tenni az egyesített és elválasztott gyalog- és kerékpárutak között. A kijelölt útvonalak is hasonlóan összevontan jelennek meg (kerékpáros nyom, övezet, útirányjelző táblával kijelölt).

Relevánsan összehasonlítható adatok a **megállások száma (M.)** (2021 évben meglévő és KfHT tervezett állapotában.) **A kilométerenként 2,19 – 2,39 megállás számszerűen az európai gyakorlat [16] szerint megfelelő értéknek minősíthető.** Az is látható, hogy Győrött, Kaposváron, Székesfehérváron és Veszprémben a legmagasabb a megállások száma, és ez a KfHT-ban tervezett fejlesztések esetén sem változik jelentősen. A KfHT tervei szerint a legalacsonyabb értékek Békéscsaba, Szeged és Szombathely értékei, de a „Sémák” száma magas ezekben a városokban is (4,0).

3. táblázat. A kényelmi funkciót minősítő mutatók összehasonlítása (megállások száma A és B útvonalon, jelenleg és a tervezett állapotban).

| | M. A. 2021 [db/km] | M. B. 2021 [db/km] | M. ÁTL 2021. [db/km] | M. A. KfHT [db/km] | M. B. KfHT [db/km] | M. ÁTL KfHT [db/km] | Séma A. [db] | Séma B. [db] | Séma átl. 2021. |
|----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| Békéscsaba | 1,12 | 1,49 | 1,31 | 1,40 | 1,49 | 1,45 | 3 | 5 | 4,0 |
| Győr | 3,14 | 2,82 | 2,98 | 2,82 | 2,60 | 2,71 | 4 | 4 | 4,0 |
| Kaposvár | 3,46 | 3,16 | 3,31 | 3,07 | 3,16 | 3,12 | 4 | 2 | 3,0 |
| Kecskemét | 1,71 | 1,84 | 1,78 | 1,71 | 1,62 | 1,67 | 4 | 5 | 4,5 |
| Miskolc | 2,93 | 1,80 | 2,38 | 2,93 | 1,80 | 2,38 | 6 | 7 | 6,5 |
| Szeged | 1,50 | 1,55 | 1,53 | 1,00 | 1,20 | 1,10 | 4 | 4 | 4,0 |
| Székesfehérvár | 2,46 | 3,43 | 2,95 | 2,32 | 3,12 | 2,72 | 4 | 4 | 4,0 |
| Szombathely | 3,33 | 1,48 | 2,41 | 2,70 | 1,10 | 1,90 | 4 | 4 | 4,0 |
| Tatabánya | 1,96 | 2,08 | 2,02 | 1,96 | 2,08 | 2,02 | 3 | 3 | 3,0 |
| Veszprém | 3,33 | 3,01 | 3,22 | 2,96 | 2,76 | 2,86 | 3 | 3 | 3,0 |
| Átlag: | | | 2,39 | | | 2,19 | | | 4,0 |

A következő 4. táblázatban foglaltuk össze a kerékpárforgalmi hálózat „sűrűségét” a vizsgált városokban a **közigazgatási területen** (belterület és külterület együtt). A vizsgált **10 megyei jogú városban a kerékpárforgalmi hálózat átlagos sűrűsége a 2021. évi állapotot tekintve 55,1 km / 100 ezer lakos; ami nem mutat jelentős eltérést a KENYI adatok alapján számított 50,6 km / 100 ezer lakos országos átlagértékhez** viszonyítva (mindkét adatban figyelembe vettük a lakott területen kívüli – közigazgatási határ - és a belterületi hálózati elemeket egyaránt).

A sémák magas száma nemcsak a megállások számát jelenti, hanem többletkockázatot hordoz a keresztezések típusa, a kerékpárosok átvezetésének módja is. A többféle, más-más elsőbbségi szabályozású átvezetés, a nem egységes kialakítás is hozzájárul ahhoz, hogy nem javul a kerékpárosok biztonsági helyzete.

² Séma: önállóan az egyes kerékpáros létesítményeket és a kijelölt kerékpáros útvonalakat neveztük (kerékpáros) sémának.

4. táblázat. A kerékpárforgalmi hálózat „sűrűsége” a vizsgált városokban (város területre ill. lakosságra vetítve a meglévő ill. a tervezett állapotban).

| | Kerékpár forgalmi hálózat hossza 2021. [km] | Kerékpár forgalmi hálózat hossza KfHT [km] | A KfHT-ben ígért fejlesztésekkel százalékos növekedés [%] | Területi „sűrűség” 2021. [km/km ²] | Területi „sűrűség” KfHT [km/km ²] | Lakos „sűrűség” 2021. [km/ 100e lakos] | Lakos „sűrűség” KfHT [km/ 100e lakos] |
|----------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|
| Békéscsaba | 74,3 | 113,5 | 52,8 | 0,38 | 0,59 | 126,0 | 192,4 |
| Győr | 79,0 | 148,0 | 87,3 | 0,45 | 0,85 | 59,8 | 112,1 |
| Kaposvár | 35,9 | 128,6 | 258,2 | 0,32 | 1,13 | 58,6 | 209,4 |
| Kecskemét | 37,3 | 79,8 | 113,9 | 0,11 | 0,28 | 33,7 | 81,2 |
| Miskolc | 94,4 | 113,3 | 20,0 | 0,40 | 0,48 | 61,3 | 73,6 |
| Szeged | 64,3 | 132,1 | 105,4 | 0,23 | 0,47 | 40,0 | 81,5 |
| Székesfehérvár | 50,7 | 144,4 | 184,8 | 0,30 | 0,85 | 52,3 | 148,9 |
| Szombathely | 46,7 | 63,1 | 35,1 | 0,48 | 0,64 | 59,6 | 80,9 |
| Tatabánya | 13,9 | 41,4 | 197,8 | 0,15 | 0,45 | 24,0 | 61,0 |
| Veszprém | 21,6 | 57,3 | 165,3 | 0,17 | 0,45 | 36,2 | 95,8 |
| Átlag: | | | | - | - | 55,1 | 113,7 |

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Biztonság (safety)

A közigazgatási határon belüli fajlagos baleseti mutatók vizsgálati eredményei azt mutatták, hogy nagyon egyedi és meghatározó jellemző a városok térségi szerkezete, lakosságának megoszlása, városkarakterisztikai, domborzati viszonyai, ezért teljeskörűen általánosítható összefüggéseket nem találtunk. További kutatásokat javasolunk, melynek során város-csoportokat kell képezni, és csak csoporton belül (hasonló jellemzőkkel rendelkező városokat) célszerű összehasonlítást végezni. Ilyen csoportosítás lehet a domborzati viszony, a lakosok területi eloszlása, a városkarakterisztika (széttérülő, kompakt jelleg) vagy a közúthálózat szerkezete (gyűrűs-sugaras, rácsos szerkezet), beleértve a kerékpáros létesítményeket is.

A 10 város **belterületén** (lakott területén) végzett részletes baleseti vizsgálatok (összes személyesérüléses és a kerékpáros balesetek együttes vizsgálata) eredményeinél a kerékpáros városok (Békéscsaba, Szombathely és Szeged), mutatnak általánosságban rosszabb kerékpáros baleseti arányt (Kecskemét kivétel) mert, ahol sokan kerékpároznak, ott a kerékpáros forgalom növekedésével arányosan nő a kerékpáros balesetek száma is (rövid távon). Hosszú távon létezik egy olyan fordulópont (kritikus tömeg), amelyen átlendülve már folyamatosan javul a kerékpárosok biztonsága (lásd 3. ábra). Alapvető biztonsági célkitűzés ennek a fordulópontnak mielőbbi elérése, amihez elengedhetetlenek tartjuk a meglévő és a jövőbeni kerékpáros hálózat biztonsági felülvizsgálatát.

Vannak városok, ahol kevésbé szoros a kapcsolat az összes személyesérüléses baleset és a kerékpáros balesetek között, ahol a kerékpáros sérülések „elmaradnak” az összes sérüléstől, tehát kissé kedvezőbb a kerékpárosok helyzete. Székesfehérvár, Győr, Szombathely és Kaposvár esetén **feltételezhetően a létesítmény-típusok aránya és hatása miatt kedvezőbb a kerékpárosok baleseti és sérülési mutatója**. Erre vonatkozóan javasolunk további részletes vizsgálatot végezni, kiemelten az irányhelyesség kérdését.

A kerékpáros balesetek és forgalmi arányuk (modal split) közötti vizsgálatból következik, hogy mivel a közelmúltban nem volt hangsúly a biztonsági szemléletű fejlesztéseken, így nem láttunk javulást a vizsgált időszakban a kerékpározás biztonsági helyzetében.

Ahhoz, hogy javuljon a helyzet szükséges a jelenlegi szabályozási környezet megváltoztatása és a fejlesztéseknél a közlekedésbiztonsági indikátorok előírása.

A vizsgálataink azt is mutatják, hogy önmagában a kerékpáros létesítmények lakosságra vetített hossza a minősítéshez nem elegendő, így a halálos és súlyos kerékpáros balesetek értékeléséhez sem. A kerékpáros városok többségében (Békéscsaba, Szeged, Kecskemét), ahol egyaránt magas a kerékpáros forgalom és az épített létesítmények aránya, a létesítmények hosszával arányosan magasabb a halálos és súlyos kerékpáros balesetek száma. Azokban a városokban, ahol jelenleg még kevesebben

kerékpároznak, (Tatabánya, Miskolc, Veszprém) alacsonyabb a balesetszám, alapvetően az alacsonyabb kerékpáros forgalom miatt.

A vizsgált 10 várost együttesen vizsgálva a lakott területi kerékpáros létesítmények részaránya nem mutat jelentős eltérést az országos átlagtól. Városkarakterisztikai sajátosságok miatt az egymáshoz képesti különbségeket az épített létesítmény-típusok és a kijelölt kerékpáros útvonalak arányában látjuk. Egyes városok a kijelölést (Győr, Miskolc, Kaposvár), más városok az épített létesítményeket (Kecskemét, Békéscsaba, Szeged, Tatabánya) részesítik előnyben. Vannak olyan városok, amelyek az országos átlaghoz közelítve vegyesen alkalmazzák a kettőt (Székesfehérvár).

A biztonság a hálózattervezés során is a leghangsúlyosabb. Alapkövetelmény, hogy a hálózatot alkotó útvonalak, kerékpáros létesítmények legyenek biztonságosak, a gépjármű- és gyalogos közlekedéssel harmonizálók, akadálytalanul használhatók a folyópálya szakaszokon és a csomópontokban egyaránt. Közúti Biztonsági Felülvizsgálatokkal (KBF) és javaslataik alapján a meglévő létesítmények átalakításával ez megoldható néhány éven belül az irányhelyesség biztosításával. Hibás a gépjárművezetők szemlélete, hogy ahol egyoldali, kétirányú gyalog- és kerékpárút vezet, ott nem találkozhat és kerülhet konfliktusba kerékpárossal.

Győr városa az első, ahol 2022-ben elkészült az új KfHT [17], figyelemmel az új „Kerékpározható közutak” útügyi-műszaki előírás 2019-es megjelenésére, szellemiségére. Jelenleg 2 % a kerékpársávok aránya Győrött, ez az arány továbbra is csak kis mértékben változik. A már megszokott séma (egyoldali, kétirányú kerékpárút, gyalog- és kerékpárút) alapján folytatódik az egyoldali, kétirányú létesítmények építése. Ugyanez figyelhető meg a többi vizsgált városban is. Célszerű lenne a kerékpársávok szélesebb körű alkalmazása, de számos esetben már nem elegendő a hagyományos kerékpársáv (pl. forgalomnagyság, sebességkülönbség miatt), a biztonsági szint további emelése szükséges (pl. szélesebb kerékpársáv, kopenhágai típusú megemelt sáv, biztonsági sáv szélesítése - dupla záróvonal, fizikai elemek-).

A csomóponti átvezetéseknel az elsőbbségi szabályozás vegyes, többnyire a közúttal párhuzamosan futó kerékpárút elsőbbsége biztosított, de van, amikor elveszíti az elsőbbségét. Javítaná a helyzetet, amennyiben a kerékpáros átvezetés (KRESZ 158/g. ábra) burkolati jeléhez egyértelmű elsőbbségi szabályozás tartozna (jelenleg ugyanaz a burkolati jel látható az elsőbbségi és a nem elsőbbségi helyzetben). Erre egyfajta megoldás lehet a kerékpáros átvezetés piros aláfestése elsőbbségi helyzetben. Ugyan ennek következménye is a vegyes kialakítás lesz, hiszen a legtöbb elsőbbségi helyzetű átvezetésnél jelenleg nincs piros aláfestés, csak az új kialakításoknál van, illetve lehet. Ekkor még tapadási problémák is vannak, illetve fontos lenne a folyamatos karbantartás biztosítása. 2016-ban készült egy tervezet a 20/1984. (XII. 21) KM rendelethez vonatkozóan, amiben a piros aláfestést a kerékpárosok elsőbbségi helyzetkor lehet alkalmazni, jogi következmény nélkül, a biztonság fokozása érdekében. (Jelenleg a tervezettől eltérően vegyes a piros aláfestés alkalmazása, akár figyelemfelhívás érdekében is alkalmazásra kerül.)

A közlekedésbiztonsági elemzések eredményei egyértelműen azt mutatják, hogy **mennyiségi fejlesztés minőségi fejlesztés nélkül nem hozhat kedvező eredményt.** El kell érni azt a határt, amikor a kerékpáros forgalom és a kerékpározható közutak hálózatának mennyiségi növekedése „átcsap” minőségi változásba, amikor biztonságosabbá válik a kerékpározás. Ez megköveteli a szabályozási környezet átalakítását, a minden közlekedő számára biztonságosabb irányhelyes kialakítások alkalmazását, **a kerékpározás szerves beillesztését a közúti forgalomba.** A balesetelemzéseink azt mutatják, hogy a kerékpáros forgalom növekedésével arányosan nő a balesetek száma (várhatóan, amíg a kritikus tömeget nem érjük el).

A kerékpárosbarát környezet további minőségi alapkövetelményeit [3] a 10 hazai városban elemezve a következő tanulságok vonhatók le. A minőségi jellemzők egyértelműen megmutatják, hogy milyen kerékpározható közúthálózat szükséges az 5 alapelvhez kapcsolódóan. Az alapelvek vizsgálata értelemszerűen a kerékpár hálózatok és a kerékpáros csomópontok tervezésénél is indokolt.

Összefüggő és folytonos hálózat (cohesion)

A különféle hálózatfejlesztési tervek vizsgálata és elemzése egyértelműen rámutatott a problémára, hogy egymástól függetlenül, lokálisan kezelik az egyes hálózati elemeket. A városi KfHT-k készítése ezt próbálta kezelni, de olyan **stratégiai dokumentummá vált, amelyet a megvalósítás során gyakran felülírnak**. Az összefüggőség másik komoly problémája **a csomóponti átvezetések hiányának** kérdése. Számos példa mutatja, hogy a jelzőlámpás csomópont előtt a kerékpárutat megszüntetik, majd a csomópontot követően újra indítják. Ebben az általános gyakorlatban gyalogossá válnak a kerékpárosok. Jelzőlámpás átvezetések „sajátos” megoldásaira a 13. ábra mutat „jellemző” hazai példákat a vizsgált városokból, a 14. ábra pedig kedvező megoldásokat a legrövidebb úton való vezetésre.



13. ábra. **Jelzőlámpás szabályozású** kijelölt gyalogos-átkelőhelyekkel közös átvezetések felcserélve, illetve az átvezetés hiánya.



14. ábra. Legrövidebb úton való vezetés jó megoldásai Miskolcon és Szegeden.

A kerékpárral közlekedők számára az összefüggőség létfontosságú, hiszen ez határozza meg azt, hogy hányféle célt tudnak elérni hányféle útvonalon, az útvonal kiválasztását számos egyéb szempont is lényegesen befolyásolja, melyeket szintén figyelembe kell venni. Az összefüggő hálózat kiépülésének akadályai a szabályozásban is megtalálhatók. A 20/1984. (XII. 21.) KM rendelet előírása alapján ugyanis, amennyiben a túloldalon nincs folytatólagos létesítmény, akkor nem lehet átvezetni a kerékpárosokat.

Ebben szerepet játszik a létesítménytípus választása is, hiszen vizsgált városaink esetén a városi kerékpárforgalmi hálózat főbb elemei az országos közutak bevezető szakaszai, vagy a városi **főbb forgalmi utak lakott területi szakaszain gyalog- és kerékpárutak formájában valósulnak meg a meglévő járda vagy a parkoló területeket igénybe véve**. A rendelkezésre álló járdaszélesség, zöldterület függvényében készül kétirányú önálló kerékpárút, elválasztott vagy közös gyalog- és kerékpárút, amelyet csak akkor vezetnek át a közúton, amikor oldalváltás van, miközben forgalomvonzó létesítmények a „túloldalon” is találhatók.



Miskolc, Szentpéteri kapu (26. sz. főút) – Huba utca, kerékpárút a járdán, értelmezhetetlen megoldás

Szeged, Kossuth L. sugárút (5. sz. főút) – Tavasz u. gyalog- és kerékpárút a járdán, gyalogosok a „járművek között”

15. ábra. Meglévő járdákon vezetett kedvezőtlen kialakítások Miskolcon és Szegeden.

A folytonossághoz kapcsolódó kérdés a tervezéseknél a keresztmetszeti elrendezésben a kerékpárosok és gyalogosok helyének gyakori felcserélése (15. ábra, jobb oldali fotója). A mérnöki tervezés egyik alapelve a keresztmetszetben, hogy a kerékpáros helyezkedik el a gépjárművek mellett, hiszen a kerékpár is jármű. Mind az egyoldali, kétirányú kialakítások, mind a csomóponti átvezetések hiánya okozhatta ezt. **Ez biztonsági szempontból is aggályos, de leginkább a további, célszerű fejlesztések akadálya, mert így a kerékpárosok csak a „gyalogosokon” keresztül tudnak bekapcsolódni a gépjárműforgalomba.**

Közvetlen elérhetőség, lehetséges legrövidebb vonalvezetés (directness)

A lehetséges legrövidebb útvonalon való közlekedés általában a járdák igénybevételével valósul meg bizonyos szakaszokon. Itt is probléma az egyoldali kétirányú létesítmények választása, mivel azok átvezetésére, a túloldali területek kiszolgálására igen ritkán kerül csak sor. Úti céltól függően ez mindenképp felesleges kerülőutakat eredményez, vagy teljesen vegyes használatot. Nagyon kedvezőtlen kialakításokat (lásd 15. ábrák) és nagyon jó példákat is láttunk, például egyirányú utcákban a kerékpárosok kétirányú közlekedésének biztosítása nyitott kerékpársávok alkalmazásával.

Kényelem (comfort)

A vizsgált városokban a kerékpárosok kényelme a gyalogosokkal közös útvonalakon a gyalogosok jelenléte miatt, illetve a régi létesítmények már elavult tervezési jellemzői (pl. megállások gyakorisága, csomópontokon történő átvezetések hiánya, geometriai jellemzők vonalvezetés, keresztmetszet /keskenység/ jellemzői, az útburkolatok típusa, állapota, felületi jellemzői) miatt csak kivételesen biztosított.

Lehetőség van a kerékpárosok komfort szintjét a gépjármű-kerékpár és a gyalogos-kerékpár sebességkülönbség megállapítása alapján értékelni, osztályokba sorolni és ezzel a létesítmény értékelését pontosabbá tenni. Hasonló értékelés végezhető a kerékpár létesítmények közöttől független kialakítására.

Vonzó (attractiveness)

Az eddigi maradék elven történő tervezésről át kell térni a kerékpárosok igényeit teljesítő városi hálózatok tervezésére, amely illeszkedjen a tájba, a természeti és épített környezetbe és szervesen kapcsolódjon a közúti hálózathoz.

Az 5 alapkövetelményt szem előtt tartva a vizsgálataink azt mutatják, hogy szükséges a meglévő hálózatok felülvizsgálata, értékelése. Ehhez javasoljuk alkalmazni akár a brit kerékpár infrastruktúra tervezési irányelvben [18] szereplő értékelést.

Az alábbiakban röviden bemutatásra kerülő brit irányelv mind a kerékpáros úthálózat, mind pedig a kerékpáros csomópontok kialakítását, az 5 alapkövetelménynek megfelelően, paraméterekkel értékeli és mindegyikhez három kategóriát határoz meg (lásd 5. táblázat):

Veszélyes: a kialakítás kevés úthasználónak megfelelő, egyeseknek használhatatlan és balesetveszélyes

Közepes: nem minden úthasználónak megfelelő, néhánynak kedvezőtlen és balesetveszélyes

Megfelelő: minden úthasználónak kedvező kialakítás.

Javasoljuk a városainkban ezen minősítés alapján a kerékpározási lehetőségek számszerű, objektív értékelésének elvégzését, hogy láthatóvá váljon a kerékpáros útvonalak és létesítmények biztonsági és szolgáltatási szintje.

5. táblázat. Brit irányelv minősítő paraméterei a kerékpáros úthálózat értékeléséhez.

| | Veszélyes | Közepes | Megfelelő |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Összefüggő hálózat | | | |
| Kapcsolatok | csak leszállással | minimális zavarással (1-2 megállás) | megállás nélkül |
| Folyamatosság | irányjelzés hiányos | szakaszos bizonytalanság | folyamatos jelzés |
| Hálózat elérhetősége, távolsága sűrűség | >1000m | 250-1000m | <250m |
| Legrövidebb, közvetlen kapcsolat | | | |
| Többlet távolság mértéke | >1,4 | 1,2-1,4 | <1,2 |
| Kényszerű megállások | > 4 db/km | 2-4 db/km | < 2 db/km |
| Kerékpárok idővesztesége csomópontban | kerékpárosok idővesztesége > gépjárművek idővesztesége | kerékpárosok idővesztesége = gépjárművek idővesztesége | kerékpárosok idővesztesége < gépjárművek idővesztesége |
| Időveszteség kerülő | leglassabb- | lassú- | tetszőleges haladás |
| Emelkedő | >4,5% 40m | >2,5% 100m hosszón | nincs 2%-os szakasz |
| Biztonság | | | |
| Sebesség közös sávban | 60 km/ó | 50km/ó | 30km/ó |
| Gépjárműforgalom | 5000-10000 ÁNF, 2-5% | 2000-5000 ÁNF, 2% tgg. | 0-2500 ÁNF |
| Ütközés kockázata | forgalmi sáv 3,2-3,9m széles, kerékpársáv szélessége < 1,8m | kerékpársáv szélessége min. 1,8m, járművek (85 %-nak) sebessége 50km/h | kerékpárosok önálló sávban, járművek sebessége 50km/h |
| Csomóponti konfliktusok | mellékirány kezeletlen, forgalmas, főirányban kerékpár és jármű forgalom nincs elválasztva | mellékirányú forgalom kezelése, főirányú nagy kerékpár forgalom szétválasztása gépjárművektől | mellékirányú forgalom lezárása, kerékpár és gépjármű forgalom szétválasztása |
| Egyszerű helyszínrajzi elrendezés | kopott burkolati jelek, nem egyértelmű helyszínrajzi elrendezés | burkolati jelek és helyszínrajzi elrendezés fejlesztésre szorul | egyértelmű, egyszerű burkolati jelek és helyszínrajzi elrendezés |
| Szegélyen kívüli zavarás (pl. parkolás, busz megálló, stb.) | jellemző a szegélyen kívüli zavarás, kerékpársáv szélesség <2,0 m | ritka szegélyen kívüli zavarás, kerékpársáv szélesség min. 2,0 m | keves szegélyen kívüli zavarás, kerékpársáv szélesség > 3,0 m |

| | | | |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Baleset súlyosság csökkentés | több mint az útvonal felén fizikai akadályok vannak az út mentén | a fizikai akadályok egy része védve van | védőtávolság az út mentén, fizikai akadály nélkül |
| Kényelem | | | |
| Burkolat hibák (kátyú, egye-netlenség, rég burkolati jel) | számos kisebb és jó néhány burkolat hiba | kisebb, ismétlődő burkolat hibák | sima, jó csúszó súrlódású burkolat |
| Burkolat típus | egyenetlen, csúszós, kockázatos útfelület | kézi fektetésű anyagok, beton burkolat sok hézaggal | gépi fektetésű burkolat, nagy-elemes, szűk hézagú blokk |
| Tényleges sávszélesség | az úthossz több mint 25%-án a megkívánt szélesség 25%-kal kevesebb | az úthossz legfeljebb 25%-án a megkívánt szélesség 25%-kal kevesebb | ajánlott tervezési szélesség teljes hosszban |
| Útírányjelzés | az útírányjelzés rendszere hiányos a fontos helyszíneken | a jelzésrendszer több helyen javításra szorul | jelzésrendszer jó minden csomóponton |
| Vonzerő | | | |
| Közvilágítás | az útvonal legnagyobb része nincs kivilágítva | egyedülálló szakaszok nincsenek vagy gyengén vannak megvilágítva | az útvonal szabványosan meg van világítva |
| Elszigeteltség | az útvonal minden aktivitástól távol van, elszigetelt | az útvonal nagyrészt áttekinthető egyéb aktivitástól nem messze | az útvonal teljes hosszban áttekinthető |
| Gyalogosokkal való kapcsolat | kerékpárút hatása negatív a gyalogos létesítményekre | kerékpárútnak nincs hatása a gyalogos létesítményekre | kerékpáros és gyalogos létesítmények kiegészítik egymást |
| Biztonságos kerékpártárolás | nincs, nem megfelelő, nem áttekinthető | van, de az igényeknek nem elég | van az igényeknek megfelelő |

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1]: WEB-BAL (javított adatbázis), 2021.
- [2]: Magyar Közút Nonprofit Zrt.: Országos kézi kerékpárforgalom-számlálás összefoglaló (2020.)
- [3]: Design Manual for Bicycle Traffic 2016 dec. CROW www.crow.nl
- [4]: Kalmár T., dr. Lányi P., Hóz E. 2021: Kerékpárút hálózatok vizsgálata a fejlesztések és úthasználók tapasztalatai alapján; MMK FAP azonosító: 2021/110-KZT.
- [5]: Állami Számvevőszék, 2013: 13.006 Jelentés a kerékpárút hálózat fejlesztésére fordított pénzeszközök felhasználásának ellenőrzéséről (párhuzamos ellenőrzés a Szlovák Számvevőszékkel)
- [6]: KKK adatszolgáltatása.
- [7]: Az NFÜ adatszolgáltatása.
- [8]: Mihálffy, K., Bereczky, Á., Berencsi, M., Horváth, L., Tókes, B. 2016: Kiemelt hazai kerékpáros fejlesztések, Útügyi Lapok 8. szám, 4. évfolyam. <https://utugyilapok.hu/cikkek/kiemelt-%E2%80%8Bhazai-%E2%80%8Bkerekparos-fejlesztések/>
- [9]: Felhívás fenntartható közlekedésfejlesztésre, A felhívás címe: Fenntartható városi közlekedésfejlesztés, A felhívás kódszáma: TOP-6.4.1-16
- [10]: 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet a közúti közlekedés szabályairól (továbbiakban KRESZ)
- [11]: ECF 2011

[12]: How safe is walking and cycling in Europe? PIN Flash Report 38. January 2020

[13]: KSH

[14]: Valetta Nyilatkozat (EU tagállamok külügyminisztereinek nyilatkozata), 2017. március 29-én; Európai Tanács a „tanácsi következtetések” mellékletében hagyta jóvá (száma: 9994/17, TRANS 252); 2017. június 08.

[15]: Modern városok tanulmány; 2018

[16]: Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von Anlagen des leichten Zweirad- und des Fussgängerverkehrs, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Zürich, 2013

[17]: Dr. Makó Emese, Dr. Szakonyi Petra, Dr. Miletics Dániel, Prof. Dr. Koren Csaba, Szántósi Bence, Bogár Zsolt: Győr Megyei Jogú Város kerékpárforgalmi hálózati terve; 2022.december

[18]: Department for Transport 2020. Cycle Infrastructure Design.



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.

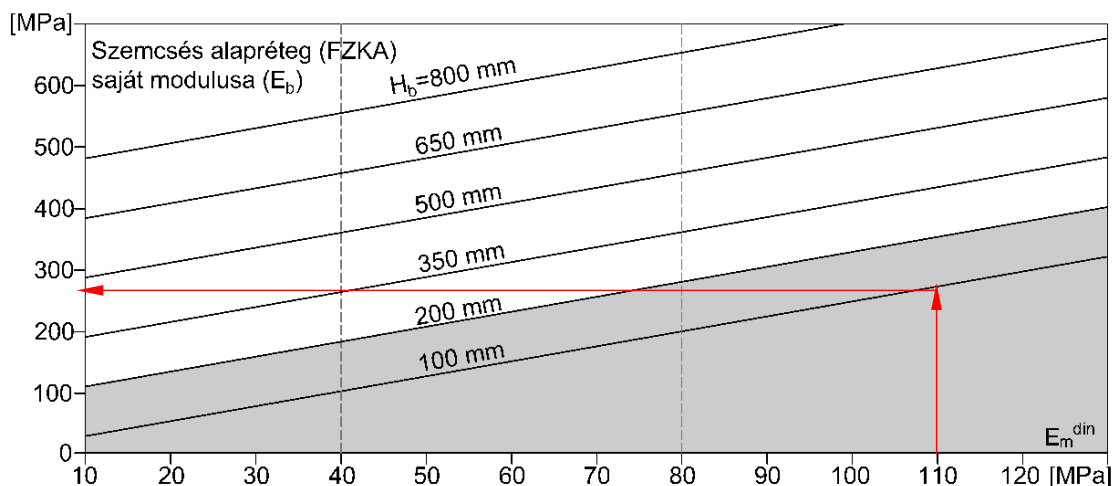
A talaj teherbíró képessége ez esetben dinamikus modulus értékeken alapul, így a 80 MN/m^2 statikus értéknek dinamikus megfeleltetése szükséges (1. táblázat), így 110 MN/m^2 értékre kell felvenni.

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:

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

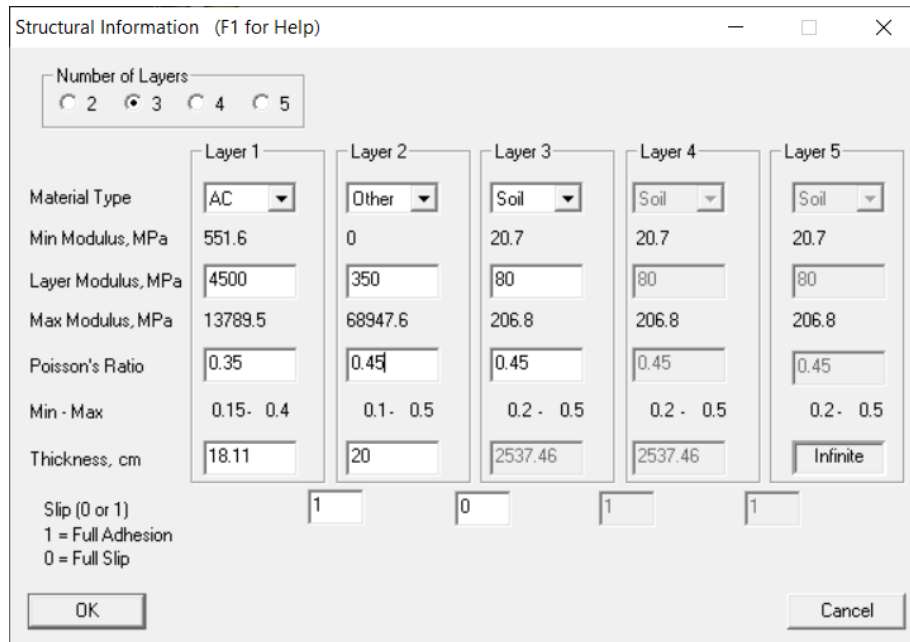
- Határigénybevétel meghatározása

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.

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

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

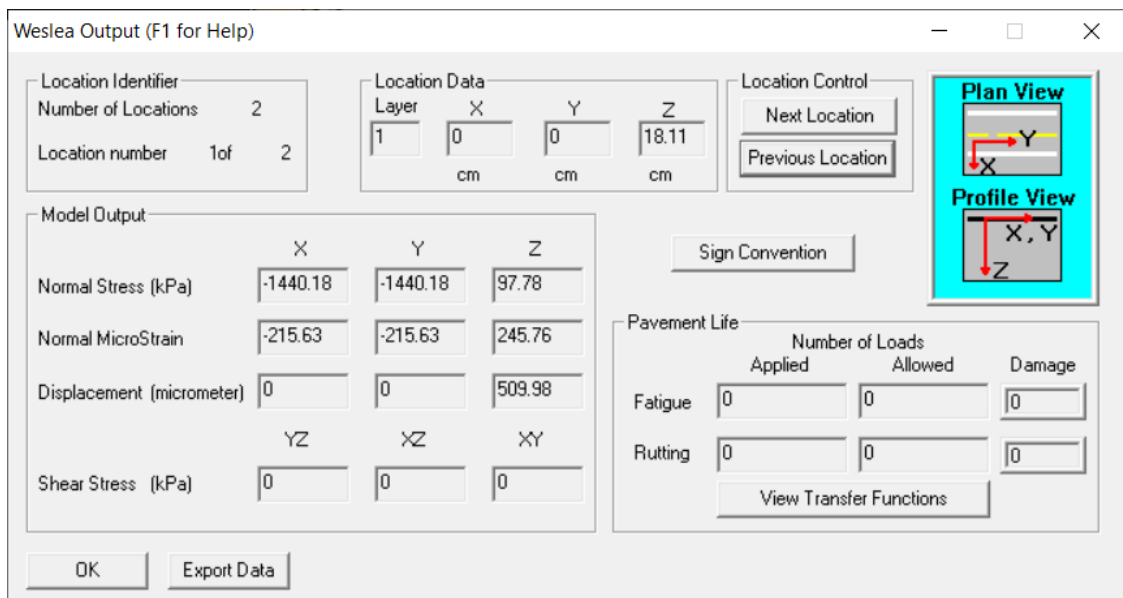
Alkalmazva a számolt 20 cm-es FZKA burkolatalapot, és a hozzá tartozó 350 MN/m²-es teherbírást (1. ábra), a számolt igénybevételek a következőképpen alakultak a WESLEA-val számolva az összevont aszfalt réteggel (3. és 4. ábra):



2. ábra. Számításhoz alkalmazott szerkezeti felépítés.

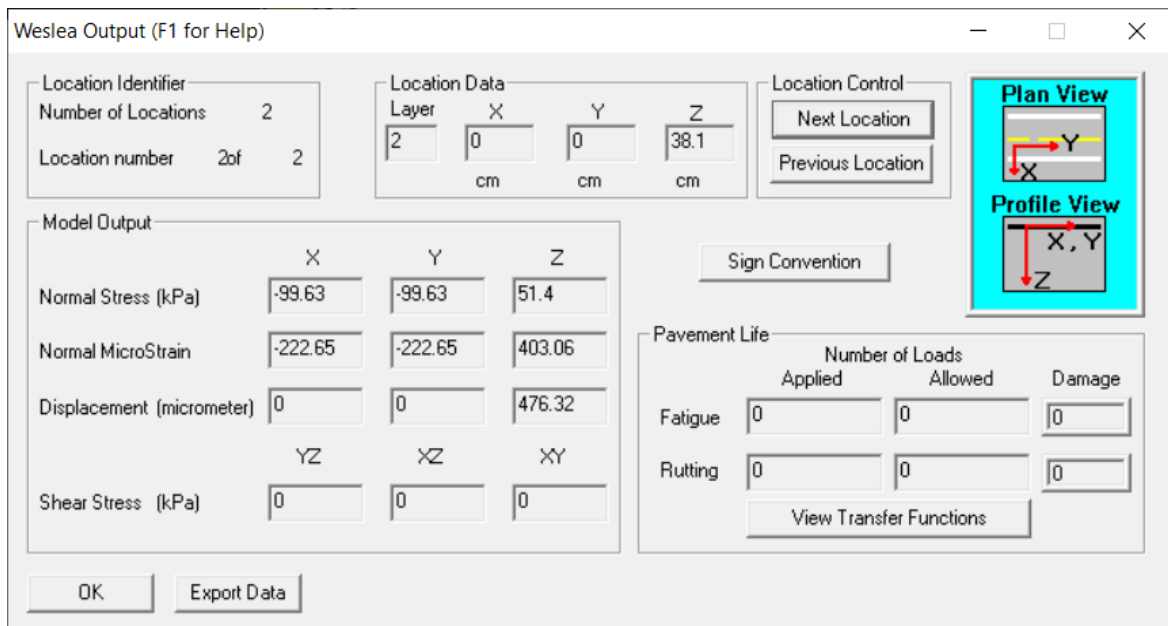
$$T \varepsilon_{\text{mértékadó},1}^{\text{aszfalt}} = 245.8 \text{ mikrostrain} \tag{8}$$

$$\varepsilon_{\text{mértékadó},1}^{\text{földmü}} = 403.1 \text{ mikrostrain} \tag{9}$$



3. ábra. Aszfalt alatti nyúlás.

Ahogy látható, az aszfalt alatti nyúlás értéke, valamint a földmü feletti összenyomódás is nagyobb a határfeszültségnél, tehát a rétegendet át kell tervezni. Annak érdekében, hogy a meghatározott határigénybevételek alá essenek a számított fajlagos alakváltozások, az FZKA burkolatalapot lecseréltem 15 cm vastag hidraulikus kötőanyagú alaprétre, melyhez 2000 MPa rugalmassági



4. ábra. Altalaj feletti összenyomódás.

modulus érték, valamint 0,25 értékű Poisson-tényezőt vettem figyelembe. A számítás újbóli elvégzését követően a pályaszerkezet megfelelő. A következő eredményeket kaptam:

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

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

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:

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

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

- 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.

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

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

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 talajcsereből következő általaj modulus értéke 80 MN/m^2 . Ez azt jelenti, hogy ha a tervezési területen a tervező számára az általaj biztosít 80 MN/m^2 -es modulus értéket, akkor az aszfalt réteg típusokra meghatározott minimális vastagság alkalmazása is elegendő a határfeszültségek megfelelésének. Ha ugyanezt a pályaszerkezetet 40 MN/m^2 modulusértékkel veszem figyelembe, amit az említett műszaki előírás is megkövetel, a fajlagos alakváltozás már meghaladja a megengedett értéket:

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

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

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/m^2 általajhoz 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 $2,5 \text{ cm}$ vastagságban, kötőrétegben pedig az AC 16 kötő $5,0 \text{ cm}$ vastagságban. A terhelési osztálynak és az igénybevételi kategóriának megfelelően 21 cm aszfalt vastagságot alkalmaztam. A fennmaradt rész AC 32 típusú alapréteg $13,5 \text{ cm}$ vastagságban, mely egyenértékű az aszfalt alaprétegre vonatkozó paraméterekkel.

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

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

Ez a pályaszerkezet megfelel a határértékeknek, ha ráadásul a 40 MN/m^2 -es általaj modulust alkalmazom, a pályaszerkezet szintén megfelel:

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

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

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 $2,5 \text{ cm}$, AC 16 kötő $5,0 \text{ cm}$, valamint a fennmaradó $10,5 \text{ cm}$ AC 32 aszfalt alaprétegből épül fel.

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

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

Ahogy a példa elején is láhattuk, az FZKA alapréteg az alacsony saját modulusából adódóan közel nem teljesíti az elvárt teherbírást 80 MN/m^2 -es altalaj E_2 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 láhattuk, hogy a típus-pályaszerkezetek rétegvastagságai a műszaki előírás által ajánlott és betartandó altalaj 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 altalaj, 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.



Tárcsás teherbírás-mérés megújítása, kiegészítése, 1. rész: Tárcsás teherbírás mérés módszereinek áttekintése és kérdései

Schubert István, Subert András

Andreas Kft.

E-mail: mail@andreas.hu

DOI: [10.36246/UL.2023.1.03](https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.03)

KIVONAT

Vizsgálódások célja a tárcsás mérési módszer szabályozási kérdéseinek, mérési problémáinak mélyebb megismerése, elemzése, problémák felderítése volt a lehetséges módosítás kidolgozásához. A legfontosabb azonban annak vizsgálata, hogy hogyan lehetne a statikus tárcsás mérés módosításával ismételhető teherbírasi eredményeket elérni, valamint egy új módszerrel statikus tömörségi fokot meghatározni. Ehhez át kellett tekinteni az eddigi szabályozásokat, alkalmazásokat, elképzeléseket, a tömöríthetőségi vizsgálatokat, alkalmazott jellemzőket. A tanulmány terjedelme miatt ezt több cikkben részletezzük.

Kulcsszavak: tárcsás teherbírás mérés, teherbírás, E_2 - E_1 -C, ismételhetőség és mérési megbízhatóság

ABSTRACT

The purpose of the study is to gain a deeper understanding of the control issues and measurement problems of the plate load measuring method, to analyze and detect problems in order to develop possible modification. However, the most important thing is to investigate how it is possible to achieve repeatable load capacity results by modifying the static plate measurement, as well as to determine static degree of compactness with a new method. For this, it was necessary to review the previous regulations, applications, concepts, compressibility tests, and applied characteristics. Due to the scope of the study, this is detailed in several articles.

Keywords: Plate Load Test, Bearing Capacity, determine E_{v2} - E_{v1} - k, repeatability and reliability of the measure

Schubert István

Okl. építőmérnök, okl. közlekedésgazdasági mérnök Andreas Kft. ügyvezető igazgató, Budapest.

Subert András

Andreas Kft., kereskedelemi és marketing igazgató, Budapest.

1. BEVEZETÉS

A világ egyik legrégebbi és legismertebb terepi mérési módszere a „Load-Plate Test” statikus tárcsás teherbírás vizsgálat, avagy tárcsás teherbírás mérés. Az USA-ban a terhelőtárcsa vastagsága 1.0 inch, azaz 25,4mm és átmérőjük 152-762mm közötti (6-30 in. 6-os lépcsővel). Európában jellemzően a 12 inch-es (≈ 30 cm) tárcsaméret alkalmazása terjedt el. A nemzetközi és hazai szabványok

tanulmányozásakor felismertük, hogy a terhelés sebessége, kivárások szabályai döntőek. A szabványokban párhuzamos vizsgálatra nincs előírás, a mérésre nincs ismételtetés. A mérési eredmények jelentősen eltérőek lehetnek.

Magyarországon a statikus tárcsás vizsgálatot az MSZ 2509-3:1989 [2] szabályozza. A terhelés két ciklusos, talajoknál $0,3 \text{ N/mm}^2$, míg pályaszerkezeti rétegnél $0,5 \text{ N/mm}^2$ (MPa) kell legyen a felterhelési ciklus vége.

A tárcsás vizsgálatot végző személyzettől függően a mérések közötti eltérés igen nagy lehet a teherbírási modulusban. A felterhelések közötti kivárás ($\leq 0,02 \text{ mm/perc}$ alakváltozás befejeződött-e vagy sem) megítélése szubjektív. A mérőeszköz jellemzően tárcsából és terhelő hidraulikából, valamint a terhelés ellensúlyához csatlakozó kitámasztó-szerkezetből áll. A tárcsa süllyedését $0,01 \text{ mm}$ pontos alakváltozás mérővel biztosítják. A tárcsa alakváltozását elhanyagoljuk és merevnek feltételezzük.

Probléma a mérés végrehajtásakor, hogy azt földközépen, kellemetlen testhelyzetben, a terhelő ellensúly (gép) alatt, kell elvégezni. Ez fárasztó, nyomasztó és veszélyes is. A vizsgálat ugyanakkor igen elterjedt, ismert és elfogadott, azaz *mértékadónak* tekintett sok helyen a világban, így hazánkban is. A teherbírás a kivitelezett szerkezet minősítő méréseinek egyike, magas és mélyépítésben egyaránt. A másik fontos minősítési paraméter a tömörségi fok.

2. TEHERBÍRÁSI SZABVÁNYOK ÁTTEKINTÉSE ÉS KIVONATOS ISMERTETÉSÜK

MSZ 2509-3:1989 Útpályaszerkezetek teherbíró képességének vizsgálata

Az első felterhelésnél a mérést $\Delta p=0,05 \text{ N/mm}^2$ lépcsőkkel, a másodikat gyorsabban, $\Delta p=0,1 \text{ N/mm}^2$ lépcsőkkel terheljük 6 illetve 3 lépcsőben. A felterhelés lépcsőiben rögzíteni kell a mért alakváltozást $0,01 \text{ mm}$ pontossággal. A tárcsáról az alakváltozást 3 pontról, vagy a tárcsa középpontjáról kell átvenni. A „kivárás” a mérőóra leolvasása előtt szabályozott. A szabvány 4.2. pontja szerint az egyes terhelési lépcsők akkor tekinthetők befejezettnek, ha a mérőórák által jelzett elmozdulás $0,02 \text{ mm/perc}$ -nél már nem nagyobb sebességű ($\leq 0,02 \text{ mm/perc}$). Ez a mérést természetesen nagymértékben lelassítja – ha betartják. A mérőórán leolvasva egy osztás/30sec ez minimális kivárás pontonként. Ez a felállás utáni 6 mérési pont, majd visszaterhelés két lépcsőben, majd felterhelés újabb felterhelés 3 lépcsővel, mindösszesen $6+2+3=11$ pontot, azaz mindösszesen minimum $5,5$ perc a kivárási idő - a terhelésekhez szükséges idő nélkül - összesen.

A keletkező behajlási teknő miatt a mérőóra tartó keret rögzítési pontja a terepen nem lehet közelebb $1,2 \text{ m}$ -nél a terhelő tárcsához. A terhelő gépjármű kereke vagy gép letámasztása (pl. hengerpalást) sem lehet közelebb a tárcsa szélétől, mint $0,7$ méter, ami a mért felületet terhelné.

A visszaterhelés után a *maradó alakváltozás* leolvasását, számítását csak az F3. függelék - mérési jkv minta tartalmazza és csak az első felterhelés után. Teherbírási modulus a terhelés $p=0$ és a végterhelés határa között ($p=0,3 \text{ MPa}$ - talajok, vagy $0,5 \text{ MPa}$ - alsó pályaszerkezeti réteg) kell meghatározni, lineáris közelítéssel ábrázolva, a végleolvasást alkalmazva. A számítás az órákról leolvasott alakváltozási érték alapján történik.

A készülék / mérőeszköz követelményei: terhelő gépkocsi, trailer, munkagép min $2,4 \text{ m}$ legyen a szabad keréktávolsággal a 300 mm -es tárcsa szélétől mérve. Három mérőórát kell alkalmazni (120° -ban elhelyezve), vagy egyet a tárcsa közepét mérve. A hidraulikus terhelő berendezés kalibrált mérőórával kell mérjen. A 300 mm átmérőjű terhelőtárcsa minimum **20mm vastag** kell legyen. A mérőóra leolvasás $0,01 \text{ mm}$ pontosságú és min 10 mm mérési határú. Az órák feltámasztása a mérőállvány lába $2,4 \text{ m}$ -re lehet a tárcsa szélétől, vagy Benkelman-tartót kell alkalmazni, a tárcsa közepére helyezve a tapintócsúcsot.

Mérési eljárás a következő: homokterítés, majd tárcsa elhelyezése, terhelőberendezés és mérőórák rögzítése szükséges. Előterhelés $0,02 \text{ N/mm}^2$, majd, ha $s \leq 0,02 \text{ mm/min}$, akkor kell megszüntetni az előterhelést, nullázni az órákat és elkezdni a mérést. A terhelési lépcsők az első felterheléskor $0,05 \text{ MPa}$ lépcsőben 6 db $0,3 \text{ MPa}$ -ig. A leolvasás előtti kivárás szükséges addig, amíg az alakváltozás $0,02 \text{ mm/min}$ nem lesz lépcsőnként. $p=0,5 \text{ MPa}$ a terhelési határ, ha a réteg nem talaj, hanem

pályaszerkezeti réteg. A visszaterhelés két lépcsőben történik, majd újabb felterhelést kell alkalmazni dupla, 0,1MPa terhelési lépcsőben, de ennek visszaterhelése már nem szabályozott.

Az ágyazási együttható meghatározásához az 1,25mm-hez tartozó terhelést is le kell olvasni mérés során majd ebből kell számolni a "C" ágyazási együtthatót (N/mm^3). A szabvány a teherbírási modulus számítására a Boussinesq-féle képletet alkalmazza azzal, hogy a Poisson (haránt-kontrakciós tényező) szemcsés anyagnál 0,3, míg agyagnál 0,5 kell legyen. A Boussinesq-féle tárcsaszorzó értékét $\pi/2$ -re kell választani [1]. A szabvány az F3 mellékletben megadott „egyszerűsített képletben” viszont $c=2$ Boussinesq tárcsaszorzó és $\mu=0,5$ Poisson tényező mellett a $c \cdot (1-\mu^2)=1,5$ közelítő érték felvételét megengedhetőnek, alkalmazhatónak tünteti fel. A mérés eredménye az E_1 és E_2 valamint a "C" ágyazási együttható (N/mm^3) értéke.

Ismételhetőségi és precizitási előírás nincs. A mérés pontosságára a szabvány 4.4.4. pontjában egy eredményre az egy tizedes pontosságot adja meg és sem a párhuzamos, sem az ismétlési vizsgálatokra, azok megengedett eltérésére, az ismételhetőségre nem ad iránymutatást.

A szabvány a terhelési sebességet nem szabályozza. A mérési hőmérséklet mérésére és a mért réteg víztartalmának mérésére nincs előírás. Azt kell mondjuk, hogy a megismert mérési szabványok között elhelyezve kiemelkedően praktikus, a megengedett határok között egyszerűnek nevezhető, jól kidolgozott mérési szabványt alkottak elődjaink (dr. Gáspár László és dr. Boromisza Tibor) 1989-ben.

DIN 18134 „Baugrund – Versuche und Versuchsgeräte - Plattendruckversuch

(DIN 18134 „Soil – Testing procedures and testing equipment – Plate load test, English translation of DIN 18134:2012-04 translation by DIN-Sprachendienst)

A tárcsaméret 300/ 600/ 762 mm lehet. Az ellensúly min 10 kN-nal nagyobb legyen, mint a méréshez szükséges maximális terhelés igénye. A tárcsa vastagsága $d=300$ mm-nél minimum **25mm** legyen, és középen a kiképzett tapintó üregben legyen a tárcsa közepének süllyedése mérhető. Terhelő berendezés $0,01$ MN/m² felbontású a $d=300$ mm tárcsánál. Mérési hőmérséklet $0-40^\circ\text{C}$ között megengedett. Víztartalom mérésre előírás nincs, de a felület takarása (árnyékolása) ajánlott.

Alakváltozásmérő követelményei: kialakítási követelmény van a mérésre $0,3$ m mélyen is, az alakváltozás tartomány 10 mm, mérési pontosság $\leq 0,04$ mm, felbontás min $0,01$ mm. Távolság a tárcsaközép és a terhelő gépjármű /gép kereke között $>0,75$ m legyen.

Előterhelés: 30 sec $0,01$ MN/m² terheléssel. Mérés: első ciklus (Strain modulusból számított E_{vi}), első felterhelés min 6 , közel egyenletes lépcsőben, visszaterhelés három lépcsőben ($50-25-2\%$). Pihentetés 120 sec (útszerkezetenél 30 sec) kell legyen. A második ciklus terhelése első lépcsőig (preultimate-stage-ig) történik.

Az alakváltozást kiszámolják a mérőkar áttétele alapján, majd számolják az E_v moduluszt az első és a második terhelési ciklusra. A számítás másodfokú regressziós analízisből megállapított egyenlet alapján történik, melyet a $0,3 \cdot \sigma$ és $0,7 \cdot \sigma$ közötti alakváltozás – terhelés adatok alapján számítják. (A pontosnak vélt számítás mellett a Poisson tényezőt és Boussinesq-tárcsaszorzót indifferensnek tekinti, szorzatukat $1,5$ -nek kell feltételezni).

Új mérés kell ez után az ágyazási tényezőhöz, a „Subgrade-reaction” K_s értékre, $s=1,25$ mm-ig, melyet már a $D=762$ mm-es tárcsával kell mérni. Ehhez meg kell határozni felterhelési görbe inflexiós pontját harmadfokú polinommal, majd meghatározni az iránytangens alapján adódó metszékét (s_{p0} értéket). majd ehhez adja az $s^*=1,25$ mm értéket és határozza meg az e ponthoz tartozó p' terhelés σ_0 értékét. Ebből a $k_s = \sigma_0 / s^*$ (MN/m³).

A visszaterhelési görbe ez esetben ugyan indifferens, de a mérését előírják.

Megjegyzés: a σ_0 értéke a mintapéldában $0,186$ MPa, ugyanaz, mint az MSZ2509-3-ban. Függelék „A” szabályozza az erőmérő rendszer és az alakváltozás mérő rendszer kalibrációs követelményeit, melyet $10-35^\circ\text{C}$ között kell elvégezni, nyolc terhelési lépcsőben $0,5$ MN/m²-ig. Megengedett terhelési hiba 2% lehet. Kalibráció évente szükséges az „A” függelék szerint.

Megjegyzés: visszaterhelési zéró-kontrol a kalibrációból hiányzik.

ASTM D1194-94 Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings

Szabványos vizsgálati módszer talajok és szórt alapok teherbírására statikus terheléssel.

A készülékre vonatkozó előírás: a hidraulika legyen alkalmas 50 tonna (440kN) terhelő erő közvetítésére, $\pm 2\%$ terhelési tűréssel. Terhelő tárcsa vastagsága 25,4mm (1 inch), átmérője 12-30 in között lehet (6 in. lépcsőkkel). A süllyedés mérési pontossága legalább 0,25 mm (0,1 in) kell legyen. A mérési módot és helyét a „*supervising engineer*” határozza meg és vezeti le (NOTE 1).

A szabványos mérési eljárás szabályozza a mérési terület kiválasztását, a teszt helyét, a megtisztítandó mérési hely mélységét, a terület szükséges méretét (zavartalan talajfelület szükséges). Az ellensúlyok támasztógerendára helyezett platformra kerülnek 1tona/ft² elhelyezésben. A terhelési ciklusok között legalább 15 perc pihentetési időt kell hagyni. A mérés végrehajtásához – ha megfelelő terhelhetőség biztosítható – a tárcsa átmérő 10%-ának megfelelő alakváltozás eléréséig kell folytatni.

Egy másik módszerrel (NOTE 5) minden terhelési lépcső után a leolvasásokat 30s-1-2-4-8-15min időpontokban kell elvégezni. A 6. pontban „Precision and Bias” cím alatt óvatosságra int a szabvány a mérési megbízhatóság és ismételhetőség tekintetében (lásd mint ASTM D1195) és kéri a módszert felhasználókat arra, hogy tájékoztassák az erre vonatkozó tapasztalatokról a „subcommittee”-t.

A szabványban megadottak alapján általunk becsült egy méréshez szükséges idő körülbelül három órát tesz ki.

Bias and Precision –a következő megjegyzés áll a földmű-, az alapozás-, illetve a szemcsés útalapok teherbírás minősítésére használatos mérésre:

6.1. The precision and bias of this test method for determining the bearing capacity of soil in place by means of a field loading test has not been determined. No available methods provide absolute values for the bearing capacity of soil in place against which this method can be compared. The variability of the soil and the resulting disturbance of the soil under the loading plate do not allow for the repetitive duplication of test results required to obtain a meaningful statistical evaluation. The subcommittee is seeking pertinent data from users of this method which may be used to develop meaningful statements of precision and bias.

„6.1. Ennek a vizsgálati módszernek a pontosságát és megbízhatóságát a talaj teherbíró képességének terepi terhelési vizsgálattal történő meghatározására vonatkozóan nem határozták meg. Egyetlen rendelkezésre álló módszer sem biztosít olyan abszolút értékeket a talaj teherbíró képességére vonatkozóan, amelyekkel ez a módszer összehasonlítható lenne. A talaj változékonysága és az ebből eredő zavarok a terhelőtárcsa alatt mért eredményekben nem teszi lehetővé az ismételt vizsgálati eredmény megkettőzését, ami az érdemi statisztikai értékeléshez szükséges. Az albizottság e módszer felhasználóitól olyan releváns adatokat keres, amely felhasználható a pontosságra és megbízhatóságára vonatkozó jelentős megállapítások kidolgozására.”

ASTM D1195/D1195M-21 Standard Test Method for Repetitive Static Plate Test of Soils and Flexible pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements

Szabványos vizsgálati módszer a talajok és hajlékony pályaszerkezeti rétegek ismétlődő statikus tárcsás vizsgálatának értékeléséhez és repülőtérsi és autópálya-burkolatok tervezéséhez.

3.1.4. “rebound deflection” visszaalakulási alakváltozás, amikor a terhelés megszűnik és 3.1.5. “residual deflection” maradó alakváltozás, különbség a felterhelés és terhelés megszüntetés okozta maradó alakváltozásban egy vagy több terhelési lépcsőnél. Feszültség - strain modulus tekintetében a terhelés $0,3 \cdot \sigma$ és $0,7 \cdot \sigma$ közötti szakaszát kell értékelni.

Készülék / mérőeszköz követelmények: terhelő gépkocsi, trailer, munkagép min 2,4m szabad keréktávolsággal, hidraulikus terhelő berendezés, kalibrált mérőórával. Terhelőtárcsa 1 in. 25,4mm vastag, Átmérő 152-762mm közötti (6-30 in. 6 in. lépcsővel). A mérőórak előírása 0,02mm pontosság, a 600-762mm-es tárcsáknál 0,01mm. Mérőgerenda az órák tartására 5,5m és 2,4m távolságra legyen a legnagyobb tárcsa szélétől.

A tárcsákat sorrendben egymásra kell helyezni (pyramid arrangement) a méréskor a kellő teherelosztás miatt, ahol az alsó tárcsa az alkalmazott tárcsaátmérő. A 300mm átmérőjű tárcsa

vastagsága 25,4 mm, a 600 vagy 762 tárcsa vastagsága 20mm (de akkor az merevítő bordával ellátott) kell legyen. A mérési hőmérséklet 0-40°C, a mérőóra karja a -0,3m mérest is lehetővé kell tegye. Mérőóra két óra, vagy három (120°-ban elhelyezve).

Mérési eljárás: homokterítés, majd tárcsa elhelyezés, terhelőberendezés és mérőórák rögzítése. Az alkalmazott 0,05MPa előterhelés hatására az alakváltozás érje el legalább 1,0 mm-t, majd, tehermentesítés szükséges, amikor az órákat nullázni kell. Terhelés sebességét úgy kell megválasztani, hogy az alakváltozás kb. 1,0mm és utána a kivárás 0,03mm/perc (max 3 percig) állandó legyen. A visszaterhelés után a kivárási idő 3 perc. Hat felterhelési lépcsőt kell alkalmazni ezzel az eljárással. Ez után emelni kell a terhelést 5,1mm-ig ugyanezzel az eljárással, majd újra 10,2mm-ig ugyanezzel az eljárással, azaz *három felterhelést kell alkalmazni*. A teljes visszaterhelés után a visszaalakulásra (relaxáció) mindig 3 percet kell biztosítani. A terhelési és alakváltozási adatokat fel kell jegyezni. A hőmérsékletet félóránként kell mérni. A víztartalom mérése nincs szabályozva.

A mérési szabványt 2021-ben frissítették. Az útépitési célú mérésekre $p=0,5\text{MPa}$ végterhelést és két felterhelési ciklust írtak elő, 0,01MPa előterheléssel, majd 6 lépcsős felterheléssel – lépcsőnként egységes 60s kivárással. Visszaterhelés az előterhelésig két lépcsőben 60-60s kivárással történik, majd a második felterhelés – egyezően az elsővel – az utolsó előtti terhelésig történik 60s kivárással a leolvasás előtt. Mind a $d=300$ -as, mind a $d=762\text{mm}$ -es átmérőjű mérés lépcsőit és kivárási időket táblázat megadásával szabályozták. A $0,3\cdot\sigma$ és $0,7\cdot\sigma$ között *mindkét terhelési ciklusra másodfokú polinommal regressziós görbét számol*, melyből az átlagos süllyedést az átlagos terheléshez a regressziós másodfokú képlet alapján újrászámítja, majd ebből számítja az E_{v1} és E_{v2} értékét.

A második ciklus egy terhelési lépcsővel kevesebb, mint az első, de a strain modulus számításakor az első felterhelési határt ($p=0,5\text{MPa}$) kell figyelembe venni. E szabvány engedi meg először a digitális (egyéb) mérőórák alkalmazását. Függelék tartalmazza a terhelő berendezés kalibrációját 300/600 és 762mm-es tárcsákra, nyolc terhelési lépcsővel, $p=0,5\text{MPa}$ -ig $\pm 2\%$ tűréssel.

Kalibrációnál az alkalmazott alakváltozás mérésének megfelelőségét legalább öt mérési sorozattal kell igazolni a referencia eszközhöz viszonyítva. A Benkelman-tartóhoz hasonló leolvasó kart szintén kalibrálják, méreteit ellenőrizve és tanúsítva.

Ismételhetőség és precizitás – a következő megjegyzés áll a földmű-, az alapozás-, illetve a szemcsés útalapok teherbírásának minősítésére használt mérésre:

14.1. *The Precision and Bias of this test method for making repetitive static plate tests on subgrade soils and flexible pavements components has not been determined. Soils and flexible pavements at the same location may exhibit significantly different load-deflection relationships. No method presently exist to evaluate the precision of a group of repetitive plate load tests on soils and flexible pavements components because of the variability of these materials. The subcommittee is seeking pertinent data from users of this test method that may be used to develop meaningful statements of precision and bias.*

„14.1. Ennek a vizsgálati módszernek a pontosságát és megbízhatóságát az altalajokon és rugalmas pályaszerkezeti rétegeken végzett ismételt statikus teljes tesztek elvégzéséhez nem határozták meg. Az azonos helyen lévő talajok és rugalmas pályaszerkezetek jelentősen eltérő terhelés-behajlás viszonyokat mutathatnak. **Jelenleg nem létezik módszer a talajokon és a rugalmas pályaszerkezetek- elemeken végzett ismétlődő terhelési mérések pontosságának értékelésére ezen anyagok változatossága miatt. Az albizottság e vizsgálati módszer felhasználóitól kér olyan releváns adatokat, amelyek felhasználhatók a pontosságra és megbízhatóságra vonatkozó teljes értékű megállapítások kidolgozására.**”

ASTM D1196/D1196M-12 Nonrepetative Static Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements

A mérés altalajokra és nem kötött, vagy hidraulikus kötőanyagú alaprétegek vizsgálatára, az ágyazási tényező és a nyírószilárdság meghatározására (3.1.p) készült. Igen sokban hasonlít az előzőekben ismertetett ASTM D1195 előírásaihoz.

2.1.2. “rebound deflection” visszaalakulási alakváltozás, amikor a terhelés megszűnik, 2.1.3. “residual deflection” maradó alakváltozás, különbség a felterhelés és terhelés megszüntetés okozta maradó alakváltozásban. Egy vagy több terhelési feszültség - strain modulus számításához a terhelés $0,3 \cdot \sigma$ és $0,7 \cdot \sigma$ közötti szakaszát kell értékelni.

Készülék / mérőeszköz követelmények ugyan azok, mint az ASTM D1195 előírásban. A hidraulikus terhelő berendezés kalibrált mérőórával, hőmérséklet mérését is előírja (5.6.p). A terhelőtárcsa 1 inch azaz **25,4mm** vastag és 152-762mm átmérő közöttiek (6-30 in. 6 in. lépcsővel). Mérőóra kettő, vagy több, 0,01mm pontossággal. 600-762mm-es tárcsáknál, max. 25mm behajlás mérésére. Mérőgerenda feltámasztása 5,5m az órák tartására és 2,4m távolság legyen a legnagyobb tárcsa szélétől.

A tárcsákat sorrendben egymásra kell helyezni (pyramid arrangement) a méréskor a kellő teherelosztás miatt, az alsó tárcsa az alkalmazott tárcsaátmérő. valamennyi tárcsa vastagsága 25,4 mm.

Mérési eljárás: homokterítés, majd tárcsa elhelyezés, terhelőberendezés és mérőórák rögzítése. A mérési terület környékét letakarással védi a száradástól, naptól.

A mérést előterheléssel kell kezdeni, ami 0,25-0,51mm alakváltozást okoz, majd kivárást szükséges. Ha az alakváltozás megáll, az órákat lenullázza. A mérést 6 lépcsőben terheli fel az első ciklusban úgy, hogy a kivárást lépcsőnként 0,03mm/min alakváltozás-mentes kell legyen. A mérést addig kell folytatni amíg a terhelési kapacitása a hidraulikának ki nem merül, vagy a kiválasztott behajlást el nem éri. Visszaterhelés utáni kivárást 0,03mm/3min. A terhelési és alakváltozási adatokat rögzíti. A tárcsa mellett kell mérni a hőmérsékletet fél óránként.

A számítások és terhelés-alakváltozás görbe ábrázolása előtt *korrekciót végez*, ami a zéró óraállításhoz tartozó behajlást és figyelembe veszi (megadja) a terhelés teljes terheléshez viszonyított arányait, a visszaalakulási és maradó alakváltozás értékét. Víztartalom mérése nincs szabályozva.

Ismételhetőségre és precizításra – annak hiányára vonatkozó figyelemfelhívás a 8.pontban ugyanaz, mint azt az ASTM D1195-nél jeleztük.

BS 1377- 9 (BS EN ISO 22476-3) Methods for test for soils for civil engineering purposes In-situ tests, 4.1. Determination of the vertical deformation and strength characteristics of soil by the plate loading test

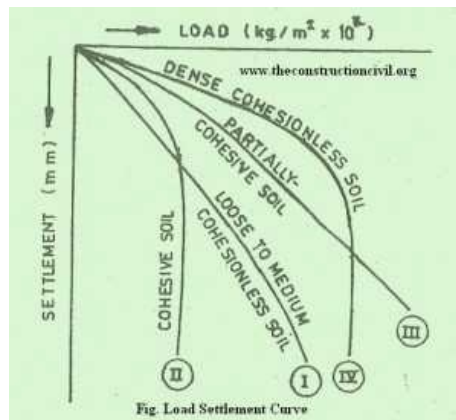
A Brit szabvány öt módszert tartalmaz a helyszíni terepi sűrűség meghatározására (tömörség meghatározásához), három módszert a behatolási ellenállás (pl PCT) meghatározására, négy módszert a függőleges alakváltozási és szilárdsági jellemzők meghatározására (CBR és PLT), valamint két módszert az in situ korróziós jellemzők meghatározására (electrical resistivity, electro-chemical potential of soil).

A teherbírás-mérési eljárás a következő:

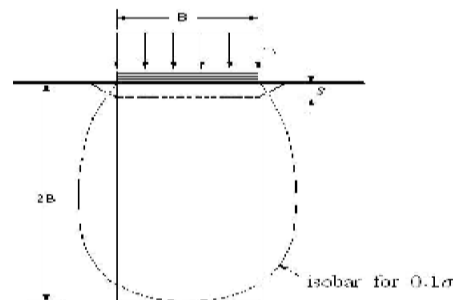
Ki kell választani a vizsgálati helyet és a mérési mélységet azon a ponton, ahová az alapot építik. Ha a vizsgálatot próbagödörben végzik, szélessége legalább 4-5-szöröse legyen a lemez átmérőjének. Óvatosan leszedik és eltávolítják az összes laza anyagot úgy, hogy a terület a tárcsa alatt vízszintes és lehetőleg zavartalan maradjon. A tárcsát vékony réteg - 10-15 mm vastagságú (!) - tiszta, száraz homokra helyezik, hogy egy kiegyenlítést hozzon létre a felületen. Ez után egy kis előterhelést kell alkalmazni, aminek 5 kPa-nál kisebbnek kell lennie. Ez után meghatározott, kis lépésekben végrehajtott terhelési lépcsőkkel - hidraulikus emelőt az ellensúlynak támasztva – mérnek lépcsőzetesen alakváltozást az adott terhelési ciklushoz, amíg el nem éri a maximális vizsgálati terhelést. A mérés az alakváltozás tárcsaátmérő 15%-káig, benyomódásáig ajánlott. A visszaterhelést több lépcsőben kell végrehajtani. A terhelés minden lépcsőnél leolvasásra kerül. A mérőóra leolvasási pontossága $\pm 0,05$ mm. Hőmérő 0,5°C pontosságú legyen. Minimum 3 mérőórát kell elhelyezni 120°-ban a tárcsán, hogy az egész tárcsa elmozdulás mérése pontos legyen.

A szabvány szerint végzett mérések tapasztalatit összegző cikkek egyikéből [23] mutatunk egy ábrát, ami a valós terepi körülmények között végzett helyszíni tesztek terhelés süllyedés görbéinek jellemző és jól ismert mintáit mutatja be (1. ábra). Ezeket a későbbiekben elemezni fogjuk, mint a

plasztikus, rugalmas és tömörödési alakváltozás együttes hatását, melynek arányai a vizsgált anyag típusától és állagától, víztartalmától függőek. A terhelés okozta a feszültségi zónát ($p \geq 0,1\sigma$ esetén) szerzők a tárcsaátmérő kétszeresére becsülik (2.ábra).



1. ábra. A terhelés okozta alakváltozások jellegzetességei a talajtípustól függően [23].



σ_0 = pressure on circular plate
 B = plate diameter
 s = surface deformation

(a) Major deformation element in a PLT

2. ábra. A terhelés okozta feszültségi zóna becsült képe a tárcsaátmérő függvényében ($0,1 \cdot \sigma$).

3. TEHERBÍRÁS-MÉRŐ ESZKÖZÖK BEMUTATÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK

Jellemző kialakítások

A gyártott tárcsás mérőeszköz típusokra jellemző, hogy az általunk is említett valamennyi szabványos mérésre alkalmasnak jelölik a gyártók. Fontosnak tartottuk ezek értékelését, mert egy-egy jellemző megoldás leleményes és a mérést gyorsabbá teszi, vagy egyszerűen csak követendő példának tartjuk.

TINENG



3. ábra. TINSENG.

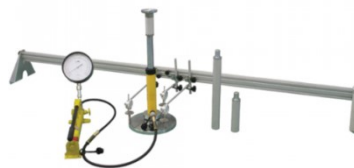
Jellemző a prizmatikus tárcsaelhelyezés oly módon, hogy a tárcsafülek nem zavaróak. A hidraulika pumpa kézi, egyutas, terhelésmentesítése szelepes. A mérőórákhoz a javasolt tartót (zártszelvényt) alkalmazza, mérőórák száma három.

Festar



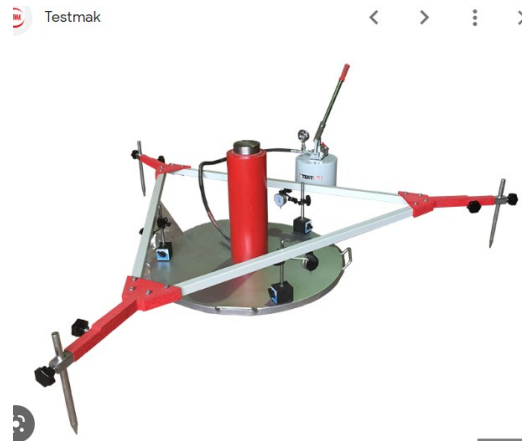
4. ábra FESTAR.

d=300-as tárcsa, két alakváltozás mérő órával, hidraulika pumpa kézi, nyomásmérő óra többskálás, hidraulika egyutas, terhelésmentesítése szelepes. Felül látható ellenmenetes támasz-kiegyenlítő leleményes megoldás, a gyors távolságkiegyenlítésre alkalmas.



5. ábra. ASTM Bearing Test Apparatus d=300-as tárcsa.

Három alakváltozás mérő órával, hidraulika pumpa kézi, nyomásmérő óra többskálás, hidraulika egyutas, terhelésmentesítése szelepes. Felül látható rudas kitámasztás több méretben alkalmas a támasz-kiegyenlítésre.



6. ábra. TESTMAK.

d=300-as tárcsa, három alakváltozás mérő órával, mely a tárcsára rögzített mágneses talpakra tapint. A hidraulika pumpa kézi, nyomásmérő óra egyskálás, hidraulika egyutas, terhelésmentesítése szelepes. A speciális 60°-os háromszög keretet távolabb elhelyezett lábak tartják, talajba szúrható tüskéken.

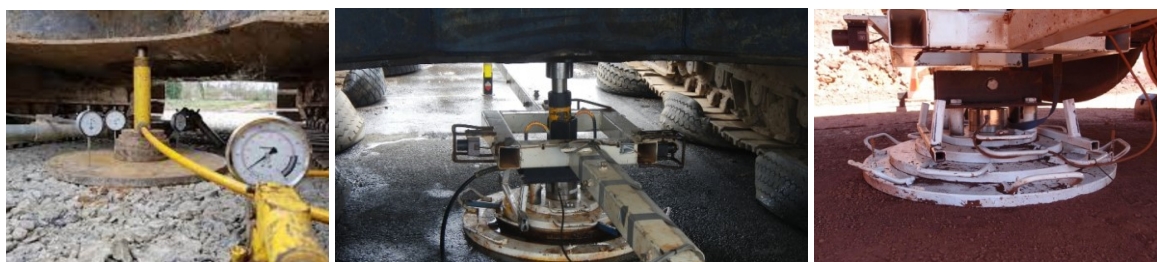


7. ábra. Jet Materials / Controls.

Behajlásmentes mérőrúd, állíthatóan rögzülő mérőóra tartókkal, hidraulika pumpa kézi, nyomásmérő digitális kijelzéssel, bőröndben elhelyezve. Hidraulika toldás és közgyűrűk a tartozékok.

Mérési munkakörülmények

Az altalaj vizsgálata a terhelő ellensúly nélkül lehetetlen, ezért a földközeli munka és a berendezés elhelyezése négykézlás, nehéz feladat. A mérés elején az előterheléskor újra be kell mászni a gép alá, az órákat nullázni. Ezek erősen próbára teszik a mérő személyzetet, nem beszélve a szűk helyről és a veszélyekről. A munkagépek alja jellemzően sáros, olajos, nem ideális környezetnek nevezhető.



8. ábra. Munkakörülmények bemutatása a tárcsás méréseknél.

Néhány képen ezt mutatjuk be azért, hogy érthető legyen, miért is szeretnénk ezeket a mérési feltételeket kiváltani, a méréssel járó kénakat lehetőleg csökkenteni.

4. ÉSZREVÉTELEK

A mérési szabványok próbálnak szigorú előírásokat alkalmazni annak érdekében, hogy a mérés megbízhatóságát és mérési pontosságát, valamint megfelelő ismételtetését biztosítsák, ez azonban nem mutatkozik sikeresnek. A mérések egyértelműen túlszabályozottak és szinte betarthatatlanok. Az ASTM D1195/D1195M-21 szabvány 14.1 pontjában jelzett mérési bizonytalanság **okot ad az aggodalomra, egyben kötelez a mérnöki megoldásra, útkeresésre.**

Néhány gondolatot ezért fel kell vessünk - a megoldáshoz vezető út keresésekor ezeket fontosnak tartjuk leszögezni. Ezek a

- a Boussinesq képletben szereplő $(1-\mu^2)\cdot c$ szorzat „egyszerűsítése” a XXI században?
- a mérési eredményben mit jelent, milyen súlyú a Poisson tényező elhanyagolása?
- egy mérőóra, vagy három legyen?
- kell-e a tárcsára merevítő borda, vagy sem?
- a tárcsás teherbírást hogyan vonatkoztatjuk az adott alapozásra?

4.1. BOUSSINESQ KÉPLETBE SZEREPLŐ $(1-\mu^2)\cdot c$ SZORZAT EGYSZERŰSÍTÉSE

Szinte valamennyi mérési szabvány (ASTM, DIN és BS) alkalmazza a Boussinesq képletben szereplő $(1-\mu^2)\cdot c$ szorzat egyszerűsítését, mellékletében még az MSZ2509-3 is, a minta-számításban. Ez azt jelenti, hogy az anyagra (talajra) jellemző „ μ ” Poisson tényezőt figyelmen kívül hagyják. A „ c ” Boussinesq tárcsaszorító merev tárcsa esetén $\pi/2$, míg hajlékony tárcsa esetén 2. Megjegyzendő, hogy *Kézdí professzor erről úgy vélekedik, hogy a tárcsa inkább merev, mint hajlékony [1] Kézdí Talajmechanika II. TK.1963.* Harmadik változat Ullidtz [19], illetve vélhetően ennek alkalmazásaként dr D. White is az Iowa State Universityről [20], aki a tárcsaszorítót a dinamikus LFWD-nél 8/3-ra választja szemcsés anyagoknál és 4/3-ra kohéziós talajoknál ($\mu=0,4$ Poisson tényező mellett), ami nem $\pi/2$, sem $c=2$, mint azt eredetileg Boussinesq javasolta, hanem a parabola (inverz parabola) súlyponti távolsága.

4.2. EGY MÉRŐÓRA, VAGY HÁROM LEGYEN?

A német szakirodalom tanulmánya szerint [25] már korábban felmerült a gyanú, hogy egy elmozdulás-mérő órával mért eredmény nem azonos a háromórás teherbírási modulus eredménnyel.

A vitát Németországban kísérleti mérésekkel tisztázták. 1993-ban Hothan és Beyer a Straße und Autobahn folyóirat 12. számában [21] ismerteti a két mérési módszerrel mért összehasonlító vizsgálatok eredményét – **mely szerint nem azonosak a mérési eredmények.**

Annak érdekében, hogy a két mérési módszer összehasonlítását ne zavarja a mérési helye (altalaj) és mert közismerten nem ismételtetés, azaz eltérő teherbíró képesség - egy tárcsás műszerrel mértek azonos helyen, azonos terhelési fokozatokban négy órával. Egy elmozdulás mérővel középen és három elmozdulás mérővel a szélén mérték folyamatosan a tárcsa süllyedését. Az E_1 és E_2 alakváltozási modulust mindegyik mérési helyen mindkét mérési eljárással egy időben mért süllyedésekből számították ki. **Az eredmények kb 10%-os eltérést mutattak, csak az óra-elhelyezés miatt.**

Hothan és Beyer vizsgálata csak a két eljárás által meghatározott különbségre terjedt ki és megállapították, hogy a két módszer nem ad azonos eredményt. A különbségek szignifikánsak voltak, de nagyságuk függött a mért süllyedés értékétől, a nyomóerőtől és a talaj típusától.

Az eredményekből egyértelműen megállapították, hogy egy elmozdulás-mérő órával mért süllyedések nagyobbak, mint a 3 órával mért süllyedések átlaga, vélhetően a tárcsa meghajlása miatt.

Ez igazolja a ASTM szabványokban előírt prizmatikus mérési tárcsa-kialakítás indokoltságát, vagy azokat a különleges tárcsakialakításokat, melyek bordával merevítettek. Következtetésként levonható ajánlás, hogy a **tárcsaközépen** végzett mérést kell megvalósítani, ha az lehetséges.

Tilmann Deutler és Hans Haas [22] 1996-ban a fenti mérési értékek felhasználásával tovább folytatta az eredmények értékelését és meghatározták mindkét módszer szerinti tárcsás teherbírás mérés relatív szórásának mérésével a *jellemző és meglehetősen gyenge - mérési pontosságot is*, jelezte összefoglaló ÚTLAB tanulmányában Liptay [25] 2009-ben.

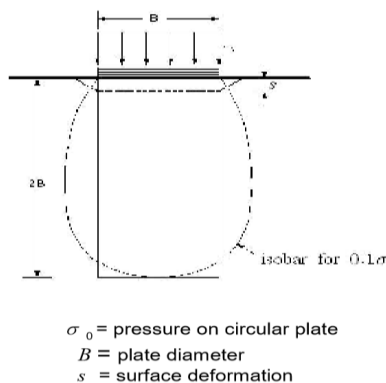
4.3. KELL-E A TÁRCSÁRA MEREVÍTŐ BORDA, VAGY SEM?

Ez a kérdés egyértelműen a $d \geq 300\text{mm}$ -nél nagyobb átmérőjű tárcsáknál merült fel korábban. Amióta azonban kiderült, hogy a középén mért egy órás, illetve a három órás mérések között ekkora a különbség, azóta tudjuk, hogy **indokolt lehet még a $d=300\text{mm}$ -es tárcsa bordás merevítése** is. Ennek hátránya csupán annyi, hogy a fém tárcsák amúgy is magas súlyát duplájára növeli.

Az ASTM-ben megszokott módon a merevítő bordás tárcsák nem helyezhetők egymásra, azaz a piramikus hatás nem érhető el.

4.4. A TÁRCSÁS TEHERBÍRÁST HOGYAN VONATKOZTATJUK AZ ADOTT ALAPOZÁSRA?

A terhelést azonosnak tekintve [23], a $0,1\sigma$ feszültség zóna kialakulása a terhelt sáv szélességétől függ, a hatásmélység különböző irodalmak szerint 1,5-2,0-szerese az terhelési átmérőnek. A létrejövő süllyedés a tárcsás mérésben mért süllyedésből számítható. Ezért a tárcsás mérés egy fontos mérés ahhoz, hogy az alapozás megfelelőségét el lehessen bírálni.



(a) Major deformation element in a PLT

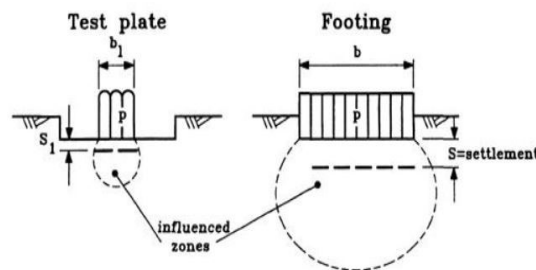


Figure 1.2: Influenced area beneath a test plate and a footing

9. ábra. Teherbírás mérés süllyedésének átszámítási elve az alapozásra.

Therzaghi and Peck (1967) kohéziós talajokra [24] javasolt képlete (1) ahol f (footing), p (plate)

$$S_f = \frac{B_f}{B_p} \tag{1}$$

$$S_f = \left[\frac{B_f(B_p + 0,3)}{B_p(B_f + 0,3)} \right]^2 \tag{2}$$

nem kohéziós talajokra javasolt képlete (2) az alapozás süllyedésére.

4.5. MIT JELENT, MILYEN SÚLYÚ A POISSON TÉNYEZŐ ELHANYAGOLÁSA?

Ha a Poisson tényező 0,3 (szemcsés anyag) és a „c” Boussinesq tárcsaszorítót merev tárcsának választjuk, akkor ez 1,43 azaz a „szabványosan 1,5-tel” számolt teherbírási modulus 95%-ka.

Ha a Poisson tényező 0,4 (nálunk átmeneti talaj pl. iszapos homok) és a „c” Boussinesq tárcsaszorítót merev tárcsának választjuk, akkor ez 1,32 (azaz $1,32/1,5=0,86$), azaz a „szabványosan” számolt modulus 86%-ka.

Ha a Poisson tényezőt 0,5 (folyadékként viselkedő plasztikus anyag például plasztikus agyag) és a „c” Boussinesq tárcsaszorítót merev tárcsának választjuk, akkor ez 1,12 (azaz $1,12/1,5=0,79$), azaz a „szabványosan” számolt modulus 79%-ka. Ullidtz – White által javasolt szorzó a szemcsés anyagnál számolt modulus 149%, míg kohéziós talajoknál 99%-ra adódik. Megjegyzendő, hogy mindez még mindig nem magyarázza azt, hogy egy méteren belül miért nem tudunk két hasonló mérési eredményt produkálni – egy homogénnek tekinthető rétegen.

Az E_i ($i=1-2$) teherbírási modulust a Boussinesq-féle képletből kell számítani, a tárcsaszorító és a Poisson-tényező ismeretében. A magyar előírásban is szerepel a „közelítő képletet” az „egyszerűbb” számításra – a Függelékben a jegyzőkönyv mintánál. (Ha ugyanis $c=2$ és $\mu=0,5$ akkor a képlet akár fejben is számolható mert a $c \cdot (1-\mu^2)=1,5$. Ugyanakkor ez nyilván a mérési pontosság kárára nem mehet. Ráadásul a XXI században már illő pontosan számolni. Főleg, ha a valós paraméterekkel nem is egyező ez az „egyszerűsítés”. A $c=2$ Boussinesq szerint a hajlékony tárcsa szorzója, a $\mu=0,5$ pedig az agyag Poisson-tényezője. Mi ebben az egyszerűsítés? A merev tárcsa Boussinesq szorzója az MSZ 2509-3 szerint is $\pi/2$. A szabvány a Poisson-tényezőre 0,3 (szemcsés), vagy 0,5 értéket (kötött anyag) ad meg. Az átmeneti talajoknál (főleg iszapos talajoknál siSa) hazánkban is el kezdett terjedni a 0,4 érték Poisson tényező alkalmazása is, melyet semmiképp nem lehet ellenezni.

Az, hogy a „c” Boussinesq-féle tárcsa szorzóra és a Poisson tényezőre mit választunk (mi az anyag és mi a tárcsaszorító), alapvetően megváltoztatja a mért teherbírás értékét, azaz *nem elhanyagolható, nem egyszerűsíthető*. Jól mutatja ezt az 1.sz táblázat összefoglalója (ha az alakváltozás 1,00 mm, akkor ezek az értékek a számított E_2 MPa teherbírás értékei). Azonos alakváltozás ellenére, a *számítási mód megválasztása tehát döntő lehet!*

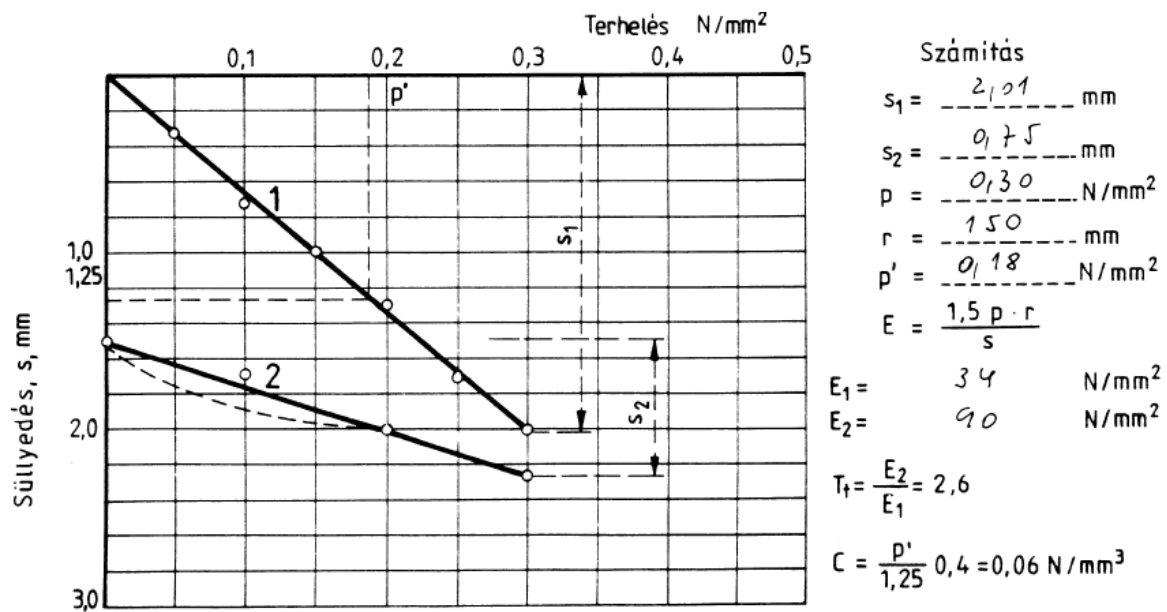
1. táblázat. C_μ értékek a különböző Boussinesq tárcsaszorító és Poisson-tényezők esetében.

| C_μ =konstans értékek, ha $c=2$ hajlékony tárcsa | $\mu=0,3$ | $\mu=0,4$ | $\mu=0,5$ |
|---------------------------------------------------------|-------------|-----------|-------------|
| $p=0,3$ MPa | 81,9 | 75,6 | 67,5 |
| $p=0,5$ MPa | 136,5 | 126 | 112,5 |
| $E_i=C_\mu/s$ | | | |
| C_μ =konstans értékek, ha $c=\pi/2$ merev tárcsa | $\mu=0,3$ | $\mu=0,4$ | $\mu=0,5$ |
| $p=0,3$ MPa | 64,3 | 59,4 | 53,0 |
| $p=0,5$ MPa | 107,2 | 99,0 | 88,4 |

Az „egyszerűsített” képletben C_μ értéke $1,5 \cdot p \cdot r = \mathbf{67,5}$ ($p=0,3$ MPa esetén), mely *nem tekinthető elfogadható helyettesítésnek ma már*. Ez persze nagyban függ az adott mérési szabványtól is, melyek a leolvasási pontokat is, az E_2 számításának módját is rögzítik. Sajnos az említett MSZ2509-3 az F.3.-ban megadott jegyzőkönyv mintában is az egyszerűsített képlet szerepel (mint a gyakorlat számára általában megfelelő egyszerűsített képlettel) de azzal is számol! Pedig a magyar szabvány 4.4.2. pontjában megadott képlet egyértelmű:

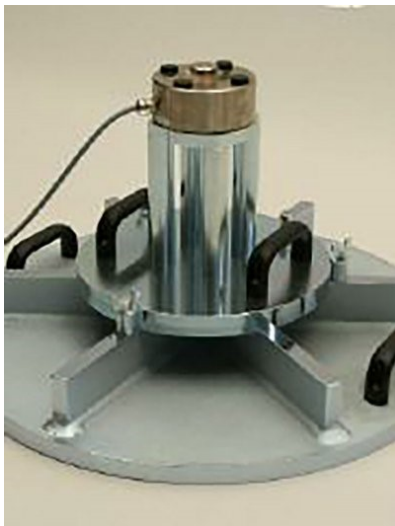
$$E_2 = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{(1-\mu^2)p \cdot r}{s_2} \tag{3}$$

A teherbírás mérésre jellemző terhelés – minta alakváltozási görbe a következő a F3 szerint (lásd 10. ábra).



10. ábra. MSZ 2509 szerinti mérésre jellemző terhelés – alakváltozás görbe.

Különböző nemzetközi szabványok más-más megfontolásokat alkalmaznak, hogy a terhelési-alakváltozási görbének mely pontjait tekintik alkalmasnak arra, hogy abból az első, vagy második felterheléshez tartozó teherbírási modulust számítsák, mennyi ideig tartson egy terhelési ponton való kivárás, ezen belül hány leolvasás történjen és még *sok más szempont mind-mind eltérő módon szabályozott*. Az „egyszerűsítés” ($c=2$ és $\mu=0,5$) a legtöbb külföldi szabályozásban megjelenik.



Dott. Geol. Diego Italiano – Laboratorio ALTAIR s.r.l.

1-2. kép. Anix GmbH merevített terhelőtárcsa kialakítása – közlepleolvasásos, automatizált mérés három felterheléssel és egy olasz megoldás sima tárcsával.

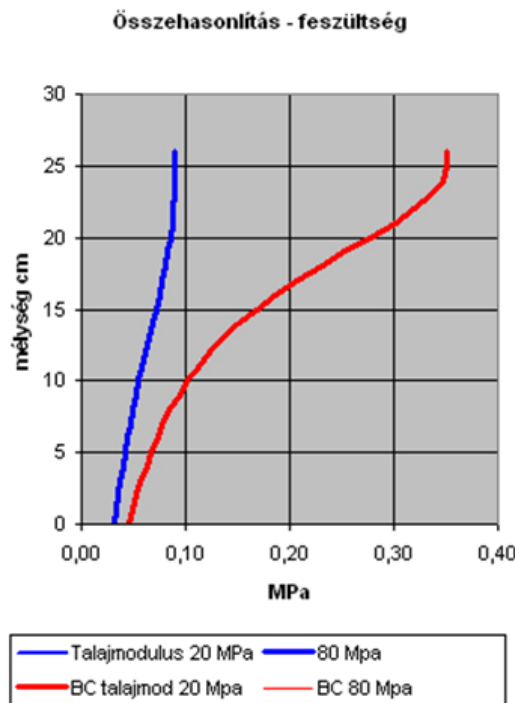
Információ a magyar *teherbírás mérésből* jellemzően csak a terheléshez tartozó alakváltozás, a két felterhelési lépcsőben. A végtelen, homogén féltérre jellemző mérési paramétereket - így a teherbírást is - feltételekkel illik kezelni. A mért teherbírás - a Δp terhelési lépcsőkkel - ellensúlyt igénylő mérés.

A közvetlenül, vagy közvetve mért paraméter kettő vagy egy tizedes pontossággal kerül általában megadásra. *Párhuzamos mérést a teherbírási modulus mérésekor mi sem alkalmazunk.*

A mért alakváltozás - általában 0,01mm pontosságú mérőórával, vagy digitális mérővel történik. Egy műszert találtunk ami részben „automatizált”, de az alakváltozás időbeni kivárása itt sincs kellően szabályozva, az pedig jelentősen befolyásolhatja az eredményt.

4.6. HATÁSMÉLYSÉG

A hatásmélység Boussinesq-féle feszültségeloszlásból számítható is [1], és általában a $p=20\%$, vagy az alakváltozás 10% elérésekor húzzuk meg (különböző szakirodalmak eltérhetnek). Számításaink szerint $p=0,3\text{MPa}$ terhelésnél és $d=300\text{mm}$ tárcsaátmérőnél ez 265 mm-re jött ki $E_2=80\text{MPa}$ -nál, azaz kb 30cm-nek vehető, de a hatásmélység mindig számítható (11 ábra). Ebből az következik, hogy a méréssel jellemezhető réteg hatékony vastagsága nem pont 1,5-2D. A dinamikus mérőeszköznél például a 0,1MPa tárcsa alatti terhelésű D300-as tárcsa és a 0,3MPa tárcsa alatti terhelésű D163mm átmérőjű tárcsa hatásmélysége közel egyenlő ugyan de változó, azaz *nem csak az átmérő, hanem a tárcsa alatti terhelés is fontos (11. ábra).*



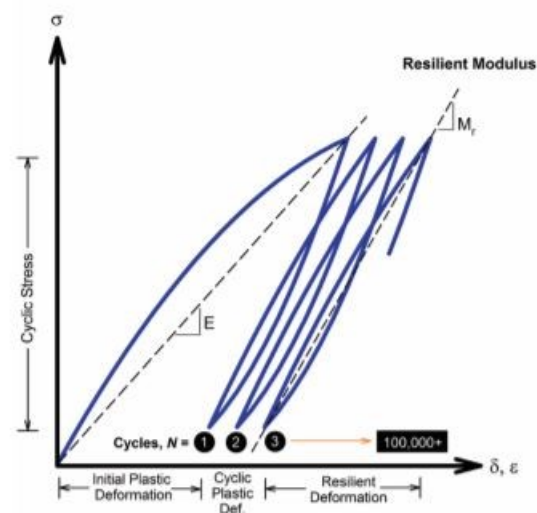
11. ábra. Hatásmélység számítása D=300m nagy tárcsás és D=163mm kistárcsás dinamikus mérésnél ($E_2=80\text{MPa}$).

Más források is 1,5-2,0D hatásmélységet jeleznek. Elemzésünk Kézdi professzor [1] szerinti számításból azt mutatta, hogy nem mindegy a tárcsa alatti terhelés sem, és nem csak a tárcsa átmérőt kell figyelembe venni.

4.7. APLT AUTOMATA PLATE LOAD TEST (ANIX GMBH) MÓDSZER ELMÉLETE

Az Automata Plate Load Test (Anix GmbH) elméletében a különlegesség az, hogy három felterhelést végez és a harmadik ciklus alakváltozásából meghatározza a M_r reziliens modulus (12.ábra), azt feltételezve, hogy már *tisztán rugalmas az alakváltozás a harmadik ciklusban*. Plasztikus alakváltozást azonban ez az elmélet sem mér, a rugalmasnak tekintett alakváltozást is kétségekkel fogadjuk. Véleményünk szerint minden elméletnek *figyelembe kellene venni, azaz mérni a plasztikus alakváltozást*, mert a nélkül nem lehet *a tisztán rugalmas alakváltozást meghatározni*.

Figure 1 Cyclic APLT to determine M_r



12. ábra. Az APLT (Anix GmbH) mérési módszer elmélete.

4.8. EUROCOD-7

Geotechnikai tervezés itt idézett pontja alatt a következő – általános - számítási lehetőséget biztosítja, melyet ezért illik ismertetni, de újdonságot már nem tartalmaz:

Plate Loading Test (PLT)

- (1) This is an example of deriving the plate settlement modulus E_{PLT} (secant modulus).
- (2) For loading tests made at the ground level or in an excavation where the bottom is at least five times the plate diameter, the plate settlement modulus E_{PLT} may be calculated from the general equation:

$$E_{PLT} = \frac{\Delta p}{\Delta s} \cdot \frac{\pi \times b}{4} (1 - \nu^2)$$

where:

Δp is the selected range of applied contact pressure considered;

Δs is the change in total settlement for the corresponding change in the applied contact pressure Δp including creep settlements;

b is the diameter of the plate;

ν is Poisson's ratio for the conditions of the test.

Fontos felismerni, hogy a statikus mérési adatok a mérés hatásmélységének ismeretében, hogyan adaptálhatók az alapozásra, laza, közepes sűrűségű és tömör altalaj esetén.

Itt a hatásmélységet a 13.sz. ábra a tárcsa átmérő 1,5-szörösében adja meg, a bevont „talajgömb” nyomási határát pedig a feszültség 20%-ánál javasolja megszabni. A tömörségre vonatkozóan laza, közepesen tömör, illetve tömör fogalmakat használ. Nyilvánvaló, hogy a terhelés hatására a mért süllyedések ettől erősen függőek. Az ábra azért is érdekes, mert a mért talajzóna homogén, míg az alapozás alatti talajzóna már nem biztos, hogy az.

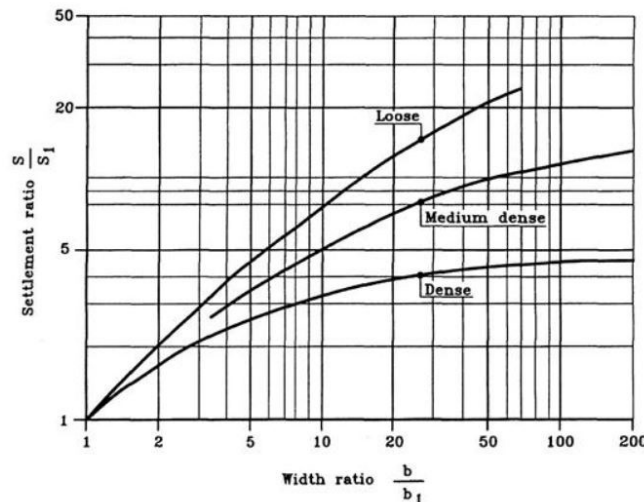


Figure I.3: Graph for calculations of settlement based on plate loading tests

13. ábra. Statikus tárcsás mérés minősítése: laza, közepesen tömör, avagy kellően tömör-e.

5. TÁRCSÁS ÖSSZEHASONLÍTÓ MÉRÉSBŐL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK, HIBA-ANALÍZIS

2008-ban végrehajtott hazai statikus és dinamikus méréseket elemez cikkében Ézsiás [26]. A földművek megfelelőségének igazolása két fő paraméter, a tömörségi fok és a teherbírási modulus meghatározásával történik. Az UTLAB szövetség keretében 2008 tavaszán az éppen épülő M6 autópályán készült egy összehasonlító vizsgálatsorozat a Közlekedéstudományi Intézet és a Magyar Közút Kht lebonyolításában. A cél egyrészt a kontroll (MK) és kivitelezői laborok közötti összehasonlítás, másrészt az átszámíthatóságok (statikus – dinamikus, illetve tömörségi fok) ellenőrzése volt. Az izotópos és dinamikus tömörségméréseket 4x4m-en kijelölt területen, míg a statikus és dinamikus tárcsás méréseket 12-14m szakaszokon végeztek a jelentkező akkreditált laboratóriumok. A területek homogén szakaszoknak tűntek. A mérést elvégezve, a terhelő gépkocsi 1-2 métert haladt előre, majd az újabb laboratórium mért. A kiválasztás szempontja volt az akkreditáltságon kívül a nagy gyakorlat és nagy projekteken való részvételek voltak.

A statisztikai értékelésben – ahol lehetett – a minimum, maximum értékeket kihagyta és ily módon „korrigált” paramétereket határozott meg szerző. Statikus teherbírás mérést MSZ 2509-3:1989 módszerrel 9 labor mérte 3-3 mérési ponton, meghatározva E_1 , E_2 és T_t értékeket.

A statisztikai számítást a Student-féle eloszlással megismételtük, hogy az egységes értékeléshez alkalmassá tegyük a statisztikát. A meghatározott E_1 és a T_t értékeket terjedelmi okokból itt nem értékeljük. A cikk alábbi 2. táblázatában közöltek feldolgozva a korrigált eredményekkel való számítás mellett szerző az E_2 értékekre a következő mérési megbízhatóságot állapítja meg.

2. táblázat. Student-féle eloszlással feldolgozott statisztikai eredmények E_2 -re 2008-ból.

MSZ2509-3 Teherbírás E_2 mérések ismételhetségi megbízhatósága (2008)

| Mérési eredmény E_2 | I. szakasz | II. szakasz | III. szakasz |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| Labor száma db | 9 (7) | 9 (7) | 9 (7) |
| MIN (MPa) | 52,1 | 22,1 | 60,0 |
| MAX (MPa) | 78,5 | 63,8 | 82,7 |
| Korr. átlag (MPa) | 65,2 | 47,1 | 75,4 |
| Korr. szórás | 8,4 | 9,6 | 7,2 |
| Rel. szórás % | 13% | 20% | 10% |
| SZÁMÍTOTT (Új) $\pm\Delta$ (Student=1,943, $\alpha=0,1$ és $\nu=n-1$) | $\pm 9,5\%$ | $\pm 14,7\%$ | $\pm 7,3\%$ |

A fentiek szerint az E_2 teherbírás-mérés megbízhatósága akár $\pm 15\%$ is lehet (átlagosan kb $\pm 11\%$ volt) a korrigálások (min-max elhagyása) ellenére.

Megjegyzendő, hogy minősítéskor legálisan a min-max értékek természetesen nem hagyhatók el. Szerző megjegyzi továbbá, hogy a teljes mérési idő két felterheléssel 1,5 perctől 14 percig terjedt - azaz a mérési idő eltérése laboronként igen jelentős volt (ugyanakkor az eredményekből ez egyértelműen NEM tűnt ki).

5.1. TÁRCSÁS VIZSGÁLAT HIBÁINAK FELTÁRÁSA A MÉRÉS MEGÚJÍTÁSÁHOZ

Részletes hiba-analízis

Nem kerülhető el ezek után a részletes hiba analízis, mert a mérési eredmények nagy problémákat jeleznek a reprezentativitásban, a mérés ismételtetésében. Első ezek kiküszöbölése kellene legyen, mielőtt a statikus tárcsás mérés továbbfejlesztésére, vagy a statikus tömörség mérésre bármilyen kísérletet tennénk. A hibák okát meg kell próbáljuk kideríteni. Sajnálatos, hogy ezzel kapcsolatosan alig találtunk szakirodalmat, kivéve [23], melynek címe is sokat mondó: Plate Load Test - Getting it Right. Ez pont a mérőórák (terhelés, alakváltozás) leolvasásait jelöli meg elsődleges hibaként.

A cikk elején áttekintett szabványos tárcsás mérési módszerekből, valamint az ismert magyar gyakorlatból megpróbáltunk egy *hibalehetőségi mátrixot felállítani*, mérlegelve, azt hogy mely pontok lehetnek lényegesek az ismételtetéségi probléma elkerülésében. Melyek azok a paraméterek, amik a talaj-jellemzőktől függetlenül rontják a mérés pontosságát, hatással vannak a mérési eljárásra, eredményére. Átnéztük, elemeztük hát a műszert, az eljárási módszert és az emberi faktort is.

A műszer elemeinek, elhelyezésének hibalehetőségei:

- acéltárcsát a terhelőgép alatt kuporogva kell emelgetni, vízszintesen elhelyezni
- ASTM előírások tárcsa-prizma kialakítása még megterhelőbb
- ASTM és DIN tárcsák vastagsága többnyire 25,4mm, a magyar előírás csak ≥ 20 mm
- tapintó mérőórát elhelyezése után, majd az előterhelést követve nullázni is kell, azaz be kell újra mászni hozzá

A mérési módszerek, eljárások rendjéről általánosságban elmondható, hogy mindegyik nagyon túlszabályozott. Olyan előírásokat kérnek, ami igen nehezen tanulható meg és igazán nehéz betartani. Túl sok a követelmény. Terhelési lépcsők a ciklustól függően változnak, figyelni kell az időt, a kivárásnál az alakváltozást adott sec alatt, aztán leolvasni három órát egyszerre, az adatokat feljegyezve, és még a terhelést is tartani... Szóval kevés keze nőtt ehhez a laboránsnak.

Megállapíthatjuk: *a mérés tele van a humán hibák lehetőségeivel*

- kézi pumpálás - egyenetlen a nyomás, a terhelés lüktető
- megálláskor - ha esik a nyomás megengedjük a rányomást, hosszabbítva a terhelési lépcső idejét és az e miatti alakváltozást
- a szabvány nem ad lehetőséget a Benkelman-karos leolvasásoknál a billenőkar „kopogtatására”, azaz a kivárási idő ezzel nem rövidíthető
- visszaterhelés, a nyomáscsökkentés szeleppel történik, annak sebessége ezért változó
- Egyáltalán nincs szó arról, hogy a felterhelés is, meg a vissza-terhelés is adott egyenletes sebességgel kellene történjen. *Terhelési sebességről nincs szó a szabványokban*
- a mérés azonnal a teljes alakváltozást akarja mérni minden mérési szabványban a konszolidációval együtt, holott azt mérhetné külön is (pl későbbi ciklusban, nagyobb pontossággal)

- minden szabvány eltérő, egyben azonban egyeznek – nem egy egyszerű mérés a Plate Load Test, ezért mindig a legrutinósabb laborosokra bízzák

Mérési eredmények számítása

- a magyar szabvány helyesen alkalmazza a Poisson-tényezőt és a $c=\pi/2$ merev tárcsaszorozót
- ugyanakkor a közelítő képletben már az 1,5-ös helyettesítést megengedi az F3 mellékletben, a mintapéldában $(1-\mu^2)\cdot c$ képletrészre
- a képletek alkalmazásának az eredmény gyenge ismételtetésére nincs hatása, azt a mérésben kell keresni
- a magyar szabvány két felterhelést ír elő, de a második felterhelés utáni, maradó alakváltozás leolvasását már nem írja elő (pedig adódik, csak le kéne olvasni). Kár érte, elveszett adat.

Mérőórák száma és elhelyezésük

Irodalmi adatokból láttuk, hogy nem mindegy a mérőórák elhelyezése. Más eredményt ad a tárcsaközépre helyezett órával történt mérés, mint a 120° elhelyezett három órás mérés. [21]. Az eltérés 10% körüli, azaz *más hibákkal is terhelt kell legyen a mérés, ha mérhetünk kétszer akkora teherbírást is egy méteren belül* (lásd MIN-MAX). Ez a hiba pedig a humán faktor.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálataink célja a tárcsás teherbírás szabályozási kérdéseinek, a mérés problémáinak mélyebb megismerése, elemzése, problémák felderítése volt a lehetséges megoldások felméréséhez, a mérés módosításának kidolgozásához, továbbfejlesztéséhez.

A legfontosabb azonban annak vizsgálata, hogy hogyan lehetséges a statikus tárcsás mérés módosításával *ismételhető teherbírasi eredményeket elérni*, továbbá egy új módszerrel netán a statikus tömörségi fokot is meghatározni. Ehhez át kellett tekinteni az eddigi szabályozásokat, alkalmazásokat, elképzeléseket, a tömöríthetőségi vizsgálatokat, alkalmazott jellemzőket és hibaanalízist végezni, melyeket bemutattunk.

Áttekintettük a tárcsás mérési szabványokat, miben hasonlók és miben térnek el. A világ egyik legismertebb terepi mérési módszere a „Plate Load Test” statikus tárcsás teherbírás vizsgálat, avagy tárcsás teherbírás mérés. Hasonlóságuk ellenére a szabványok igen sok eltérést rejtenek, és a *megvalósíthatóságban a humán faktor bizonyult a legnagyobb hibalehetőségnek!*

Ugyanazt a mérést is mindenki egy kicsit másképp végzi el, sőt ugyanazt az eredményt ugyanaz a mérőszemélyzet sem tudja soha megismételni – legjobb szándéka mellett sem. A mérési munkakörülmények rendkívül rosszak, fárasztóak. A nehéz tárcsák elhelyezése, a felállítás a méréshez kimerítő feladat.

Ki kell jelenteni emiatt, hogy a *mérés automatizálása* az egyetlen hatékony megoldás. Az amerikai, brit és német szabványok szerint is lehetetlen a párhuzamos vizsgálat bevezetése, a mérés ismételtetésége gyenge. Ez mellbevágó, mert a *teherbírás mérés fontos minősítő vizsgálat*. Igazi mérnöki feladat az, hogy a megbízhatóságát fokozzuk és az ismételtetéséget biztosítsuk.

Áttekintettük a mérési eszközök kialakításait, milyen előnyöket és hátrányokat mutatnak, miben térnek el. A mérések előkészítése, a műszer felállításának feladata nehéz és sok időt vesz igénybe a terepen, egyszerűsítése ezért indokolt lenne. Később ezeknek a tapasztalatoknak nagy szerepe lehet az automata műszer kialakításában.

Észrevételeztük a Boussinesq képletben szereplő $(1-\mu^2)\cdot c$ szorzat „egyszerűsítését”, a Poisson tényező elhanyagolását, egy mérőóra, vagy három kérdését, a merevítő bordák szükségességét, a hatásmélységet. Ézsaiás 2008 évi feldolgozása szerint az E_2 teherbírás-mérés megbízhatósága akár $\pm 15\%$ is lehet, a korrigálások (min-max értékek elhagyása) ellenére!!! A min-max értékek nagyon nagy eltéréseket mutattak.

Elvégeztük végül a magyar tárcsás vizsgálat hibáinak feltárását a mérés megújításához. A *részletes hiba-analízis* a mérési eredményekben nagy problémákat jelzett a reprezentativitásban, a mérés ismételhetőségében. Első feladat ezek kiküszöbölése kellene legyen. A műszer, a mérés elemeinek, elhelyezésének hibalehetőségeit vizsgálva megállapítottuk, hogy a mérési módszerek, eljárások rendre mindegyik túlszabályozott. Olyan előírásokat adnak, ami igen nehezen tanulható és igazán nehéz betartani. Túl sok a követelmény.

Megállapíthatjuk, hogy a mérés tele van a humán hibák lehetőségeivel. A terhelési sebességről nincs szó a szabványokban. Keverednek az alakváltozások, nem különböztethető meg a rugalmas, a maradó – ezen belül pedig a plasztikus és a tömörödés miatti alakváltozás. A mérési eredmények számítása hibás, mert $(1-\mu^2)\cdot c$ nem 1,5. A mérőórák száma és elhelyezésük fontos, nem ugyanazt az alakváltozást adják – azaz a tárcsa behajlása kimutathatóan más középen, mint a széleken mérve.

Véleményünk szerint minden teherbírás mérési elméletnek figyelembe kellene venni a plasztikus és a tömörödési alakváltozást, mert a nélkül nem lehet a tisztán rugalmas alakváltozást meghatározni. A teljes alakváltozás rugalmas és maradó alakváltozásból áll, de a maradó alakváltozás két részre osztható, a plasztikus és tömörödési alakváltozásra.

Összefoglalva tehát megállapíthatjuk, hogy a humán személyzet okozta hibák elkerülhetetlenek, a legjobb szándék mellett sem küszöbölhetők ki - ez okozza a teherbírás mérés alapvető problémáit. Felmerül ezért megoldásként az automatikus mérés kidolgozása, a humán beavatkozás nélküli automata mérőműszer szükségessége, mint egyetlen járható út a párhuzamos mérések biztosítására, a programozhatóságra, a megfelelő ismételhetőség lehetőségének megteremtésére - akár a mesterséges intelligencia, az AI- előkészítéseként értelmezve.

Jelen tanulmányunkban leírt szabványos módszerek mindegyikével megismételhetetlen a teherbírás modulust mért eredménye. Ennek oka elsősorban az, hogy a terhelési sebesség nem konstans, hogy a kivárási idő változó, hogy a lépcsőnkénti kivárási alatti alakváltozás egyenként sem ismételhető. Hat (három) lépcső alkalmazása során ezek az alakváltozások nem ismételhető módon szuperponálódnak. Kijelenthető, hogy nem a személyzet képzettsége vagy gyakorlata dönt az ismételhetetlenség mellett, hanem egyszerűen önmagában a humán faktor. Ha jól akar, akkor is rányom a hidraulika pumpára, ha azt látja, hogy a hidraulika nyomása esésnek indul. Ezek kiküszöbölése csak XXI. századi mérési módszerekkel, processzoros vezérléssel lehet megvalósítható.

A probléma lényege tehát az, hogy már az első felterheléskor is a mért alakváltozásban nem határolható be sem a plasztikus alakváltozási rész, sem a rugalmas alakváltozás valamint a levegő eltávozása miatti statikus tömörödési alakváltozás – de még ezek aránya is változó. Ezek a felterhelési ciklusokban is arányaiban változnak, azaz nem azonosíthatók az első, vagy második felterhelésből sem. Mindez anyagfüggő és víztartalom függő is.

Hiba-analízisünk kimutatta azt is, hogy ha ezeknek a megállapításoknak a helytállóságát elfogadjuk, akkor a terhelési ciklusokban a lépcsőnkénti kivárási időt vagy meg kell szüntetni, vagy szigorúan egységesíteni szükséges. Az adott terhelési lépcsőn az állandó nyomás (megállított felterhelés) mellett mért alakváltozás változik, a mérőórán látott kúszás pedig tény. A visszaterheléskor történő leolvasásokat semmire sem használják, feleslegesek. Csak a relaxáció miatt alkalmazzák. Ugyanakkor ebből nem deríthető még ki az, hogy ennek milyen arányú a plasztikus-, rugalmas-, illetve tömörödési alakváltozása. A teherbírás modulumban a teljes alakváltozást vesszük figyelembe, de nincs annak akadálya, hogy még több terhelési ciklussal tisztázzuk az alakváltozások anyagra, talajra, víztartalomra jellemző paramétereit, összetevőit.

Fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a jelenlegi teherbírás mérés sajnos valóban nem kellően ismételhető és valóban nem elegendő megbízhatóságú. Ugyanakkor a teherbírás E_2 (MPa) minősítő mérés, az ezzel járó joghatással, ezért a hibák minél nagyobb mértékű kiküszöbölésére kell törekedjünk – ráadásul sürgősséggel.

7. SZAKIRODALMI JEGYZÉK

- [1]: Kézdi, Á. 1975: Talajmechanika II. TK Budapest.
- [2]: MSZ 2509-3:1989: Útpályaszerkezetek teherbíró képességének vizsgálata. Tárcsás vizsgálat.
- [3]: DIN 18134 „Baugrund – Versuche und Versuchsgeräte – Plattendruckversuch.
- [4]: DIN 18134 „Soil – Testing procedures and testing equipment – Plate load test, English translation of DIN 18134:2012-04 translation by DIN-Sprachendienst.
- [5]: ASTM D1194-94 Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings.
- [6]: ASTM D1195/D1195M-21. Standard Test Method for Repetitive Static Plate Test of Soils and Flexible pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements.
- [7]: ASTM D1196/D1196M-12. Nonrepetitive Static Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements.
- [8]: ASTM D 1196 – 93: Reapproved 1997. Standard Test Method for Non-Repetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements, ASTM, US.
- [9]: AASHTO T 222-81. 2021: Standard Method of Test for Nonrepetitive Static Plate Load Test of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements.
- [10]: AASHTO (1981). AASHTO T 222 – 94, Standard Method of Test for Non-Repetitive Static Plate Load. Test of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements, American Association of State Highways and Transport Officials.
- [11]: EN1977-1 Eurocode 7 – Geotechnikai tervezés – 1.rész: Általános szabályok.
- [12]: EN1977-2 Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing plate load tests, field vane tests and penne ability tests)
- [13]: BS 1377- 9 (BS EN ISO 22476-3) Methods for test for soils for civil engineering purposes In-situ tests, 4.1. Determination of the vertical deformation and strength characteristics of soil by the plate loading test.
- [14]: ÖNORM B 4417 - Geotechnik - Untersuchung von Böden - Statischer Lastplattenversuch / ÖNORM B 4417 - Geotechnika - Talajok vizsgálata - Statikus terhelőlemez vizsgálat.
- [15]: TSC 06.720: 2003: Meritve in preiskave – Deformacijski moduli vgrajenih materialov, Republika Slovenija.
- [16]: NF P94-117-1: 2000-04, Portance des plates formes – Module sous chargement statique à la plaque, Norme française (France).
- [17]: Standard UNE 103808:2006 15.2.2006 – Load test of plate soils
- [18]: CRD-C655-95 Standard Test Method for Determining the Modulus of Soil Reaction
- [19]: Ullidtz, P. 1987: Pavement Analysis. Elsevier. Developments in civil Engineering, 19
- [20]: White D.J. 2013: Stiffness-Based_QC-QA Testing Tech Brief. Central Iowa Pavement Test Sections.
- [21]: Hothan, J., Beyer, H. 1993: Der Platendruckversuch im Spiegel seiner Ergebnisse. Straße und Autobahn 1993./12 p725 – 727.
- [22]: Deutler T. 1991: Grubbs-Type Estimators for Reproducibility Variances in an Interlaboratory Test Study. *Journal of Quality Technology*, Volume 23, p 324 – 335)
- [23]: Anyang, M. Y., Atarigiya, B. D., Ofori-Addo, R. & Allotey, N. K. 2018: Plate Load Test: Getting it Right. GHIE th50 Engineering GHANA's Sustainable Development.
- [24]: Terzaghi, K, Peck, R. B., Mesri, G. 1967: Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Ed., John Wiley & Sons, Inc.
- [25]: Liptay, A. 2009: A tárcsás teherbíró képesség vizsgálatának pontossága. A mérési bizonytalanság meghatározásának problémái /ÚTLAB 2009.

- [26]: Ézsiás, L. 2009: Földművizsgálati módszerek megbízhatóságának elemzése, *Közlekedésépítési szemle*, 59.évf. 2.szám, p.15-23.
- [27]: Gáspár, L., Károly, R., Boromisza, T. 2008: Útpályaszerkezetek teherbírása hazai és külföldi eredmények és problémák. *Közúti és Mélyépítési Szemle* (6) p.:1-8
- [28]: Boromisza, T. 1997: Útpályaszerkezetek teherbírásmérése és az értékelés jelenlegi hazai gyakorlata. *Közúti Közl. és Mélyépítési Szemle*, 1997/3 p.:142-144.
- [29]: Boromisza, T. 1968: A talaj rugalmasságának vizsgálata útpályaszerkezeteknél *Mélyépítéstudományi Szemle*, (6).
- [30]: Gáspár, L., Boromisza, T. 1963: Útpályaszerkezetek méretezése új hazai eljárással a behajlásmérés és egyenértékszámok alapján. *Mélyépítéstudományi Szemle* (10).



M5 autópálya üzemeltetésében megújuló energia használatának vizsgálata

Sós Gábor

A-WAY Zrt.

E-mail: gabor.sos@m5autopalya.hu

DOI: [10.36246/UL.2023.1.04](https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.04)

KIVONAT

Ez a cikk az M5-ös autópálya üzemeltetésében a megújuló energia felhasználásának lehetőségét vizsgálja, pontosabban az elektromos járművek autópálya-üzemben való felhasználásának lehetőségét, valamint napelemes rendszer telepítését az Üzemeltetési és Fenntartási Mérnökségeken.

Az elektromos járművek használatára vonatkozóan összehasonlító elemzés készült, fókuszálva az elektromos járművekre a flottában jelenleg meglévő járművekkel szemben, részletes műszaki paraméterekkel. A kijelölt feladatok ellátására kiválasztott gépjárművek teljesítménymutatóinak elemzése alapján 58 járműből 3 cserélhető elektromos járműre.

A napelempark kapcsán az M5-ös autópálya Üzemeltetési és Fenntartási Mérnökségein betekintést kapunk az üzembe helyezhető rendszer típusába és teljesítményébe. A műszaki paraméterek és a befektetés megtérülése is bele van foglalva.

A fenti részletes megfontolásokat összegezve megállapítható, hogy a megújuló energia felhasználásának jelentősége és értelme van az M5-ös autópálya üzemeltetésében. Az elemzés eredményei alapján a napelempark telepítését engedélyezték Újhartyánon, Kiskunfélegyházán és Balástyán. Elindult az a folyamat, amely a megújuló energia bevezetését eredményezi az autópálya üzemeltetésében, és a jövőben a projekt további bővítésére lehet számítani. A megújuló energia hasznosítását a megtérülés, a környezettudatosság és a vállalat számára nyújtott piaci előny szempontjai alapján vezették be.

Kulcsszavak: megújuló energiaforrások, fenntartható, környezettudatosság, elektromos autó, akkumulátor, napelemrendszer, napelem park, szigetüzemű rendszer, hálózatra visszatermelő rendszer, megtérülés vizsgálat, autópálya, művezető, úttellenőr, technikus

ABSTRACT

This article examines the possible usage of renewable energy in the operation of the M5 motorway, more specifically the possibility of using electric vehicle in motorway operation as well as the installation of solar system at the operation and maintenance centres.

Regarding the electric vehicle usage, a comparative analysis is made focusing on the electric vehicles as opposed to the existing vehicles in the fleet with detailed technical parameters. Based on the analysis of the performance indicators of the vehicles assigned to perform the dedicated tasks, 3 out of 58 vehicles can be replaced with electric vehicles.

With regard to the solar park, insight is given about the type and performance of the system that can be installed at the Operation and Maintenance Centres of M5 Motorway. The technical parameters and the return of the investment are also included.

Summarizing the above detailed considerations, the conclusion is evident that use of renewable energy has significance and meaning in the operation of the M5 motorway. Based on the results of the analysis solar park

installation has been approved in Újhartyán, Kiskunfélegyháza and Balástya. The process has been initiated that will result in the introduction of renewable energy in operation of the motorway and further expansion of the project can be anticipated in the future. Utilization of renewable energy has been introduced based on considerations in terms of return, environmental awareness as well as the market advantage it provides for the company.

Keywords: renewable energy sources, sustainable, environmental awareness, electric vehicle, battery, solar system, solar park, stand-alone system, regenerative system, return on investment, motorway, Foreman, Road Patrol, Technician

Sós Gábor

BME Út és Vasútépítési Tanszék hallgatója, az M5 autópályát üzemeltető A-WAY Zrt. vezérigazgatója.

1. BEVEZETÉS

A közelmúltban Nemzeti Létfonosságú Rendszerelemmé minősítették az M5-ös autópályát, és a koronavírus nehézségei közepette is jelentős erőfeszítéseket tettünk annak érdekében, hogy az autópálya folyamatos üzemét biztosítani tudjuk és megfelelően fertőtlenített pihenőkkel és a korábbiakban is megszokott magas színvonalon karbantartott autópályával vártuk az utazóközönséget. 2022. február 24-ét követően az európai piacon nem egyedülálló módon nyersanyaghiánnyal kellett szembesülnünk. A legjelentősebb tételeket említve, tevékenységünkhöz elengedhetetlen útszóró só és a szalagkorlátok alapanyagát képező acélipari termékek korábban Ukrajnából érkeztek, a folyamatos útellenőri tevékenységünk miatt az üzemanyagárak jelentős változásai is érzékenyen érintenek bennünket.

A jelenlegi energiaválságnak köszönhetően a megújuló energiaforrások használata előtérbe kerül. A fenntartható, innovatív és profitábilis modell megvalósulását célzó konzern-stratégiával összhangban munkatársaimmal folyamatosan elemezzük autópálya üzemeltetői tevékenységünket és keressük az M5 autópálya üzemeltetésében a megújuló energia használatának lehetőségét. Tavaly a BME Út- és Vasútépítési Tanszékének a képzésen vettem részt, és szakdolgozatomat is ebben a témában írtam az „M5 autópálya üzemeltetésében megújuló energia használatának vizsgálata” címmel.

Szakdolgozatomban az elektromos autó autópályaüzemeltetésben történő használatát és a napelemrendszer telepítését az üzemmérnökségekre vizsgáltam. Három szempont a megtérülés, a környezettudatosság, és a jövőben esedékes projekteknél, mint piaci előny a versenytársakkal szemben. A megtérülés számítását 2022-es adatok alapján végeztem el.

2. AZ ELEKTROMOS AUTÓ HASZNÁLATÁNAK VIZSGÁLATA

Az elektromos autó használatának vizsgálata 2021. decemberében kezdődött és továbbra is tart.

Az M5-ös autópályán az 58 járműből álló járműpark tekintetében a teherautókat és az erőgépeket jelenleg nem lehet elektromos járműre váltani. A haszongépjárművek esetében az útellenőri járműveket, a művezetői kishaszongépjárműveket és a technikus járműveket vizsgáltam meg részletesen.

Útellenőri járművek vizsgálata

Az útellenőri szolgálat az autópálya használók számára nyújtott 24 órás szolgáltatás: 6 és 22 óra között két óránkénti, 22 és reggel 6 óra között pedig négy óránkénti ellenőrzés.

A jelenleg üzemelő Renault Master útellenőri autók elektromos üzemű autóra történő cseréje esetén az elsődleges szempont a jelenlegi méretű raktérrel rendelkező és a jelenlegivel azonos terhelhetőségű autó beszerzése. Fontos szempont még, hogy az autó legalább a leghosszabb távot teljesíteni tudja egy töltéssel, valamint az autók akkumulátorainak töltése gyorstöltővel a lehető legkevesebb időt vegye igénybe.

Az útellenőrök számára előírt, az újhartyáni, a kiskunfélegyházi és a balástyai üzemmérnökségekről induló útvonalak elemzése szerint a leghosszabb útvonal 135 km, amit négy óránként kell teljesíteni a

III. műszaknak. Az út megtétele 1 óra 55 percbe telik, az autó utána 2 óra 5 percet áll. Az I. és II műszak által bejárando leghosszabb út egyszerre 73 km. Ezt két óránként kell teljesítenie egy autónak. Az út megtétele 1 óra 10 percbe telik, az autó utána 50 percet áll.

1. táblázat. Renault Master Furgon Z.E, valamint Iveco Daily Electric típusú járművel végzett összehasonlítás.

| Jellemző | Elvárt érték | Renault Master Furgon Z.E. TGK | Iveco Daily Electric | Értékelés |
|---------------|------------------|--------------------------------|----------------------|-----------|
| Raktér mérete | 9 m ³ | 8-15 m ³ | 16 m ³ | + |
| Terhelhetőség | 1386 kg | 1075kg – 1450 kg | 2026 kg | + |
| Hatótáv | 135 km | 197 km | 180 km | + |
| Töltési idő | 50 perc | 3 h | 2 h | - |

A töltési idő a probléma mindkét elektromos autó esetében. Az I. és II. műszak alatti 50 perces állás alatt az autó akkumulátora csak villámtöltővel tölthető fel, de ehhez a telephelyeken komoly átalakítást kell elvégezni, aminek a költsége több szakcéggel történt egyeztetés szerint kb. 16 millió forint.

További hátráltató tényező pl. egy baleset. A baleset vagy más, az autópályán bekövetkezett esemény miatt az útellenőri körök gyakorisága módosulhat. Az útellenőrnek ezeket az eseteket és indokokat adminisztrálni kell. Baleset esetén az útellenőr feladata a helyszínen járműre szerelt jelzések segítségével az autópályát használók tájékoztatása. Az URH rádió, GPS rendszer, fénynyíl, villogófény, nyáron klíma, télen fűtés állás közben és menet közben is működnek és csökkentik a hatótávot.

2021-ben 462 db baleset került regisztrálásra 19 esetben 20 perc és 7 óra 14 perc közötti állásidők is előfordultak.

Az üzembiztonságot és a beruházási költségeket figyelembe véve az a javaslat született, hogy az útellenőr járműveket 2022-ben ne cseréljük elektromos autókra.

Művezetői járművek vizsgálata

Jelenleg a művezetői, a technikus munkakörhöz Renault Kangoo járműveket használunk. Továbbá van egy kulcsos autó, és a tengelysúlymérő állomás vezető is Renault Kangoo járművet használ.

A feladatok hatékony ellátása érdekében a járművekkel a munkavállalók haza mehetnek, így készenlétben azonnal tudnak reagálni az egyes helyzetekre, ezért és az ad-hoc feladatok miatt ezeknek a járműveknek nem kötött az útvonaluk, a megtett út naponta változhat.

A legtöbbet használt művezetői autó a legtöbb téli elhárítással érintett 2021. december hónapban 4232,1 km tett meg. Naponta átlagosan egy művezetői autó 136,5 Km tesz meg, a leghosszabb napi út 2021.12.15 -én adódott, ez 320,2 km volt, ami több, mint az elektromos Kangoo által megtehető hatótáv, amit befolyásol a terhelés, az időjárás és a sebesség is.

Az elektromos Kangoo bevezetésének lehetősége következő paraméterek figyelembevételével:

Renault Kangoo Express Z.E. (ez egy új változat)

- 123 LE motor 45 kWh akkumulátor.
- 3,9 m³ raktér.
- 600 kg-os hasznos teherbírás.
- Átlagos hatótáv 300 km terhelten.

Töltési módok:

- 11 kW váltakozó áram töltési idő 2 óra 40 perc.
- 22 kW váltakozó áram töltési idő 1 óra 30 perc.
- 80 kW egyenáram töltési idő 42 perc.

Az egyik beszállító adatai szerint 90-100 km/h sebesség esetén a fogyasztás 20 kWh/100 km. Nagyobb sebesség és több fogyasztó használata esetén a hatótáv lecsökken.

A művezetői autó töltését munkaidőben lehet megoldani, mert nem várható el a munkavállalótól, hogy otthon töltsen, erre még nem alkották meg a jogi háttérrel a jogalkotók, de információim szerint erre a jövőben sor kerül.

Amint az előzőekben bemutatam, villámtöltő létesítése kb. 16 millió forint beruházást jelentene telephelyenként. Ezt a tulajdonossal egyeztetve nem tudjuk megvalósítani. A továbbiakban az AC töltési lehetőségekben kell gondolkodni, amivel a töltési idő 22 kW esetén 1 óra 30 perc. Ezt azt jelenti, hogy munkaidőben kell ezt a töltést elvégezni, úgy, hogy az üzembiztonságot a meglévő szinten fenntartsuk. Ez munkaidőben nem látszik megoldhatónak.

A következő lépés munkakörnyezetben végrehajtott teszt lenne, de tesztautó hiányában még nem került sor.

- Technikusi járművek vizsgálata

A technikus autó esetében a napi átlagos megtett út 2022. márciusában 124 km, a napi maximum 200 km volt.

A technikus autók esetében az autópálya mentén történő javítás esetén álló helyzetben is van fogyasztás - URH rádió, a flotta rendszer és a fényvillogó. Az áramfelvétel 6,132 A, ami 12 V-os rendszerben 0,07362 kW fogyasztást jelent. Három órás - az autópálya leállósávján álló a technikus autó fogyasztása 0,22 kW, ami a 45 kWh akkumulátor rendszert nem terheli jelentősen.

Lehetőség van a kiegészítő fogyasztókat külön úgynevezett munka akkumulátorral táplálni.

Az autó akkumulátor rendszere képes egy DC-DC konverteren keresztül a töltést biztosítani, amely a nagyfeszültségű akkumulátorban eltárolt energiából tölti a 12 Volt-os akkumulátort. Van már olyan megoldás, hogy járműre szerelt napelemmel töltik a kiegészítő fogyasztókat tápláló 12-Volt-os akkumulátort, de ez a megoldás még nem terjedt el.

Az Újhartyánban levő technikus autó éjszaka a telephelyen marad, ezért ebben az esetben lehetőség van az elektromos Kangoo bevezetésére. Az AC 22 kW -os töltővel el lehet végezni éjszaka 100%-os szintig a töltést. A műszak kezdetekor az autó 100%-os feltöltött állapotban lesz, és a napi munkavégzés megoldható.

- A kulcsos autó és a tengelysúlymérő állomásvezető autója

A meglévő flotta rendszerben a tengelysúlymérő állomásvezető gépjárműve 2831 Km utat tett meg 2021. szeptemberében, a legmagasabb napi futás 276 km volt.

A megvizsgált elektromos autók közül a Dacia nem felel meg az elvárt követelményeknek, nem lehet AC 22 kW teljesítményű töltővel tölteni, ezért a töltési idő 5 h-ra nő, ami nem tervezhető munkaidőben. A 125 km/h maximum sebesség sem autópályás környezetben való használatra ajánlott.

A Renault műszaki paraméterei megfelelőek a tengelysúlymérő állomásvezető előbbiek szerinti futásteljesítményének kielégítéséhez.

A Renault ZOE esetében a hatótáv 395 km. Az adatlap szerint meghatároztak egy nyári és egy téli hatótávot, ez pedig a következő: nyár/tél 300/200. Adataink szerint a tengelysúlymérő állomásvezető autóra, a kulcsos autóra vonatkozóan a téli időszakra nem volt 200 km -nél nagyobb napi futás. Amennyiben a téli időszakban egy nap 200 km-nél nagyobb út megtételére lesz szükség, akkor kalkulálni kell a töltési idővel. Lehetőség van AC 22 kW töltésre, amivel a töltési idő 3 óra. Renault Megane esetében a hatótáv 300 km és a töltés idő is a legalacsonyabb.

Megtérülés vizsgálat

A műszaki paraméterek összehasonlítása alapján megtérülés vonatkozásában tovább vizsgáltam a tengelysúlymérő állomás vezetői -, a kulcsos- és a technikus autót a következő táblázatok szerint:

2. táblázat. Renault Kangoo éves üzemeltetési költség.

| Típus | Km/ év | Fogyasztás [liter] /év | Üzemanyag ár [Ft] | Üzemanyag költség / év [Ft] | Üzemeltetési költség /év [Ft] | Éves összes költség [Ft] |
|-------|--------|------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|-------|--------|------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|

| | | | | | | |
|-------------------------------------------------------|--------|---------|-----|------------------|----------------|------------------|
| Renault Kangoo TENGELYSÚ LYMÉRŐ ÁLLOMÁS VEZETŐ | 28 934 | 2218,9 | 500 | 1 109 450 | 178 213 | 1 287 663 |
| R. Kangoo Kulcsos | 24 904 | 1920,71 | 500 | 960 355 | 616 500 | 1 576 855 |
| R. Kangoo Technikus | 12 551 | 622,88 | 500 | 217 240 | 516 164 | 733 404 |

A töltési költség az elektromos autók évi 28 934 km futásteljesítménye, 300 km hatótáv és 56,29 Ft / kWh 2022 -es szerződött ár figyelembevételével a Zoe esetén 282 307 Ft, Megane esetén 217 159 Ft:

3. táblázat. Elektromos autó üzemeltetési költség.

| Típus | Km/ év | Hatótáv | Áram kWh ár [Ft] | Teljesítmény kWh | Töltés éves költsége /év [Ft] |
|----------------|---------------|----------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Renault Zoe | 28 934 | 300 | 56,29 | 52 | 282 307 |
| Renault Megane | 28 934 | 300 | 56,29 | 40 | 217 159 |

Magyarázat:

$$\left(\frac{28\,934 \times 52}{300}\right) 56,29 = 282\,307$$

A Zoe elektromos autó üzemeltetési költsége az autó adatlapja alapján 120 000 Ft /év, a töltési és az üzemeltetési költség összesen 402 307 Ft / év.

$$120\,000 + 282\,307 = 402\,307$$

A Megane esetén az éves üzemeltetési költség 130 000 Ft/év, a töltési és az üzemeltetési költség összesen 347 159 Ft / év.

Számolás:

$$\left(\frac{28\,934 \times 40}{300}\right) 56,29 = 217\,159$$

Üzemi költség számolás:

$$130\,000 + 217\,159 = 347\,159$$

4. táblázat. Elektromos autó töltési költség.

| | Renault Kangoo tengelysúlymérő állomás vezető | Renault Zoe | Renault Megane |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Éves összes költség [Ft] | 1 287 663 | 402 307 | 347 159 |
| Megtakarítás évente [Ft] | | 885 356 | 940 504 |

Az éves összes költség (üzemanyag és üzemeltetési) összevetése alapján a dízel Kangoo-hoz képest a Zoe esetében 885 356 Ft az éves megtakarítás, míg a Megane vonatkozásában 940 504 Ft /év az üzemeltetési megtakarítás.

A 2022-ben kapott beszerzési árak a következők:

- Renault Kangoo dízel 2022-es beszerzési nettó ára 8 622 020 Ft.
- Renault ZOE e-tech Electric Zen R110 2022-es beszerzési nettó ára 10 266 929 Ft.

- Renault Megane E-tech 2022 beszerzési ára nettó 12 400 786 Ft.

Az alábbi táblázatban összesítem a költségeket és a megtakarításokat:

5. táblázat. Megtérülés Renault Zoe és Renault Megane.

| | Renault Zoe tengelysúlymérő állomás vezető Költségek [Ft] | Renault Megane tengelysúlymérő állomás vezető Költségek [Ft] |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Éves megtakarítás | 885 355 | 875 355 |
| Beszerzési ár közötti különbség | 1 644 909 | 3 778 766 |
| AC 22kW Töltő vezérlő kiépítés tengelysúlymérő állomás vezető | 3 863 470 | 3 863 470 |
| Töltő üzemeltetési díj [év] | 180 000 | 180 000 |
| Megtérülés | [Év] | [Év] |
| Megtérülés töltő nélkül | 1,86 | 4,32 |
| Megtérülés töltő telepítésével | 6,42 | 8,94 |

Kétféle megtérülést határoztam meg:

- Amennyiben az M5 specifikus Renault Kangoo helyett egy alap Renault Zoe kerül beszerzésre a megtérülési idő 1,86 év. Fontos megjegyezni, hogy elektromos töltőt kell telepíteni kb. 4 millió Ft költséggel a Lajosmizse tengelysúlymérő állomás telephelyre ahhoz, hogy folyamatosan biztosítani tudjuk a töltést, biztosítva az elvárt üzembiztonságot. Ezzel a megtérülési idő 6,42 év. Ez egy indikatív kalkuláció, mert a hálózati betáplálást növelni kell a telephelyen és ez további költség, ami a megtérülési időt módosítja.
- A Renault Megane e-tech-re a töltő nélküli megtérülés 4,32 év. Töltővel telepített megtérülés 8,94 év, de ehhez még jön a hálózatbővítés költsége, aminak a költségvonzatát nem tudjuk.

A megtérülést tovább rontja az a tényező, hogy az elektromos autók után az ÁFÁ-t nem lehet visszaigényelni. Ebben az esetben a beszerzés bruttó értékét kell figyelembe venni. Ez a következő:

- Renault ZOE e-tech Electric Zen R110 2022-es beszerzési bruttó ára 13 039 001 Ft.
- Renault Megane E-tech 2022 beszerzési bruttó ára 15 748 998 Ft.

Az elektromos autók bruttó beszerzési árával számított megtérülés a Renault Zoe esetén töltő telepítése nélkül 4,99 év, AC töltő telepítéssel 9,56 év. Renault Megane E-tech esetén AC 22 kW töltő telepítése nélkül 8,14 év -, AC töltő telepítésével 12,76 év a megtérülési idő.

A kulcsos autó esetében a fenti számítás alapján a következő eredmények születtek:

- Ha Renault Megane E-tech elektromos autót tervezünk használni kulcsos autó helyett, akkor a megtérülési idő AC töltő telepítéssel 12,34 Év. Fontos megjegyezni, hogy az újhartyáni telephelyen van a kulcsos autó és a technikus autó is. Erre a telephelyre az AC 22 kW töltő telepítési költsége kb. 2 millió Ft, az éves üzemeltetési költséggel együtt.
- Renault Zoe esetén a megtérülési idő AC töltővel számítva 8,59 év. AC töltő nélkül 5,84 év.

Előnyök

- Az elektromos autók esetében a fenntartási költségek alacsonyabbak hagyományos társaikhoz viszonyítva.

- Szervizköltsége elhanyagolható, hiszen pl. nincs szükség a kötelező motorolaj és szűrői cserére. Továbbá az elektromos motorfék miatt a "motor" fék használatával, ami igen jelentős, a fékek csereintervalluma is jelentősen megnő.
- Az akkumulátorokra 7-8 év gyári garancia van.
- A Magyarországon kivetett adók közül mentesül az átírási illeték, a regisztrációs adó, a gépjármű adó és cégautó adó alól, valamint a főváros teljes területén ingyenes a parkolás annak, aki ezt a haladó technológiát használja.
- A kereskedelmi forgalomban kapható járművek közül egyedül az elektromos autók nem bocsátanak ki közvetlenül káros anyagot. Viszont az elektromos áram előállítása során keletkezhet káros anyag. Nem illik figyelmen kívül hagyni, hogy az elektromos áram – ami az elektromos autók üzemanyaga – előállítása során azért keletkezhet káros anyag, aminek mennyisége az előállítás módjától függ. Az M5 esetében pozitív befolyásoló tényező, ha napelem park kerül telepítésre a telephelyekre, mert az így előállított elektromos áram egy része felhasználható az autók töltéséhez. Összességében elmondható, hogy az elektromos autók jóval kevesebb szén-dioxidot bocsátanak ki, mint a belső égésű motorokkal rendelkező járművek.
- ***A kibocsátás még kisebb lehet, ha megújuló erőforrásból származó áramot használunk az autók töltéséhez.*** Jelenleg vizsgáljuk a napelem telepítésének lehetőségét Újhartyánban, Kiskunfélegyházán és Balástyán.

Hátrányok

- A gyors töltéshez töltőállomás telepítésre van szükség, ami plusz beruházást jelent.
- Más szemlélettel kell használni a benzines vagy a dízel autókhoz képest. Fontos, hogy állás közben töltőn legyen az autó. Az utazás során folyamatosan meg kell tervezni azt, hogy hol van töltési lehetőség. Ha parkol az autó, akkor célszerű olyan helyen parkolni, ahol lehetőség van tölteni az autót.
- A megtérülési idő a bruttó elszámolás miatt a Renault Kangoo dízelhez képest kitolódik úgy, hogy közben lejár az akkumulátorok garanciális időszaka.
- Töltőállomásokat kell telepíteni, ehhez a hálózatot át kell alakítani.

Összességében: az újhartyáni technikus járművet gazdaságos elektromos Kangoo-ra, vagy azzal egyenértékű járműre cserélni. A tengelysúlymérő állomásvezető és a kulcsos autót teszt jelleggel lehet más típusú elektromos személyautókra cserélni. Ezzel a vállalat előre lép a környezet tudatosságban, és piaci rést, piaci előnyt is realizálhat a jövőben más projektek megpályázásánál.

Az elektromos autó használata többlet energia növekedést jelent az egyes telephelyeken, de ennek a fogyasztásnak egy részét kompenzálja a telepíthető napelem rendszer, amit a következő részben mutatok be.

3. NAPELEMRENDSZER TELEPÍTÉS VIZSGÁLATA AZ ÜZEMMÉRNÖKSÉGEKRE

A napelemek esetében a kétféle megoldási rendszer a szigetüzemű, valamint a hálózatra visszatápláló rendszer.

Szigetüzemű napelem rendszert olyan helyekre telepítenek, ahol vételezhető elektromos áram nem áll rendelkezésre. Az M5 autópályán már működnek szigetüzemű napelem rendszerek, amelyek az elektromos rendszereket, pl. a segélykérő rendszert működtetik. A segélykérő rendszer esetében a napelemes sziget üzemmód megfelelően működik, nem volt tápellátási probléma az évek során. A forgalomszámláló és a meteorológia állomások egy része működött sziget üzemmódban napelemről. A tápellátás ugyancsak megfelelően működött. Az állomásokat az évek során lehetőség szerint elektromos hálózatra kötöttük, mert folyamatosan eltulajdonították az akkumulátorokat. Összességében elmondható, hogy a sziget üzemmód hasznos az autópálya mentén ott, ahol kifizogasztók vannak.

A hálózatra visszatermelő rendszerben – az előzővel szemben - nincs akkumulátor, a hálózat látja el ezt a szerepet. A napsütéses időszakban az energiát a hálózatba tápláljuk, a napfényben szegény időszakban pl. éjszaka vagy este a hálózatból nyerjük az energiát. Lehetőség van úgy méretezni a napelem rendszert, hogy az éves igény akár 100%-a lefedhető. A szolgáltatóval történő egyeztetés alapján két megoldás van, az egyik az éves elszámolás, a másik a havi elszámolás.

Az M5 autópálya telephelyein Újhartyánban, Kiskunfélegyháza és Balástya a hálózatra visszatápláló rendszerben lehet gondolkodni.

Vizsgálandó, hogy a telepítés lehetősége (van-e felület, ahová telepíthető a rendszer, mekkora rendszer kell az egyes telephelyekre, milyen paraméterekkel rendelkeznek a mérnökségek) és a megtérülés.

Kiinduló adatok:

6. táblázat. Lekötött teljesítmény.

| | Újhartyán | Kiskunfélegyháza | Balástya |
|--------------------|-------------|------------------|------------|
| Lekötött áramigény | 3x80A | 3x160 A | 3 x 100 A |
| Éves fogyasztás | 132 540 kWh | 66 659 kWh | 86 304 kWh |

Az elhelyezkedéshez figyelembe kell venni a tájolást, és az elektromos hálózat kialakítását is. A fenti fogyasztási adatok alapján a telephelyekre a háztartási kiserőművet lehet telepíteni, a továbbiakban a rövidített HMKE nevet használom. A HMKE esetén a belső hálózaton el nem fogyasztott villamos energiát a kereskedő köteles átvenni. A termelt megengedett maximális teljesítmény 50kVA, e-fölött nem lehet HMKE rendszert telepíteni. 3x80 A felett havi elszámolás van, alatta pedig éves.

Újhartyán

A telephelyen található irodaépület, műhely és garázs épület, sótároló, és nyitott szín. A telephelyi adottságokat figyelembe véve kell a leoptimalisabb elhelyezkedést megtalálni. Törekedni kell arra, hogy egyik napszakban se vetüljön árnyék a napelemekre, ez ugyanis teljesítmény csökkenéshez vezet. Fontos a déli tájolás és a 35-40 fokos dőlésszög. Ezzel lehet a legtöbb energiát megtermelni éves viszonylatban.

Újhartyánban volt olyan verzió, ahol a napelemek a garázs műhely épületen kerülnek elhelyezésre, másik lehetőségként egy osztott rendszert javasoltak - a napelem park fele a nyitott szín tetejére a másik fele a garázs épület tetejére lett tervezve. A zöld területre történő telepítés el lett vetve, mert nincs elegendő szabad négyzetméter terület. Az irodaépületre nem előnyös telepíteni a napelemeket, mert nagy a távolsága a főelosztó és a garázs épület között. Ebben az esetben új kábel telepítésére van szükség és ez hátrányt jelent a költségek tekintetében. A garázs épületen túl sok akadályozó tárgy van, pl. bevilágító. A sótároló tetőkialakítása nem alkalmas erre a feladatra.

Végül a nyitott szín bizonyult az ideálisnak a napelempark telepítésére.

A vállalkozó által javasolt megoldás szerint Újhartyánba a nyitott szín tetejére 136 db napelemet kell telepíteni. Ez 51,68 kW DC teljesítményt, 45 kW AC teljesítményt és 61,91 MWh éves energiatermelést jelent. Az éves fogyasztás 132.54 MWh.

A nyitott színhez 300 méter hosszú 3 x 90 mm² keresztmetszetű alumínium kábel megy. A méretezés alapján ezen a kábelen nem lehet a napelem által előállított maximum teljesítményt áthajtani, ezért került betervezésre 136 db napelem, amivel az 50 kW-os rendszer helyett 45 kW -os rendszer kerül kialakításra. A termelés egész évben alatta marad a fogyasztásnak, azaz itt az éves fogyasztást a HMKE rendszerrel nem lehet 100 %-ban lefedni.

A lenti ábrán látható a napelemek elhelyezésének terve.



1. ábra. Napelemek elhelyezési terve, Újhartyán.

Kiskunfélegyháza

A telephelyen szintén van sótároló, iroda épület, garázs, műhely épület és nyitott szín. Ezek az épületek kerültek vizsgálat alá az elhelyezkedés szempontjából.

Kiskunfélegyházán is két verzió született a napelemek elhelyezésére, az egyik a sótároló, a másik a garázs és a nyitott szín. A sótároló nem alkalmas, mert az elektromos kábelt ki kellene cserélni és ez megnöveli a költségeket. A főelosztó a garázs épületben van, így a tájolás és a kiépítés szempontjából a legoptimálisabb hely a nyitott szín és a garázs épület tető.

A tetőszerkezet esetében elindult egy statikai felmérés, folyamatban van a megerősítés, javítás tervezése. A teherbírás számításhoz figyelembe kell venni 1 db napelemnek a súlyát, ami az adattáblája szerint 25.3 kg +/- 3%.

143 db napelem kerül telepítésre a nyitott színre és a garázs épület tetejére elosztva, ezzel maximum 54,34 kWp DC teljesítmény, 48,72kW AC teljesítmény érhető el. Az éves energiatermelés 71,62 MWh, az éves fogyasztás 62,9 MWh. Az éves energiatermelés és fogyasztás havi eloszlásának vizsgálata során az látható, hogy áprilistól szeptember végéig többlet termelés van, októbertől március végéig pedig alul marad a termelés a fogyasztáshoz képest.

A lenti ábrán látható a napelemek elhelyezésének terve.



2. ábra. Napelemek elhelyezési terve, Kiskunfélegyháza.

Balástya

Sótároló, irodahelyiség, műhely és garázsépület, valamint nyitott szín található a telephelyen. Itt a sótároló tetőre lettek betervezve a napelemek. A tájolás megfelelő, a főelosztó a garázs és a műhely épületnek a sótároló felőli részén található, az út alatt a védőcsövezés rendelkezésre áll a kábelek behúzásához.

A telepítésre tervezett 158 db pannellel maximum 60.04 kWp DC -, 59.15 kW AC teljesítmény érhető el. Az éves energiatermelés 78,32 MWh; az éves fogyasztás 86,3 MWh. Az éves fogyasztás és a termelés

havi kimutatásának elemzése során látható, hogy áprilistól szeptember végéig többlet termelés van, októbertől március végéig pedig alul marad a termelés a fogyasztáshoz képest.

A lenti ábrán látható a napelemek elhelyezésének terve.



3. ábra. Napelemek elhelyezési terve, Balástya.

A fentiekben bemutatott paraméterek alapján műszaki szempontból a telephelyeken megvalósítható a napelem park telepítése. A figyelembe vett, a 2021-es évben hatásfok szempontjából a legelterjedtebb panel típus: JAM 72S03 360 -380 PR, a panelek névleges teljesítménye 380 Wp. A mono napelemek PERC technológiával készülnek.

A napelem park település megtérülés számítása

A megtérülés számításhoz nagyon fontos paraméter az áram ára, pontosabban 1kWh költség. A bekerülési költség 2020-ban 21,49 HUF/ kWh, 2022-ben 56,29 HUF/kWh és azóta is tovább nőtt. Többek között ez a jelentős energia ár növekedés késztetett arra, hogy megvizsgáljam a napelem telepítésének lehetőségét.

Újhartyán mérnökség esetében a következő ábra szerint alakul a megtérülés.

Újhartyán napelem kWh kimutatás

7. táblázat. Újhartyán napelem kWh kimutatás.

HMKE Újhartyán OMC 51,68 kWp

| Hónap | Solar-energy termelés (kWh) | Fogyasztás (kWh) | Fogyasztás különbség (kWh) | Többlet termelés (kWh) |
|-------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------|
| Január | 1 750 | 11045 | 9 295,000 | 0 |
| Február | 3 050 | 11045 | 7 995,000 | 0 |
| Március | 5 100 | 11045 | 5 945,000 | 0 |
| Április | 6 590 | 11045 | 4 455,000 | 0 |
| Május | 8 020 | 11045 | 3 025,000 | 0 |
| Június | 8 220 | 11045 | 2 825,000 | 0 |
| Július | 8 480 | 11045 | 2 565,000 | 0 |
| Augusztus | 7 330 | 11045 | 3 715,000 | 0 |
| Szeptember | 5 670 | 11045 | 5 375,000 | 0 |
| Október | 4 080 | 11045 | 6 965,000 | 0 |
| November | 2 060 | 11045 | 8 985,000 | 0 |
| December | 1 580 | 11045 | 9 465,000 | 0 |
| SUM: | 61 930 | 132 540,000 | 70 610,000 | 0 |

Újhartyánban 51,68 kWp rendszer telepíthető, az ábrán látható havi lebontásban a fogyasztás és a termelés. A napelem termelt érték 61.930 kWh, ez nem fedei le az éves fogyasztást, ami 132,540 kWh. A különbség 70 610 kWh.

A pénzügyi paraméterek a következők:

8. táblázat. Újhartyáni pénzügyi paraméterek.

| Pénzügyi paraméterek | HUF |
|-----------------------------------------------|---------------|
| Energia Költség (HUF/kWh) | 56,29 |
| Beruházás költsége (HUF) | 12 627 711,00 |
| Éves megtérülés | 3 486 039,7 |
| ROI befektetés arányos megtérülés 20 év (HUF) | 57 093 083,0 |

Újhartyán pénzügyi paraméterek

A beruházás költségét többkörös árajánlatadás, és bejárás, egyeztetés során kaptam meg. Az éves megtérülés összegét úgy számoltam ki, hogy az összes (SUM) termelést megszoroztam az 1kWh energia költségével. Ez számszerűsítve:

$$61\,930 \times 56,29 = 3\,486\,039,7$$

A beruházási költséget évente csökkentve az éves megtérülés költségével 20 éven keresztül, akkor a ROI befektetés arányos megtérülés kb. 57 millió HUF lesz a fenti táblázat szerint.

Újhartyán napelem megtérülés

9. táblázat. Újhartyán napelem megtérülés.

| HUF |
|--------------------|
| -9 141 671,3 |
| -5 655 631,6 |
| -2 169 591,9 |
| 1 316 447,8 |
| 4 802 487,5 |
| 57 093 083,0 |

A táblázatban bemutatom, hogy mikor megy át negatívból plusz értékbe a befektetés arányos megtérülés. Ez a számítás szerint negyedik évben történik meg, ezt kiemeltem a táblázatban. A megtérülési idő 4 év Újhartyán esetében

Kiskunfélegyházán a telepíthető rendszer teljesítménye 54,3 kWp, az éves összes termelés 71 630 kWh, az éves fogyasztás 62 895 kWh. Látható, hogy több a termelés, mint a fogyasztás, áprilistól szeptemberig a többlet termelés 23 967 kWh, amit havonta el kell számolni a szolgáltatóval - a havi szaldóban kiváltható érték az összesen megtermelt érték és a többlet termelés különbsége, ami 47 663 kWh. A kWh termelés és fogyasztás kimutatása adatai alapján mutatom be a megtérülés számítását. Az újhartyáni átalány díjas elszámolással szemben, Kiskunfélegyházán a havi tényleges fogyasztás alapján havi elszámolás érvényesül.

Kiskunfélegyháza napelem kWh kimutatás

10. táblázat. Kiskunfélegyháza napelem kWh kimutatás.

HMKE Kiskunfélegyháza OMC 54,3kWp

| Hónap | Solar-energy termelés (kWh) | Fogyasztás (kWh) | Fogyasztás Többlet különbség (kWh) | termelés (kWh) |
|-------------|-----------------------------|-------------------|------------------------------------|----------------|
| Január | 2 760 | 7581 | 4 821,000 | 0 |
| Február | 3 870 | 6240 | 2 370,000 | 0 |
| Március | 5 940 | 6225 | 285,000 | 0 |
| Április | 7 760 | 4169 | 0,000 | 3 591 |
| Május | 8 670 | 4425 | 0,000 | 4 245 |
| Június | 9 020 | 3693 | 0,000 | 5 327 |
| Július | 9 260 | 4678 | 0,000 | 4 582 |
| Augusztus | 7 910 | 3696 | 0,000 | 4 214 |
| Szeptember | 6 450 | 4442 | 0,000 | 2 008 |
| Október | 4 950 | 6200 | 1 250,000 | 0 |
| November | 2 890 | 5352 | 2 462,000 | 0 |
| December | 2 150 | 6 194 | 4 044,000 | 0 |
| SUM: | 71 630 | 62 895,000 | 15 232,000 | 23967 |

A megtérülés számításnál figyelembe vettem a pénzügyi paramétereket. A beruházás költségét árajánlat alapján írtam be. Az éves megtérülés számításnál a termelés oszlopból január, február, március, október, november, december cellát vettem figyelembe. Az április, május, június, július, augusztus, szeptember hónap esetében a fogyasztás cellában levő értékekkel számoltam, ez megegyezik a havi szaldóban kiváltható értékkel. Ez a havi termelés fogyasztás kimutatás alapján történik. Így az éves megtérülés a havi szaldóban kiváltható érték szorozva az energia költséggel.

A pénzügyi paraméterek következők:

11. táblázat. Kiskunfélegyháza pénzügyi paraméterek.

| Pénzügyi paraméterek | HUF |
|-----------------------------------------------|---------------|
| Energia Költség (HUF/kWh) 2022-ben | 56,29 |
| Beruházás költsége (HUF) | 12 896 078,00 |
| Éves megtérülés | 2 682 950,27 |
| ROI befektetés arányos megtérülés 20 év (HUF) | 40 762 927, 4 |

Kiskunfélegyháza pénzügyi paramétere

Magyarázat a havi szaldóban kiváltható értékhez: A 12. táblázatban a Solar energy termelés (kWh) oszlop értékének összege 71 630 kWh, ez az összes termelés. Ebből kell kivonni a többlet termelést, ami a szolgáltató felé kerül elszámolásra. Ezt a többlet termelés oszlop szerint 23 967 kWh. A két érték különbsége adja a havi szaldóban kiváltható értéket.

$$71630 - 23967 = 47663$$

A táblázatban kiemelttem a hónapokat, ami alapján a havi szaldóban elszámolásra kerül. A többlet termeléssel nem számolok a megtérülésnél, csak a kWh értékkel, amit a napelem megtermel. A kijelölt hónapok kWh összegét kell figyelembe venni ebben az esetben, mert Kiskunfélegyházán nem átalány fizetés van. A kijelölt hónapok összege **47 663 kWh**.

12. táblázat. Magyarázat havi szaldó értékhez.

HMKE Kiskunfélegyháza OMC 54,3kWp

| Hónap | Solar-energy termelés (kWh) | Fogyasztás (kWh) | Fogyasztás különbség (kWh) | Többlet termelés (kWh) |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------|------------------------|
| Január | 2 760 | 7581 | 4 821,000 | 0 |
| Február | 3 870 | 6240 | 2 370,000 | 0 |
| Március | 5 940 | 6225 | 285,000 | 0 |
| Április | 7 760 | 4169 | 0,000 | 3 591 |
| Május | 8 670 | 4425 | 0,000 | 4 245 |
| Június | 9 020 | 3693 | 0,000 | 5 327 |
| Július | 9 260 | 4678 | 0,000 | 4 582 |
| Augusztus | 7 910 | 3696 | 0,000 | 4 214 |
| Szeptember | 6 450 | 4442 | 0,000 | 2 008 |
| Október | 4 950 | 6200 | 1 250,000 | 0 |
| November | 2 890 | 5352 | 2 462,000 | 0 |
| December | 2 150 | 6 194 | 4 044,000 | 0 |
| SUM: | 71 630 | 62 895,000 | 15 232,000 | 23967 |
| Havi Szaldóban kiváltható: | 47 663 | | | |

$$47663 \times 56,29 = 2\,682\,950$$

A táblázat alapján a beruházási költséget évente csökkentem az éves megtérülés értékével és így a befektetéssel arányos megtérülés (ROI) 40 762 927,4 HUF 20 éves ciklus alapján.

Kiskunfélegyháza megtérülés

13. táblázat. Kiskunfélegyháza megtérülés.

| ÉV | HUF |
|----------|-------------------|
| 1 | -10 213 127,73 |
| 2 | -7 530 177,460 |
| 3 | -4 847 227,19 |
| 4 | -2 164 276,92 |
| 5 | 518 673,35 |
| 20 | 40 762 927,4 |

A táblázatban látható, hogy negatívból plusz értékre az ötödik évben vált át a meglévő adatok alapján. A megtérülési idő 5 év Kiskunfélegyháza esetében.

Balástya esetében is a fenti logika mentén készítettem el a megtérülés számítását. 60kWp rendszer telepítése került betervezésre, az éves fogyasztás 83 304 kWh, a rendszer által megtermelt energia 78 320 kWh. Ebből a havi szaldóban kiváltható érték 62 531 kWh. A számítások alapján az eredmények a következő táblázatban találhatóak:

Balástya pénzügyi paraméterek

14. táblázat. Balástya pénzügyi paraméterek

| Pénzügyi paraméterek | HUF |
|-----------------------------------------------|-----------------|
| Energia Költség (HUF/kWh) 2022-ben | 56,29 |
| Beruházás költsége (HUF) | 14 219 252 |
| Éves megtérülés | 3 519 852 |
| ROI befektetés arányos megtérülés 20 év (HUF) | 56 177 798, 802 |

A beruházási költséget évente csökkentem az éves megtérülés értékével és így a befektetéssel arányos megtérülés (ROI) 56 177 798, 802 HUF 20 éves ciklusra vonatkoztatva.

Balástya megtérülés

15. táblázat. Balástya megtérülés.

| ÉV | HUF |
|----------|----------------------|
| 1 | -10 699 399,460 |
| 2 | -7 179 546,920 |
| 3 | -3 659 6947,380 |
| 4 | -139 841,84 |
| 5 | 3 380 010,701 |
| 20 | 56 177 798,802 |

A táblázatban látható, hogy negatívból plusz értékre az ötödik évben vált át a meglévő adatok alapján. A megtérülési idő 5 év Balástya esetében.

Összefoglalva: Újhartyán autópálya mérnökségen a rendszer telepítésének megtérülése 4 év, Kiskunfélegyházán és Balástyán 5 év. Mivel nem várható, hogy a jövőben az energia árak, így az áram 1kWh/HUF ára csökkenjen, ezért javasolt a megvizsgált napelem rendszerek telepítése.



Magas visszanyert aszfalt tartalmú aszfaltkeverékek műszaki feltételei

Tóth Csaba¹, Pethő László²

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Út és Vasútépítési Tanszék

² Fulton Hogan Infrastructure Services, 180 Burnside Road, Ormeau, 4208, QLD, Australia

E-mail: toth.csaba@emk.bme.hu

DOI: [10.36246/UL.2023.1.05](https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.05)

KIVONAT

Egyrészt a gazdaságot, ezen belül az építőipart és az aszfaltgyártást közvetlenül is érintő energiahatékonysági kérdések, illetve károsanyagkibocsátás csökkentési elvárások, másrészt a visszanyert aszfalt újhasznosítására vonatkozó hazai szabályozás küszöbön álló átalakítása indokolja, hogy az aszfaltkeverékek újrahasznosítás kapcsán felmerülő kérdéseket átfogó cikkben tekintsük át.

A cikk célja annak hangsúlyozása, hogy a környezetvédelmi, műszaki és gazdasági értelemben sikeres visszanyert aszfalt újrahasznosítás olyan komplex rendszer kialakítását és precíz működtetését igényli, amelynek főbb elemei: *megfelelő kiírás - visszanyerés - tárolás - kezelés - tervezés - gyártás - kivitelezés - monitoring*.

Az alábbiakban ugyan eltérő kidolgozottsággal, de egységes szemlélettel igyekszünk áttekinteni a visszanyert aszfalt tartalmú keverékek gyártásának legfontosabb feltételeit, a fenti elemek közül a visszanyeréstől a gyártásig tartó szakaszra összpontosítva.

Ennek értelmében a visszanyert aszfalt feldolgozása és keveréktervezése mellett hangsúlyosan foglalkozunk a depóniamenedzsment fontosságával, illetve a gépészeti megoldásokról is általános áttekintést adunk. A hazai gyakorlat számára hasznosnak vélt nemzetközi tapasztalatok megosztása mellett, végül az érvényes és a tervezett magyar műszaki szabályozás néhány sarkalatos pontjáról is véleményt formálunk.

Kulcsszavak: visszanyert aszfalt, keverőtelepi felhasználás, magas RA adagolás, keveréktervezés, RA depóniamenedzsment

ABSTRACT

Asphalt recycling has been an important topic worldwide to address high energy consumption and save natural resources in hot mix asphalt production for road construction. While the use of reclaimed asphalt (RA) has been growing in Europe and other parts of the world, its application has been very limited in Hungary. Environmental requirements are getting stricter and there is an ongoing need for reducing greenhouse gases (GHG), therefore this paper discusses and summarizes the main elements of the complex system around asphalt recycling in hot mix asphalt manufacturing. Details are provided on asphalt mix design, asphalt plant capability and RA stockpile management in a practical manner to raise awareness of the topic and provide details for the wider industry.

Keywords: reclaimed asphalt, asphalt plant applications, high proportion RA, asphalt mix design, RA stockpile management

Dr. Tóth Csaba

A Magyar Mérnöki Kamara, a Közlekedéstudományi Egyesület, a Magyar Útügyi Társaság tagja, jelenleg az BME Út és Vasútépítési Tanszék docense. Korábban a Csongrád Megyei Állami Közútkezelő Kht., illetve az Állami Közúti Műszaki és Információs Kht. osztályvezetőjeként a magyar útügyi adminisztrációban dolgozott. Később a Strabag Konzern mérnökeként részt vett az épülő hazai országos közúthálózat minőségellenőrzésében, valamint a Konzern nemzetközi és hazai kutatásaiban. Közlekedési építőmérnöki szakértőként, tervezőként, illetve műszaki ellenőrként közreműködött számos hazai burkolat-megerősítési projektben. Kutatási területe: hajlékony útpályaszerkezetek igénybevétele, méretezése, teherbíró-képessége, megerősítése. Publikációinak száma: több mint 100.

Dr. Pethő László

PhD, MSc, okl. építőmérnök, több mint 20 éves szakmai tapasztalatát az aszfaltútépítésben és kutatásban Magyarországon és Európában, valamint Ausztráliában szerezte. Ipari kutatás-fejlesztési munkái során nagy teljesítményű aszfaltok tervezésével és azok pályaszerkezet-ben való viselkedésével foglalkozik.

1. ELŐZMÉNYEK

Az aszfalt pályaszerkezetből visszanyert aszfalt (reclaimed asphalt - RA, vagy reclaimed asphalt pavement - RAP) keverőtelepi újra hasznosításának kérdése hazánkban is évtizedek óta az érdeklődés homlokterében áll, de annak mértéke Magyarországon és a régióban sajnos még napjainkban is minimális. Az útfelújítások jelentős hányadában az elbontott pályaszerkezeti aszfaltrétegekből marással vagy bontással visszanyert aszfaltot az útépités csupán burkolatalapba vagy padkába beépítve használja fel. Jelentős mennyiség halmozódott fel az elmúlt évtizedek alatt a mérnökségi telepeken is, amelyek jövőbeli sora nem ismert. Ez az eljárás nemzetgazdaságilag kedvezőtlen megoldást jelent, ugyanis törekedni kellene arra, hogy az újrahaznosítható anyagok a teljesítőképességüknek megfelelő lehető legmagasabb műszaki színvonalú rétegekben kerüljenek felhasználásra infrastrukturális beruházások kapcsán. Ennek a problémának a legkézenfekvőbb megoldása a visszanyert aszfalt hozzáadagolásával készült aszfaltkeverékek használata.

A visszanyert aszfalt hozzáadásával készített keverékek fő nemzetgazdasági és környezetvédelmi előnyei: az elsődleges nyersanyagok (zúzottkő) kitermelésének csökkentése, egyéb alapanyagok (kötőanyag, adalékanyag) mennyiségének csökkentése, szállítási költségek és ezáltal a karbonlábnyom minimalizálása, annak megannyi környezetkímélő tulajdonságával egyetemben. Ennek pozitív hatását pedig ma már nem is kell külön hangsúlyozni.

Magyarországon szinte az összes aszfaltkeverő telep fel van szerelve a visszanyert aszfalt adagolásához szükséges technológiával (jellemzően a keverő teknőbe való közvetlen adagolással), de ott is, ahol ez lehetséges, a legtöbb esetben keverékenként a technológiai határ mindössze legfeljebb 10-15%-os visszaadagolási arány. A kismértékű visszaadagolási lehetőség miatt azonban a visszanyert aszfalt megfelelő előkészítésére gyakran kisebb figyelem irányul, ami gyakran okoz minőségi problémákat, és a visszaadagoláshoz, sajnálatos módon, negatív sztereotípiákat kapcsol. Ezen előítéletek leküzdése még ma is fontos feladat.

Az EU a visszanyert aszfalt keverőtelepi felhasználását javasolja, fejlettebb országokban a visszaadagolási arány a hazai gyakorlatnál lényegesen magasabb, jellemzően átlagosan 30% feletti, projekt szinten pedig ettől jelentősen magasabb is lehet. Ennél a magasabb visszaadagolási aránynál már látványosan kirajzolódnak a visszaadagolásban rejlő előnyök, amelyek nemcsak környezetvédelmi és energetikai oldalon számszerűsíthetőek, de – a pusztán elsődleges nyersanyagokból álló keverékekhez képest – a gyártott keverék műszaki paraméterei is javulhatnak.

A probléma súlyát azonban jól mutatja, hogy az M1-es autópálya rehabilitációja – és várhatóan a jövőben egyéb autópályák és gyorsforgalmi utak felújítása – során keletkező nagy mennyiségű, visszanyert aszfalt hasznosításának módja is kérdéses. Erre a problémára is választ keresve, kutatásfejlesztési projekt keretében foglalkoztunk a magas visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverékek gyártásának gépészeti kérdéseivel, a mart aszfalt szükséges előkészítésének,

feldolgozásának és tárolásának feltételeivel (RA depóniamenedzsmen), a nagytömegű gyártás, a keveréktervezés, illetve a beépítés vizsgálatával.

A nagyobb arányú visszanyert aszfaltot tartalmazó keverékek, az alapvető célkitűzések szerint, ugyanolyan teljesítménnyel rendelkeznek, mint a visszanyert aszfalt nélkül gyártott keverékek, azonban elviekben alacsonyabb áron lehet előállítani. Jelen cikkben ugyan csak az egyenértékűséget hangsúlyozzuk, azonban mind a kutatási eredmények, mind pedig nemzetközi gyártási és beépítési tapasztalatok azt igazolják, hogy mintegy 30 %-os visszaadagolási arány felett, a visszanyert aszfaltból előállított, megfelelően tört és osztályozott frakciók felületén maradt bitumennek (is) köszönhetően, megjavul a kötőanyag tapadása, így a keverék vízállóság és merevsége is. Ugyanakkor a régi bitumen kedvezőtlen hatásait ellensúlyozandóan, alkalmazott lágyabb bitumennek köszönhetően jobb a fáradás és érzékelhetően kedvező irányba változik a bedolgozhatóság is. A sikeres felhasználás előfeltétele a rutinszerű aszfaltgyártásnál megszokottól gondosabb folyamatmenedzsmen.

Általánosságban megfogalmazható, hogy az aszfalt újrahasznosítás főbb, mérhető előnyei az alábbiak:

- az új bitumen fogyasztásának minimalizálása,
- az új zúzalék és mészköliszt felhasználási arányának csökkentése,
- alacsonyabb energiaköltségek (összességében, a teljese folyamatra nézve),
- a környezet csökkenő terhelése,
- változatlan aszfaltminőség, ellenőrzött körülmények között.

A cikk bemutatja, hogy a visszaadagolás számos paraméter függvénye, és kitér a visszanyert aszfalt szükséges előkészítésének, feldolgozásának és tárolásának feltételeire, továbbá a keverőteleppel szemben támasztott követelményekre is, a felhasználási arány függvényében. Amennyiben az RA-t tartalmazó aszfaltkeverékek tervezése és gyártása megfelelő módon történik, akkor teljesítményüket tekintve egyenértékűek az ugyanolyan típusú visszanyert aszfaltot nem tartalmazó melegen hengerelt aszfaltkeverékekkel. A nagy RA-tartalmú aszfaltkeverékek egyenértékűségére nem tér ki, arról bővebben korábbi írásokból lehet tájékozódni, amelyek eloszlatják azon kételyeket, hogy a magas RA-tartalmú keverékek alacsonyabb teljesítménnyel rendelkeznek [1, 2].

Az energiafelhasználás szempontjából rendszerszemléletben tekintve az útépítést, kitűnik, hogy az aszfalt újra hasznosításánál (recycling) magasabb szintű megoldást jelent a hulladék keletkezésének megelőzése (avoid). Ezt hosszú élettartamú pályaszerkezetek tervezésével és építésével lehet elérni. Ebben az esetben, bár nagyobb lehet a kezdeti bekerülési költség, a teljes életciklus alatt nem, vagy csak minimális mértékben keletkezik hulladék, ezzel a teljes hulladékegyenleg ekkor lesz a legkevesebb. A közvetkező opció az újra felhasználás (reuse), de ez az aszfaltútépítésben nemigen értelmezhető. Az újrahasznosítás, a régi aszfalt feldolgozása után új aszfaltba való beadagolása, már annál inkább. Az aszfalt a világon a legnagyobb mértékben újra hasznosított építési anyag, és mivel 100 %-ban újra hasznosítható, nagy valószínűséggel az is marad.

Németország és Franciaország hatalmas mennyiségű, 11,6 millió tonna, illetve 6,0 millió tonna aszfaltot hasznosít újra évről évre, mégpedig keverőtelepi melegaszfalt gyártása során. Magyarországon ez a szám 157 ezer tonna, ami a teljes aszfaltgyártásunk átlagosan 3.2%-a. Az átlagos újrahasznosítás Németországban 25.6%, míg Franciaországban 12.8% volt 2021-ben [3]. Az 1. táblázat közli még Ausztria (10.5%), valamint az Egyesült Államok (21.9%) mennyiségeit és arányait is [4]. Érdekesség, hogy Japánban 2014-ben 55 millió tonna aszfaltot gyártottak, ahol az átlagos RA-felhasználás 47% volt [5].

1. táblázat. Aszfaltgyártás és RA felhasználás egyes országokban 2021-ben.

| Ország | Az elérhető RA mennyisége (t) | Az elérhető RA %-os felhasználása az aszfaltgyártásban | Összes RA felhasználás az aszfaltgyártásban (t) | Teljes aszfaltgyártás (t) | Átlagos RA felhasználás az aszfaltban (%) |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| Magyarország | 160,000 | 98 | 156,800 | 4,900,000 | 3.2 |
| Németország | 11,600,000 | 84 | 9,744,000 | 38,000,000 | 25.6 |
| Franciaország | 6,042,000 | 76 | 4,591,920 | 35,900,000 | 12.8 |
| Ausztria | 900,000 | 85 | 765,000 | 7,300,000 | 10.5 |
| Egyesült Államok | N/A | N/A | 94,600,000 | 432,000,000 | 21.9 |

A magas RA-felhasználás rendszerszintű gondolkodást igényel, beleértve a pályaszerkezeti aszfaltrétegek és azok bitumen típusának megválasztását is. Például, a németországi útépités, a magyarországi gyakorlattal szemben, alsó alap- és alaprétegeként elsődlegesen útépitési bitument használ, modifikálás nélkül. Ennek jelentőségét nem lehet eléggé hangsúlyozni, szemben a magyar gyakorlattal, amelyben számos esetben indokolatlanul alkalmaz modifikált kötőanyagú keverékeket, nemcsak szükségtelenül növelve az építési költséget, de a jövőbeli újrahasznosítás lehetőségét is korlátozva. A németországi rendszert azonban az újrahasznosítás szempontjából erre építették fel. Felmerülhet a gondolat, hogy ez „túl” egyszerű rendszer, mivel nem jelent műszaki kihívást újrahasznosított aszfaltot normál útépitési bitumennel készült aszfaltban felhasználni. Lehet, hogy a technológia egyszerűbb, azonban a technológia lehetőségei mellett, fel kellett egy rendszert építeni a tervezésre, a vizsgálatra, a gyártásra és a kivitelezésre. Úgy tűnik sajnós, hogy ez a rendszerszintű szemlélet hiányzik a hazai aszfaltútépitésben.

A jelenlegi magyarországi gyakorlat, amelyben csak 3.2%-nyi aszfaltot hasznosítanak újra, remélhetőleg a jövőben változni fog. A viszonylag alacsony, 15% alatti márt aszfalt felhasználásra a keverőtelepek többsége már évtizedek óta alkalmas, ez a kapacitásmutató azonban a ténylegesen felhasznált RA mennyiségben nem tükröződik. Nehezen magyarázható, hogy a megrendelői oldal miatt nem használta ki jobban az elmúlt évtizedekben az újrahasznosításban rejlő lehetőségeket.

2. A MAGAS RA-TARTALMÚ ASZFALTKEVERÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN

Ebben a cikkben következetesen az európai RA-jelölést alkalmazzuk, nem pedig az angolszász gyakorlatban megszokott RAP-jelölést, még akkor is, ha angol publikációra hivatkozunk. Az RA-jelölést következetesen arra az esetre alkalmazzuk, ahol a pályaszerkezetből visszanyert aszfalt törés és osztályozás útján létrejött, homogén és frakcionált végtermék. Ez tehát végtermék az RA feldolgozása szempontjából, és alapanyaga az aszfaltgyártásnak.

El kell oszlatnunk azt a közgondolkodásban elterjedt félreértést, hogy a magas RA újrahasznosítás 100%-os felhasználást jelent. Habár elviekben lehetséges 100%-ban RA-val gyártott aszfaltkeverék előállítás, ez azonban elsősorban gépészeti szempontból jelent rendkívüli kihívást az alapanyagok hevítése miatt és bár a világ számos pontján ezt a lehetőséget már igazolták, ezek gyakorlati jelentősége alacsony, és nagy volumenű gyártásra alkalmatlan.

A magas RA-tartalom a gyakorlatban 30% feletti RA-adagolást jelent, és gépészműszaki szempontból, mintegy 80%-ig terjed. Megjegyzendő, hogy a 80% is csak különlegesen megtervezett és felszerelt aszfaltkeverőkkel lehetséges, amelyeknek száma jelenleg Európában is csekély.

Megjegyezzük, és később bővebben ki is fejtjük, hogy projekt szinten, a parallel dob technológia nélkül nem is igen lehet 40%-os RA-adagolás fölé menni. 2022. március elején az Osztrák Aszfaltipari Egyesülés (GESTRATA) online workshopot (Bauseminar) tartott, ahol elmondták, hogy az osztrák gyakorlatban a parallel dobokkal felszerelt keverőtelepeken, projekt szinten jellemzően 30-50%-os felhasználásig mennek el. Ne gondoljuk, hogy ez a szám alacsony, mint látni fogjuk, az ilyen szintű RA-adagolás már teljes, rendszerszintű működést igényel, és hozzájárul az országos átlag emeléséhez. A magas RA-alkalmazás három alappillére:

- Keveréktervezés, ami felújítás esetén az elbontandó szakasz aszfaltos rétegeinek elemzésével indul,
- géptechnológia (képesség),
- RA depóniamenedzsment.

Ezeket a következőkben részletesen tárgyaljuk.

3. KEVERÉKTERVEZÉS

A magas RA-tartalmú aszfaltkeverékek volumetrikus tervezésének menete teljes mértékben megegyezik bármely aszfaltkeverék tervezési eljárásával. Azonban a keveréktervezés szempontjából van egy kritikus elem, melyet a magas RA-tartalmú keverékek tervezésénél külön figyelembe kell venni, még a volumetrikus keveréktervezés előtt vagy annak során, ez pedig az eredő bitumen (bitumenelegy - binder blend) tervezése. A visszanyert aszfalt kötőanyagának öregedése miatt, szükséges lehet a visszanyert aszfalt "fiatalítása", "regenerálása" friss bitumen és/vagy rejuvenáló adalékszer hozzáadagolásával. Különösen fontos lehet ez régebben épült, fokozottan előregedett burkolatokból származó mart/bontott aszfalt esetében, illetve nagyobb arányú visszanyert aszfalt adagolása során. A "fiatalítás" és "regenerálás" szavak azonban megtévesztőek lehetnek, hiszen ezekkel az adalékokkal kétféle célt lehet elérni, a bitumen kémiai összetételének módosítását és/vagy a bitumen teljesítményének és megfelelőségének módosítását. Itt az eredő bitumen tervezésén elsősorban az eredő bitumen teljesítményének és megfelelőségének biztosítását értjük. A tervezés fő elemei a következők.

- I. Az RA-ban lévő bitumen visszanyerése (ennek során homogén és reprezentatív mintához kell jutni). A visszanyerési eljárás lehetséges módszerei:
 1. extrahálás analízátorral (MSZ EN 12697-1 szerint) [6], visszanyerés szárítószekrényben,
 2. extrahálás analízátorral (MSZ EN 12697-1 szerint), visszanyerés forgó bepárlóval (MSZ EN 12697-3 szerint) [7],
 3. extrahálás mintatartóban, majd centrifugálás átfolyós centrifugával (MSZ EN 12697-3 szerint), visszanyerés szárítószekrényben,
 4. extrahálás mintatartóban, majd centrifugálás átfolyós centrifugával (MSZ EN 12697-3 szerint), visszanyerés forgó bepárlóval (MSZ EN 12697-3 szerint).

Az eljárás gyakorlati kivitelezéséről, azok előnyeiről és hátrányairól már hazai publikációk is elérhetőek [8, 9].

- II. Az eredő bitumen teljesítményének és megfelelőségének előre becsülő számítása – penetráció, lágyuláspont, rugalmas visszaalakulás, DSR viszkozitás vagy DSR komplex reológiai vizsgálatok alapján, ahol mind a használni kívánt alapbitument, mind az RA-ból kivont bitument előzetesen külön szükséges ezekre a paraméterekre vizsgálni. Gyakorlati példára, hazai publikációk szintén rendelkezésre állnak [2, 11].
- III. Homogén eredő bitumenek előállítása laboratóriumi keveréssel, laboratóriumi validáláshoz. Ezzel a folyamattal a használni kívánt alapbitumen és az RA-ból kivont bitumen valós elegyét hozzák létre, és a számítás eredményeit validálják. A témában már szintén van hazai publikáció, ezért ezeket a részleteket itt nem ismételjük meg [10, 11].

Bár az aszfaltkeverékekre vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás [12] meghatároz volumetrikus és teljesítményelvű vizsgálati követelményeket, azonban a tervezés menetére általános útmutató sajnos nem áll rendelkezésre. A keveréktervezés volumetrikus paramétereire vonatkozó utolsó, ilyen jellegű útmutatót Nemesdy publikálta [13, 14], azonban a teljesítményelvű tervezéshez ilyen segédlet magyar nyelven nem áll rendelkezésre.

A volumetrikus tervezés általában a következőket tartalmazza:

- olyan keveréktípus és anyagok kiválasztása, melyek nagy valószínűséggel megfelelnek a vonatkozó előírásoknak és/vagy a teljesítménykövetelményeknek,

- a kívánt kőanyag osztály és a kötőanyag-tartalom ill. -típus kiválasztása,
- az anyagok laboratóriumi keverése, a keverék kondicionálása meghatározott tömörítési hőmérsékletre és időre,
- próbakeverék tömörítése és a térfogati tulajdonságok meghatározása, beleértve a szabad hézagtartalmat, a térfogatsűrűséget, az ásványi adalékanyagok hézagtartalmát (h_k) és a kötőanyag telítettség mértékét (t_b); egyes tervezési előírások a kötőanyag-film index meghatározását is előírják,
- a Marshall-stabilitás és a -folyás meghatározása (Marshall-tömörítéssel), a Marshall merevségi hányados (a stabilitás és a folyás aránya) számítása, ha szükséges, ezt azonban az európai tervezési eljárások (helyesen) már nem használják,
- a térfogati és a Marshall-tulajdonságok meghatározott követelmények alapján történő összehasonlítása.

Ha az összes vonatkozó követelmény teljesül, és nincs szükség további vizsgálatra, akkor a vizsgálat első szintje, a volumetrikus tervezés lezárható. A keverék tulajdonságainak elfogadása egyetlen próbakeverékből alapvetően azokra a keveréktervekre vonatkozik, amelyek olyan meglévő keveréken alapulnak, amelyet korábban teljes keverékvizsgálatnak vetettek alá, vagy ahol a térfogati tulajdonságokat a későbbiekben keverőtelepi gyártás és vizsgálat során is megerősítik (keverőtelepi validálás).

Ha további vizsgálatra van szükség az optimális kötőanyag-tartalom kiválasztásához vagy a kötőanyag-tartalom változás térfogati tulajdonságokra gyakorolt hatásának meghatározásához, a volumetrikus szintű tervezés a következőkkel folytatódik:

- két további, a kezdeti próbakeverékekkel megegyező szemeloszlású, de annál $\pm 0,5\%$ -kal eltérő kötőanyag-tartalmú keverék előállítás és tömörítése,
- a térfogati tulajdonságok és (ha szükséges) a Marshall-tulajdonságok meghatározása, az eredmények grafikus bemutatásával, a kötőanyag-tartalom változás függvényében,
- az optimális kötőanyag-tartalom kiválasztása, kielégítve a szükséges specifikus paramétereket, mint, például, ásványi adalékanyagok minimum hézagtartalma (h_k) és maximum kötőanyag telítettsége (t_b ; ez a paraméter azonban a hazai keverékekre vonatkozó követelmények között nem szerepel).

A keverék nagy forgalmú útszakaszon való felhasználása esetében, további vizsgálatok lehetnek szükségesek a tervezett kötőanyag-tartalom mellett, valamint zsirátoros tömörítőgéppel, legfeljebb 250 vagy 350 fordulatszámmal - a specifikációk alapján készített - maximális tömörség ellenőrzése (refusal density); azonban ilyen jellegű vizsgálatokat a magyar gyakorlat szintén nem követel meg.

Egyes előírások további próbakeverékek előkészítését és tömörítését követelhetik meg annak meghatározása érdekében, hogy az aszfaltgyártáshoz megengedett tűréshatáron belül lehetséges bitumentartalom és/vagy szemeloszlás változása milyen hatással van a térfogati tulajdonságokra.

A volumetrikus keveréktervezés befejeztével lehet lépni a következő szintre, ahol teljesítmény elvű vizsgálatok számos módszere választható, a felhasználás szempontjai szerint:

- a pályaszerkezeti tervezéshez használt mechanikai tulajdonságok: rugalmassági modulus (merevség) és fáradási tulajdonságok (ellenállás),
- tartós alakváltozással szembeni ellenállás: keréknyomképződés,
- vízerzékenység: kipergéssel, illetve felületi hámlással szembeni ellenállás.

Meg kell jegyezni, hogy a vizsgálatok megfelelő szintjének megválasztása az aszfalt kivánt alkalmazásától és/vagy a meghatározott követelményektől függ, melyet, például, a francia [15] vagy az ausztrál keveréktervezési útmutatók [16] is magukba foglalnak.

4. RA FELDOLGOZÁS ÉS DEPÓNIA MENEDZSMENT

Az Egyesült Államokbeli National Asphalt Pavement Association (NAPA) 1977-ben közzétette az Újrahasznosítási Jelentését (Recycling Report). Ekkor a hagyományos melegaszfaltok (hot mix asphalt, HMA) újrahasznosításával kapcsolatos kísérletek már évtizedek óta folytak, azonban a HMA

újrhasználtságának koncepciója még minden gyakorlati szempontból vadonatúj volt, és mind az útügyi adminisztrációknak, mind pedig a kivitelezőknek kétségei voltak a végső újrhasználított termék megfelelő minőségével és a hosszú távú teljesítményével kapcsolatban [17]. Azóta a több millió tonna aszfalttermelés világszerte bebizonyította, hogy a RA-val kevert HMA keverékek ugyanolyan teljesítményjellemzőkkel bírnak, mint a hagyományos HMA keverékek.

A marással vagy bontással visszanyert aszfaltot szükséges azonban feldolgozni, hogy az RA-val gyártott aszfaltkeverék szemeloszlása és bitumentartalma, és ez által a volumetrikus tulajdonságai, ellenőrizhetőek legyenek. Aszfaltgyártók néha alacsony (10% alatti) RA-felhasználás mellett úgy tartják, hogy nem szükséges a visszanyert aszfalt töréssel és osztályozással történő további feldolgozása, azonban a jól kontrollált gyártáshoz gyakorlati szempontból ez nem minden esetben megfelelő megoldás. Magasabb RA-felhasználás mellett (10% felett) pedig az osztályozás elengedhetetlen, kimondottan magas RA-felhasználás mellett (30% felett) pedig legalább két frakcióba való osztályozás szükséges. Az osztályozást célszerűen törés előzze meg a túlméretes szemcsék magas arányának elkerülése miatt, de a törés igazából termelékenységi és nem minőségi kérdés, tehát az aszfaltgyártó – mérlegelve az anyag kettős mozgatásának költségét – dönthet úgy, hogy a visszanyert anyagot csak osztályozza. Törés alatt nem kőbányászati célú feldolgozást értünk, ahol a kőszemcsék fizikai aprózódása a cél, hanem az RA konglomerátumok felbontására gondolunk, a kőszemcsék aprózódásának minimalizálása mellett [18]. Ezt megfelelően kiválasztott és üzemeltetett törőberendezéssel minden további nélkül el lehet érni. A hazai tapasztalat szerint is, az egyazon forrásból származó marások szemeloszlásukban és összetételükben (szemcseméret, bitumentartalom és jellemzők) jellemzően azonosak és homogének [9].

Amikor az újrhasználtság az 1970-es évek végén először megkezdődött, a kor irodalma azt javasolta, hogy az RA-t alacsony, vízszintes készletekben halmozzák fel, attól tartva, hogy a magas, kúpos depóniák esetében, a visszanyert aszfalt, a halom súlya alatt, újra tömörödik. A tapasztalat bebizonyította, hogy magas depóniák valóban tömörödnek a saját súlyuk alatt, ez azonban az RA szemeloszlásától és bitumentartalmától is függ, ezért általános irányelvnek nem tekinthető. De anyagmozgató gépeket – mint, például, a homlokrakodókat, kotrókat és teherjárműveket – nem szabad engedni, hogy közvetlenül a készleteken haladjanak, és azokat tömörítsék.

Az RA, különösen a finom szemeloszlású, nem eresztí át, és nem vezeti el úgy a vizet, mint a tipikus kőanyagok, ezáltal a magas nedvességtartalom a felhasználható anyagok adagolási százalékára nagy hatással van; ezért az RA lefedése gazdaságossági és termelékenységi kérdés is egyben. Emiatt a legtöbb RA depóniát vagy ponyva alatt, vagy nyitott oldalú tető alatt tárolják. Ilyen szerkezeti kialakítás során a szabad levegő áthaladhat a halom felett, aminek szárító hatása lehet, ugyanakkor az a közvetlen ráhulló csapadéktól véd. Az ilyen szerkezetek viszonylag gazdaságosak, és magas RA termelés mellett az üzemanyag-fogyasztás jelentős csökkenését is eredményezik, valamint a létesítmény kapacitása magas RA-adagolás mellett sem csökken.

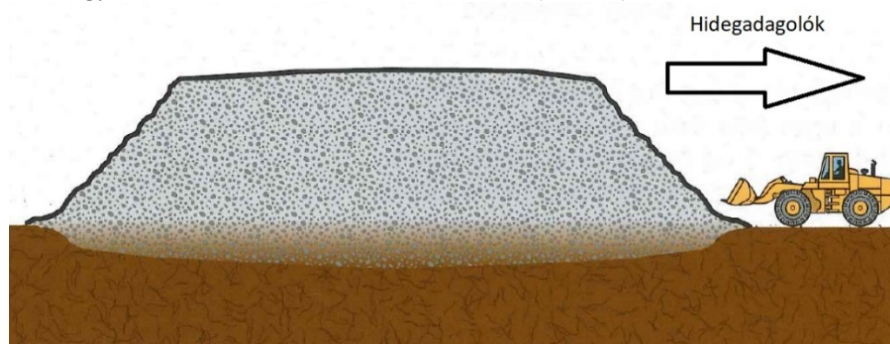
A depónia víztartalmának minimalizálása érdekében, ha a depónia nem fedett, a kúpos depóniák preferáltak. Az alacsony, vízszintes, lapos és fedetlen készletek általában nagyobb nedvességtartalmúak, mint a magas, kúpos készletek. Nem szokatlan, hogy ott, ahol horizontális depózást alkalmaznak, a tavasz folyamán a RA nedvességtartalma a 7-8%-ot eléri. Ez drasztikusan csökkenti az aszfaltkeverőtelep teljesítményét, vagy az RA feldolgozható százalékos arányát, emeli az üzemanyagköltségeket, és korlátozza az általános termelést.

Az aszfaltgyártók hosszú időn keresztül keresték a kőanyagszárítás legolcsóbb módját. Olyan alkalmazásokat próbáltak ki, mint a nagyobb szárítódobok vagy nagyobb égő fejek, illetve komplex géprendszerek alkalmazása. Figyelembe vették továbbá a dobon belül az anyagemelő lapátok konfigurációját vagy a levegőáramlás javítását, illetve a levegő és a tüzelőanyag arányának változtatását. Mind ezek azonban a szárítási és a gyártási teljesítményt csak korlátozott mértékig növelték. Az aszfaltipar azonban hosszú időn keresztül nem vette figyelembe, és sokszor még most sem veszi figyelembe, hogy a kőanyag víztartalma a gyártás előtt minimalizálható. A kőanyagok - beleértve az RA-t is - víztartalmának minimalizálására tett együttes intézkedések növelik a gyártási teljesítményt, és

csökkentik az aszfaltkeverő telepek általános energiaigényét. Megfelelően kezelt depóniák a következő megtakarításokat eredményezik:

- csökkentett szárítási költség,
- növelt gyártási kapacitás,
- csökkentett aszfaltbeépítési költség (magasabb géplánc kihasználtság).
- csökkentett kőanyagvesztés,
- csökkentett eszközhasználat és energiaköltség,
- nem megfelelő aszfaltkeverék gyártásából eredő minőségi problémák csökkentése,
- homlokrakodók és anyagmozgató gépek üzemeltetési költségének csökkentése.

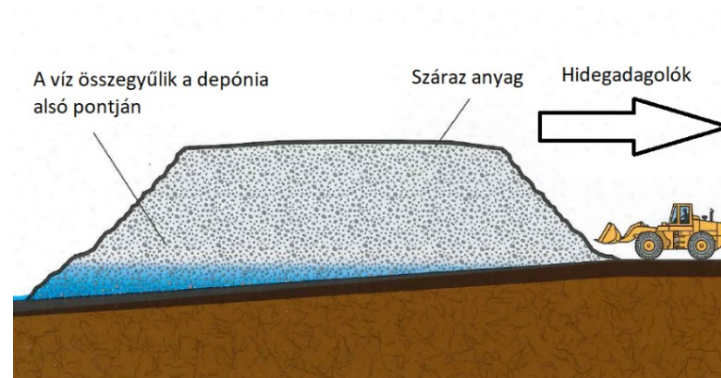
Néhány esetben az aszfaltkeverő telepeken a kőanyagot - beleértve az RA-t is - mindenféle felületelőkészítés nélkül helyezik a talajra. Az ilyen fajta, előkészítetlen talajon vízelvezetési problémák és az anyaghalmozok süllyedése várható. A nem megfelelően előkészített felületbe a nyersanyag benyomódik, és az a gyártás számára elveszettnek minősül (1. ábra) [19].



1. ábra. Kőanyag és RA altalajba való süllyedése és anyagvesztése burkolatlan és drénezetlen felületen.

Az ilyen módon megsüllyedt depóniák nem vízteleníthetőek, ezért a depóniák alatt vízfelhalmozódás várható. Függetlenül attól, hogy az aszfaltkeverő milyen gépészeti megoldásokat használ, és milyen annak a szárítási hatékonysága, a szárítási költség a szárazabb nyersanyag felhasználásával csökkenthető. Ezért a nyersanyag víztartalmát még a gyártásba adás előtt csökkenteni szükséges.

Megfelelő lejtéssel ellátott felületre helyezett kőanyag és RA víztartalma, a drénezés eredményeképpen, a depóniák mentén változik. A depóniák magas pontja célszerűen az előadagolók oldalára kerüljön, mivel itt a depóniák, a terepszintet is beleértve, minimális víztartalommal rendelkeznek. Ha a depóniák lejtése úgy van kialakítva, hogy az az előadagolók felé esik, akkor kimondottan magas víztartalmakat várhatunk a talajszinten, mivel a drénezés eredményeképpen minden víz itt fog összegyűlni (2. ábra) [19]. Akár olyan extrém víztartalmak is előfordulhatnak, mint 10% finom RA vagy 20 % homok esetében. Ilyen magas víztartalmak pedig a gyártást jelentősen befolyásolják.

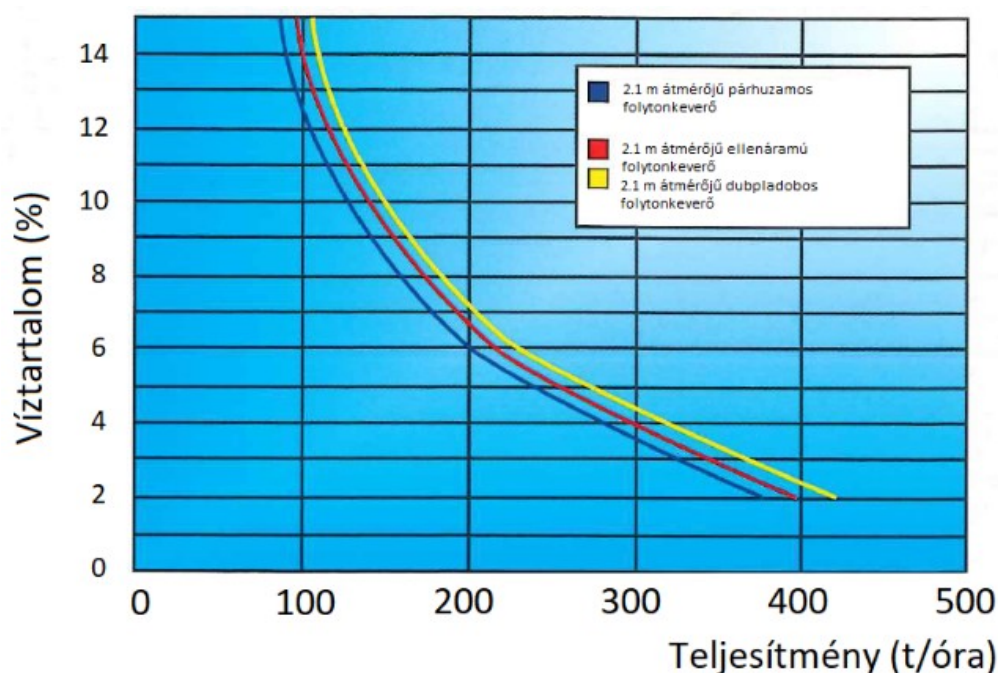


2. ábra. Megfelelő lejtéssel ellátott felületre helyezett kőanyag és RA drénezése.

Minél nagyobb a depóniák alatti terület esése, annál jobb a gravitációs víztelenítő hatás, azonban a keverőtelep vagy RA feldolgozó üzem természetes adottságait és a különböző anyag típusokat és szemcseméreteket is figyelembe kell venni:

- nagyobb kőszemcsével rendelkező anyagok hajlamosabbak a szegregációra,
- a finomabb anyagok fajlagos felülete nagyobb, mint a durvább anyagoké, ezért a finomabb anyagok több vizet tartanak vissza, mint a durva szemcséjű anyagok,
- a finomszemcsés anyagok, ha már vizet kaptak, nem lehet vízteleníteni őket olyan könnyen, mint a durva szemcsés anyagokat, ezért a finomszemcsés anyagok ebből a szempontból sokkal több figyelmet igényelnek.

A 3. ábra [19] azt mutatja be, hogy a csökkenő víztartalom jelentős mértékben növeli az óránkénti teljesítményt, különböző folytonkeverő konfigurációk esetében. Jellemzően hasonló teljesítményváltozást okoz a víztartalom, a szakaszos keverők esetében is.



3. ábra: A víztartalom hatása a folytonkeverők teljesítményére.

A 3. táblázat [20] dupladobos folytonkeverő esetére bemutatja, hogy az aszfaltkeverő dob méretváltozása milyen arányban változtatja meg az óránkénti termelési kapacitást a víztartalom függvényében. Adott víztartalom alatt, a táblázat fejlécében, a felhasznált fűtőanyag mennyisége látható. Például, 1.8 m-es átmérőjű, viszonylag kis szárítódob, 3 %-os víztartalom mellett, ugyanakkora kapacitású, mint egy 2.4 m-es átmérőjű szárítódob, 7 %-os víztartalom mellett. A tüzelőanyag-, a gyártási kapacitás változása nélkül, 5.0-ről 7.9 literre növekszik. Ez nemcsak nagyobb gépet és költségesebb beruházást igényel, de jelentős üzemanyag növekedést is generál.

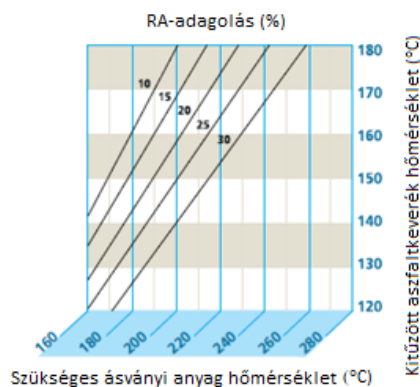
2. táblázat. Dupladobos folytonkeverő kapacitásváltozása, az alapanyag víztartalmának függvényében.

| Eltávolított víztartalom (%) | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Tüzelőanyag (liter/tonna) | | 5.0 | 5.7 | 6.5 | 7.2 | 7.9 | 8.7 | 9.5 | 10.3 | 11.1 | 12.0 |
| Szárítódob átmérője (m) | Átáramló gázmennyiség (m ³ /perc) | Keverési teljesítmény (tonna/óra) | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.8 | 793 | 287 | 239 | 205 | 178 | 157 | 140 | 127 | 115 | 105 | 97 |
| 2.1 | 1090 | 394 | 329 | 281 | 245 | 216 | 193 | 174 | 158 | 145 | 133 |
| 2.4 | 1416 | 512 | 427 | 365 | 318 | 280 | 251 | 226 | 205 | 188 | 173 |
| 2.7 | 1798 | 651 | 542 | 463 | 403 | 356 | 318 | 287 | 261 | 239 | 219 |
| 3.0 | 2223 | 804 | 670 | 573 | 499 | 440 | 393 | 355 | 322 | 295 | 271 |

A későbbiekben még részletesen foglalkozunk a szakaszos keverők RA-adagolási lehetőségével, de a víztartalmak és a gyártási hőmérsékletek kapcsán, már itt megemlítjük, hogy szakaszos keverő esetében, az RA-adagolást jellemzően egy köztes silón és az adalékmérlegen, vagy egy külön szakaszos mérlegadagolón keresztül oldják meg. Ekkor az RA melegítését és szárítását (a keverőteknőben) az előzetesen szárított és felfűtött forró ásványi anyagok végzik. Amikor a forró ásványi anyagokból a hő a visszanyert aszfaltba vezetődik át, a benne lévő nedvesség elpárolog, és hirtelen vízgőz keletkezik, amelyet szívóberendezések által kell elvezetni. Mivel a keverék hőmérséklete jelentősen befolyásolja a terítést és a tömörítést, a keverék megcélzott gyártási hőmérsékleti határértékeket nem szabad csökkenteni. Ezeket a hőmérsékletet Németországban a TL Asphalt-StB 07 [20] szabályozza.

Mivel az RA felmelegítéséhez szükséges hőenergiát az ásványi anyagokból merítik, ami azt jelenti, hogy ezeket mindenképpen magasabb hőmérsékletre kell felmelegíteni és az RA nedvességét a gyártás során kell elpárologtatni. A 4. ábra [21] értékei útmutatást adnak arra nézve, hogy szakaszos keverő esetében, az RA-adagolás függvényében, nulla víztartalom mellett, az ásványi anyagokat milyen hőmérsékletre kell túlfűteni. A 3. táblázat [21] megmutatja, hogy a víztartalom függvényében mennyivel kell tovább emelni az ásványi anyag hőmérsékletét.



4. ábra. Az ásványi anyag szükséges hőmérséklete az RA-tartalom függvényében.

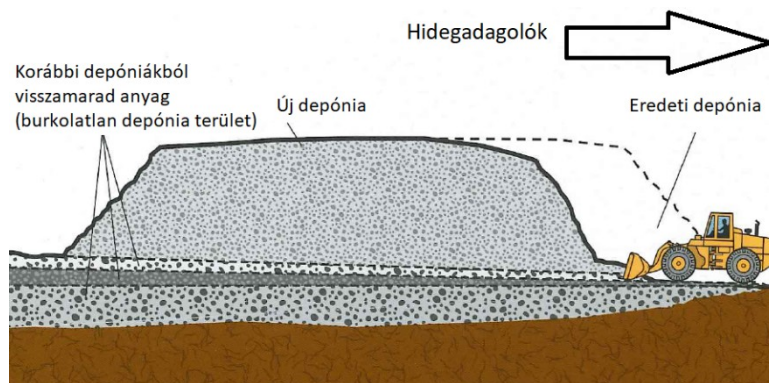
3. táblázat. Az ásványi anyag hőmérsékletkorrekciója, az RA víztartalmának függvényében.

| RA tartalom (%) | Az RA víztartalma (%) | | | | | |
|-----------------|----------------------------|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | Hőmérséklet korrekció (°C) | | | | | |
| 10 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24 |
| 15 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 20 | 8 | 16 | 24 | 32 | 40 | 48 |
| 25 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| 30 | 12 | 24 | - | - | - | - |

Például, ha az RA víztartalma nulla, 30 %-os RA-adagolás és 160°C aszfalt hőmérséklet esetén, az ásványi anyagot 230°C-ra kell hevíteni. Amennyiben az RA víztartalma 2%, akkor ehhez még 24°C értéket kell adni, vagyis az ásványi anyagot 254°C-ra kell hevíteni. Az előírás 30 %-nyi RA-adagolás mellett nem is engedi, hogy az RA víztartalma 2%-osnál magasabb legyen, hiszen e felett már olyan hőmérsékleteket kellene elérni, ami károsan befolyásolja a keverék minőségét, a gép fenntartását és gyártási kapacitását. Bár a táblázat a kék színnel kiemelt értékeket magában foglalja, az ilyen kombinációktól a gyártók a legjobb esetben távol tartják magukat, hiszen 25%-os RA-adagolás, 180°C aszfaltkeverék hőmérséklet és az RA 6%-os víztartalma mellett, a kőanyagot 300°C-ra kellene hevíteni, ami messze a kívánatos érték felett van. Ha ilyen hőmérsékletű kőváz és a bitumen találkozik, az a bitumen nagymértékű öregedéséhez vezet, már a gyártás során, mely az aszfaltkeverék hosszú távú teljesítményét jelentősen ronthatja. Látható tehát, hogy egy olyan lényegtelennek tűnő részlet, mint az RA víztartalma, döntő mértékben hat a gyártás és beépítés kapacitására, illetve energiafelhasználására, valamint a keverék minőségére, ezért ezt a területet nem érdemes elhanyagolni.

Vegyük figyelembe továbbá, hogy a modern aszfaltbeépítő gépláncok teljesítménye jelentősen felülmúlja az aszfaltkeverő gépek kapacitását, ezért a termelékenység csökkentése nemcsak a gyártásban, de a beépítésben is jelentős veszteségeket okozhat. A beépítő gépláncok fajlagos költségét a minél magasabb beépítési rátával lehet csökkenteni, ezért nem elhanyagolható, hogy egy géplánc óránként 250 vagy 350 tonna aszfaltot épít be. A beépítő gépláncok napi költsége általában állandó, ezért a termelékenység magasán tartása a cél. Ebből a szempontból sem elhanyagolható, hogy az alapanyagok, beleértve az RA-t, milyen víztartalommal rendelkeznek a keverőtelepen, és az milyen hatással van a keverőtelep gyártási kapacitására.

Ahogy azt már említettük, megfelelően előkészített - célszerűen aszfalttal burkolt - felületre helyezett kőanyag nem fog a gyenge teherbírású talajba benyomódni. Ha a kőanyag az altalajjal keveredik, az így elvesztett anyagot már nem lehet a gyártásban felhasználni, ezért ez jelentős anyag- és egyben anyagi veszteséget is jelent. Megfelelően burkolt depóniafelületről a kőanyag teljes terjedelmében felhasználható, ennek további eredménye, hogy nem kell a régi és új behordott anyag keveredése által okozott inhomogenitástól sem tartani (5. ábra) [19]. Ezért a megfelelő lejtéssel és burkolattal ellátott depóniák nemcsak a víztartalmat és az anyag veszteségét csökkentik, hanem minőségi ingadozást is minimalizálják. Ez a végtermék szempontjából pozitív hatás, mivel a végtermék homogenitása sem veszélyeztetett, és nem vezet szükségtelen minőségi levonásokhoz.



5. ábra. Fügőleges depónia inhomogenitás, nem burkolt és drénezett depóniatér esetében.

Szükséges felhívni a figyelmet arra, hogy 1 kg víznek a térfogata 0.001 m^3 , ami a gyártás során vízgőzzé alakul és a térfogata 1.67 m^3 -re növekszik. Ez a rendkívül jelentős térfogatváltozás nemcsak az égéshez szükséges levegőmennyiséget csökkenti a szárítódobon belül, de a gőzképződés egyéb problémákhoz is vezet. Ezek lehetnek a vízpára lecsapódása okozta elnedvesedés a porleválasztó zsákokon, vagy a mérlegek ingadozása a szakaszos keverők esetében. Természetesen ez a probléma sokkal szerteágazóbb és változatosabb, mint azt itt részletesen be tudnánk mutatni, hiszen a tényleges probléma függ a keverő típusától (szakaszos vagy folytonos) és azon belül is az anyagáramok kialakításától, illetve az RA beadagolásának módjától. Emlékezzünk arra, hogy a depónia menedzsment itt felsorolt részletei a kőanyagokra vonatkoznak, és ebből a szempontból a megfelelően feldolgozott RA is kőanyagnak számít, ezért a korábbi megállapítások az RA-ra is érvényesek.

5. GÉPTECHNOLÓGIA

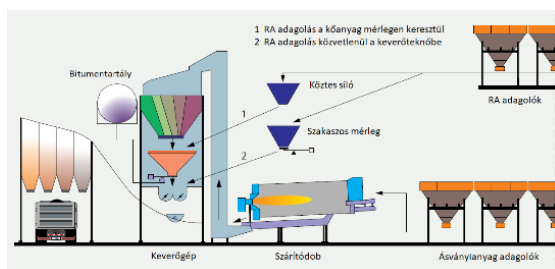
5.1. SZAKASZOS KEVERŐ ÜZEMEK

Mivel Európában sokféle típusú keverék előállítására van igény, és ezen sokféle keverékhez tartozó gépbeállítást rövid időn belül kell változtatni a gyártás során, túlnyomórészt szakaszos keverő üzemeket alkalmaznak. Ellentétben az Egyesült Államokkal, csupán nagyon kevés folytonkeverő üzem működik, mert csak akkor van értelme ezeket használni, ha nagyobb mennyiségű azonos típusú keveréket állítanak elő változtatás nélkül, például, nagyforgalmú utak vagy repülőterek teljes rekonstrukciója esetében. Az alábbiakban bemutatjuk a szakaszos keverők alapvető típusait az RA-adagolás szempontjából, és

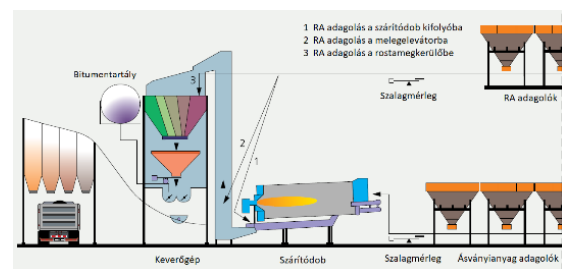
kitérünk a folytonkeverőkre is, azonban európai elterjedésük hiányában, csak a legnagyobb teljesítményű dupla dobos (double barrel) keverőgépre fogunk hivatkozni. Emlékezzünk azonban arra, hogy a folytonkeverőknek is több változata van, további részletek a NAPA kiadványában [17] vagy az Aszfaltújságban található [22].

A szakaszos keverőben az RA a következő módokon adagolható [21]:

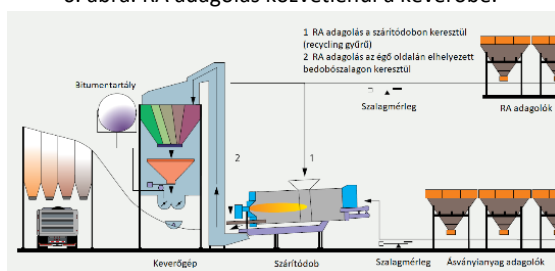
1. RA adagolás közvetlenül a keverőbe – az RA felmelegítése a forró kővázon keresztül történik, az RA szakaszos hozzáadásával (6. ábra)
2. RA adagolás a meleg elevátorba – az RA felmelegítése a forró kővázon keresztül történik, az RA folytonos hozzáadásával (7. ábra)
3. RA adagolás a dobgyűrűbe – az RA felmelegítése a kővázalattal együtt történik, az RA folytonos hozzáadásával (8. ábra)
4. Parallel dob – az RA felmelegítése a párhuzamos dobokon keresztül történik, az RA szakaszos hozzáadásával (9. ábra).



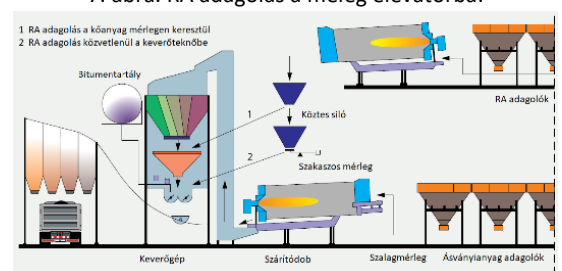
6. ábra. RA adagolás közvetlenül a keverőbe.



7. ábra. RA adagolás a meleg elevátorba.



8. ábra. RA adagolás a dobgyűrűbe.



9. ábra: Parallel dob.

Az 1. módszer esetében a forró ásványi anyagokat először előkeverik a hideg (azaz környezeti hőmérsékletű) RA-val, hogy ellensúlyozzák az új kötőanyag öregedését, a túlfűtött ásványi anyagokkal való érintkezés miatt. Miután az ásványi anyag hőfeleslege eloszlott, és ez idő alatt az RA felmelegedett és elvesztette nedvességtartalmát, hozzáadják az új kötőanyagot és keverik. Jellemzően legfeljebb 30 tömeg%-ban lehet RA-t adagolni az új keverékhez. Ezt a mennyiséget az RA nedvességtartalma és a forró ásványi anyagok kívánt hőmérséklete határozza meg és korlátozza is egyben. A melegbunkerekben lévő kötőanyagok rostálását és adagolását ez a módszer nem érinti.

A 2. módszer alkalmazásával az RA felmelegítése még szintén a kővázon keresztül történik, míg a 3. módszernél a kővázalattal együtt melegítik az RA-t. A két módszer közös jellemzője, hogy az RA és a kötőanyag a rostrendszer előtt elkeveredik, ezért ezt a keveréket gyártani csak a rosta megkerülésével lehet, másként a rosták nagyon rövid idő alatt eltömődnek a bitumen és a finomanyag keverék miatt. Mindkét módszer esetén maximum 20%-nyi RA adható hozzá a keverékhez. A rendszer előnye, hogy az RA hozzáadása folytonosan történik, ezért hirtelen, nagy mennyiségű vízgőz nem képződik a keverőgép rendszerében. Az RA adagolását szalagmérleggel lehet szabályozni.

A rendszer hátránya, hogy a melegelevátorokban és a rostamegkerülő bunkerban az anyag már bitument tartalmaz (az RA-ból származó bitument), ami a rendszer gyakori tisztítását és karbantartását igényli. A választást a 2. és a 3. módszer között a keverőgép meglévő adottságai és az üzem helyi sajátosságai döntenek el. Mindkét rendszer jellemzője, hogy a végleges aszfaltkeverék szemeloszlási összetételét kizárólag az adalékanyagok és az RA homogenitása, illetve az előadagolók beállítása

határozza meg, mivel utólagos szabályozás nem lehetséges a melegbunkereken keresztül. Ezért a rendszer gyakorlatilag úgy működik, mint egy folytonkeverő, és az alapanyagok homogenitásának biztosítása miatt, szükséges, hogy az aszfaltgyártó a kőbányával és az RA feldolgozó egységgel szorosan együttműködjön. Megjegyezzük azonban, hogy ez a követelmény alapvetően bármilyen aszfaltgyártási módszer esetén igaz, de a szakaszos keverők esetében, a melegbunkerek alkalmazásával a kőanyag inhomogenitása bizonyos szintig javítható. Ennek a javításnak a mértéke azonban limitált, sokszor gazdaságtalan gyártás eredményez, és azt a képzetet kelti az iparágban, hogy a szakaszos keverők esetén a kőanyag inhomogenitása nem jelent problémát.

A 4. módszer alkalmazásával az RA felmelegítése párhuzamos (parallel) dob alkalmazásával történik, amivel maximum 80 tömeg%-ig lehet RA-t adagolni. Egyes gyártók hivatkoznak arra, hogy 100 tömeg%-nyi RA-t adagolnak, ez azonban kizárólag olyan keverőgéppel lehetséges, amely ellenáramú levegővel működik (Paralleltrommel mit Heissgaserzeugung) és amelyből jelenleg Európában nagyon kevés üzemel. Ilyen magas RA-adagolás mellett az RA-t legalább három frakcióba szükséges bontani, hiszen a végtermék szemeloszlása kizárólag az RA frakciók szemeloszlásától függ. A keverékben használt eredő bitumen megtervezése is kritikus, hiszen a végtermék bitumentartalma és bitumenminősége kizárólag az RA-frakciók bitumenjétől függ, jellemzően friss bitument a keverékhez nem adnak, ha csak annak a bitumentartalma nem nagyobb, mint a frakciók eredő bitumentartalma, és nagy valószínűséggel rejuvenáló szer adagolása is szükséges az eredő bitumen minőségének szabályozása érdekében. Bár a 100%-os RA-hasznosítás lehetséges, a beruházási, a feldolgozási és az ellenőrzési követelmények miatt, ezek széleskörű elterjedése még hosszú időt fog igénybe venni.

A párhuzamos dob alkalmazásával 30-50 %-os RA-adagolást céloznak meg jellemzően, mivel ennél a szintnél az említett ellenőrzési igények kezelhetők. Ebben az esetben az RA-t általában 130°C-ra melegítik fel a párhuzamos dobban, és adagolják a melegbunkereken keresztül átjutó, előzetesen felfűtött kőanyaghoz. A kőanyagot itt jellemzően nem kell túlfűteni, hiszen az RA-t a párhuzamos dobon keresztül melegítik fel, ahol az a víztartalmától is megszabadul.

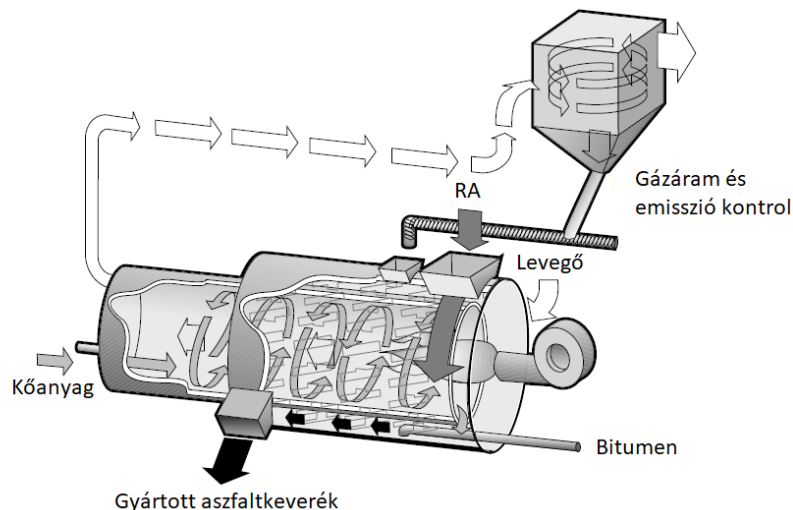
Az RA összetétele és homogenitása ezért igényel különös figyelmet, és nő meg a depóniamenedzsment jelentősége és az előzetes vizsgálatok igénye, mivel bármilyen ingadozás az RA szemeloszlásában vagy bitumentartalmában - a 30-50 %-nyi RA-adagolás esetében – egyenesen hat a végtermékre. Ahogy azt a depóniamenedzsment kapcsán tárgyaltuk, az RA homogenitása kontroll módszerekkel biztosítható, de annak hiánya a magas RA-adagolásnál a keverék nem-megfelelősége szempontjából szükségtelenül magas kockázatot eredményez. Mivel az RA ebben a rendszerben a rostákat megkerüli, így ez hibrid üzemnek tekinthető, ahol az RA útja és kontrollja azonos egy folytonkeverőjével, míg a kőanyag útja azonos egy normál szakaszos keverőjével. A két anyagáram a végén természetesen szakaszos keveréssel egyesül. Németországban és Ausztriában az aszfaltgyártók rutinszerűen üzemeltetnek párhuzamos dobba ellátott keverőgépeket 30-50 %-os RA-adagolással, ahol a végterméknek minőségi és homogenitási problémái nincsenek, de legalább is azonosak az RA nélkül gyártott keverékekkel. 2021-től Magyarországon is üzemel egy aszfalkeverő párhuzamos dobba. A meleg recycling-rendszerrel a vízgőzképződés, a keverési hőmérséklet csökkenése, a visszaadagolási korlátok - amelyek az egyes hideg recycling rendszer problémái lehetnek - nem jelentkeznek [23].

5.2. FOLYTONKEVERŐ ÜZEMEK

A folytonos üzemű rendszerekben az aszfaltkeverék egyes alkotóelemeit folyamatosan adagolják, és a szárítás, a hevítés, illetve a keverés folyamatos, és jellemzően egy dobban történik. Az egyes folyamatok a dobon belül természetesen elkülönülnek, de a folyamatot több dob beiktatásával is szét lehet bontani. Az RA-adagolás szempontjából az a rendszer a legalkalmasabb, melyben az RA és a láng nem érintkezik. Itt csak a legnagyobb teljesítményű dupla dobos (double barrel) keverőgéppel foglalkozunk, amely bár Európában nem elterjedt, a magyarországi aszfaltipar számára mégsem teljesen idegen, hiszen 2001-ben az M3-as autópálya mezőkövesdi szakaszán az aszfaltkeveréket ilyen keverőgéppel gyártották [22].

A kőanyag elsőnek áthalad az ellenáramú szárítódob belsejében, majd külső rögzített keverőhéjba engedik, ahol a keverőlapátok a felhevített ásványi anyagot ellenkező irányba mozgatják, mint ahogy az a belső dobban mozog (10. ábra) [17]. Az anyag a külső dobban, a belső, forgó szárítódob és a rögzített külső héj között, a keverőágyon keresztül halad (11. ábra, 12. ábra). Itt a külső héjban (dobban) adagolják be a végső keverék előállításához az RA(k)-t, a friss bitumént, a töltőanyag(ok)at, illetve az egyéb adalékanyagokat. A végterméket a belső dob betápláló vége felé engedik ki, és juttatják a silókba vagy közvetlenül szállítójárművekre. Külső megjelenésében könnyen megkülönböztethető az egyéb folyton keverő berendezésektől, a külső héj miatt, amely nem fut végig a belső dob teljes hosszán, így a vízszintes tengely mentén aszimmetrikus elrendezésű.

A visszanyert aszfaltból származó gőzt az előzetesen felfűtött és a külső héjba juttatott ásványi anyag gőzével vezetik ki, a porelszívó rendszeren keresztül. A RA-t az előzetesen felfűtött kőanyag és a szárító-héj égési területéből származó további hő vezetésével fűtik fel; ennek során az RA a lánggal nem érintkezik. Ilyen rendszerben 40%-os RA-adagolásig lehet elmenni. A szakaszos keverőknél korábban részletezett kőanyag és RA-ellenőrzés a folyton keverő rendszernél elengedhetetlen. Az RA-adagolás elvileg 50%-ig is lehetséges; ehhez azonban kedvező külső hőmérséklet és légnyomás, valamint alacsony víztartalom szükséges, mind a kőanyag, mind pedig az RA tekintetében. A végtermék szemeloszlásának szabályozása érdekében legalább két, de ideálisan három RA-frakció szükséges.



10. ábra: Dupladobos rendszerű aszfaltkeverő működésének elvi ábrája.



11. ábra: Mobil dupladobos rendszerű aszfaltkeverő gép szárító és keverődobja.



12. ábra: A külső dob felnyitásával láthatóvá válik a dupladobos rendszerű aszfaltkeverő gép belső dobpalástja a keverőlapátokkal.

6. TANULMÁNYÚT AUSZTRIÁBAN ÉS NÉMETORSZÁGBAN

2022 augusztusában a szerzők két osztrák és két német keverőtelepet látogattak meg (13-16. ábra). A keverőtelepek közös jellemzője a magas, 30 és 80% közötti RA-felhasználás volt és a négy keverőtelepből három rendelkezett párhuzamos dobbal. A két országban tett üzemlátogatás során tapasztaltak a következő pontokban foglalhatók össze:

- Az energiaválság és bitumenárak változása miatt érezhetően nő az RA felhasználása.
- Az alap- és a kopórétegeket az azokban használt eltérő, közetfizikai követelményeik miatt, külön gyűjtik, és dolgozzák fel RA-ként – majd a kőzet szerint az RA anyagot is szétválasztják.
- Keverőteleptől függően, egy vagy két frakcióba bontják az RA-t, törő és osztályozó alkalmazásával – az RA, mint végtermék homogenitásával nincsenek gondok.
- Ausztriában megengedett a kavics aszfaltot tartalmazó RA alkalmazása (töretlenül is) – de csak mellékúton.
- Az eredő bitument megfelelően tervezik, és az alkalmazásnak megfelelően lágyabb bitument vagy rejuvenátort alkalmaznak.
- Az RA alkalmazásának alapvető feltételei:
 - száraz tárolás,
 - a bejövő anyag megfelelő szétválasztása és homogén végtermék előállítása (a szelektivitásról már a tervezési fázisban igyekeznek feltárások segítségével gondoskodni),
 - a keverőtelepi labor támogatása elengedhetetlen, a DSR vizsgáló eszköz mindenhol elérhető az eredő bitumen tervezéséhez,
 - a homlokrakodó- és a kotrókezelők tréningje a bejövő anyag- és a kész RA homogenitása érdekében,
 - az RA feldolgozáshoz megfelelően nagy terület szükséges (de megfelelő kezeléssel, pl. szállítószalagos osztályozással, kis helyen is megvalósítható).
- A RA víztartalmának alacsonyan tartása érdekében, esőben/esőt követően nem dolgoznak fel RA-t, a feldolgozott RA-t fedett csarnokban tárolják, ezért a víztartalom jellemzően 2% alatt marad, és így magas gyártási kapacitás érhető el.
- A finomabb frakciójú RA-nak jobb a hőátadó kapacitása, ezért a frakcióméret meghatározásánál nemcsak a keveréktervezési kérdéseket, de ezt a gyártási kérdést is figyelembe kell venni.
- A párhuzamos dobbal ellátott keverőket kevesebb keverékfajta nagy volumenű gyártása során lehet jól kihasználni.
- Nagyobb szemcseméretű kőanyagot és RA anyagot nem szükséges feltétlenül fedni, mivel ezek gyorsan elvesztik a csapadékból származó vizet.
- Egyes gyártási területek csak egyféle kőanyaggal dolgoznak, ezért ezeken a területeken felesleges és szükségtelen a különböző rétegekből származó mart aszfaltot külön gyűjteni, szállítani, tárolni és feldolgozni.
- Az új alaprétegekben használt keverékeket jellemzően útépitési bitumennel gyártják. Az útépitési bitumenekkel gyártott keverékek eredő bitumen tervezése sokkal egyszerűbb feladat, mint a PmB-vel gyártott keverék eredő bitumen tervezése és szabályozása. Utóbbinál legfeljebb 20%-os RA adagolás lehetséges, míg az előbbi esetében a 80%-os adagolás sem jelent gondot.
- A megrendelői oldal nem vonakodik a magas RA-tartalmú keverékek alkalmazásától, és aktívan támogatja ezek használatát.



13. ábra: Párhuzamos dobbal ellátott, nagyteljesítményű aszfaltkeverőgép Ausztriában.



14. ábra: Párhuzamos dobbal ellátott, nagyteljesítményű aszfaltkeverőgép Németországban.



15. ábra: A különböző frakciójú RA alapanyagok fedett tárolása Ausztriában.



16. ábra: Nagy mennyiségű RA fedett tárolása Németországban.

7. MŰSZAKI SZABÁLYOZÁS

Már 2008. óta érvényben van és rendelkezésre áll a visszanyert aszfaltra vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás [24], amely az európai normákkal, elsősorban az MSZ EN 13108-8 „Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások. 8. rész: Visszanyert aszfalt” című szabvány keretelőírásain alapul, azzal összhangban levő és azt kiegészítő műszaki szabályozás kialakítására törekszik. Ez az ÚME rövid terjedelmű, de ennek ellenére koncepciójában viszonylag jól kezeli az RA-t és kis adagolásnál – ami kopóréteg esetében 10%, kötő- és alaprétegnél 20% - viszonylag egyszerű vizsgálati eljárást igényel, de kontrollt is megkövetel. Sajnos nem rendelkezik arról, hogy pontosan hogyan kell eljárni 20%-osnál magasabb arányú RA-adagolásnál, de amint az az országos átlagból látható, erre láthatólag nem is volt igény, hiszen ezt a kis mértékű adagolási lehetőséget sem használta ki eddig az iparág. Az aszfaltkeverékekre vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás [12] a visszanyert aszfaltra vonatkozó ÚME-val egyetértésben már 2018 előtt, legfeljebb 10%-os adagolást engedett meg valamennyi aszfaltbeton keveréktípushoz, 20%-ot valamennyi (N), (F) és (mF) jelű kötő- és alapréteg jelzetű aszfaltbeton keveréktípushoz. (N) igénybevételi kategóriában az aszfaltbeton alapréteghez 20%-ot meghaladó mennyiség is megengedett, felső korlát nélkül.

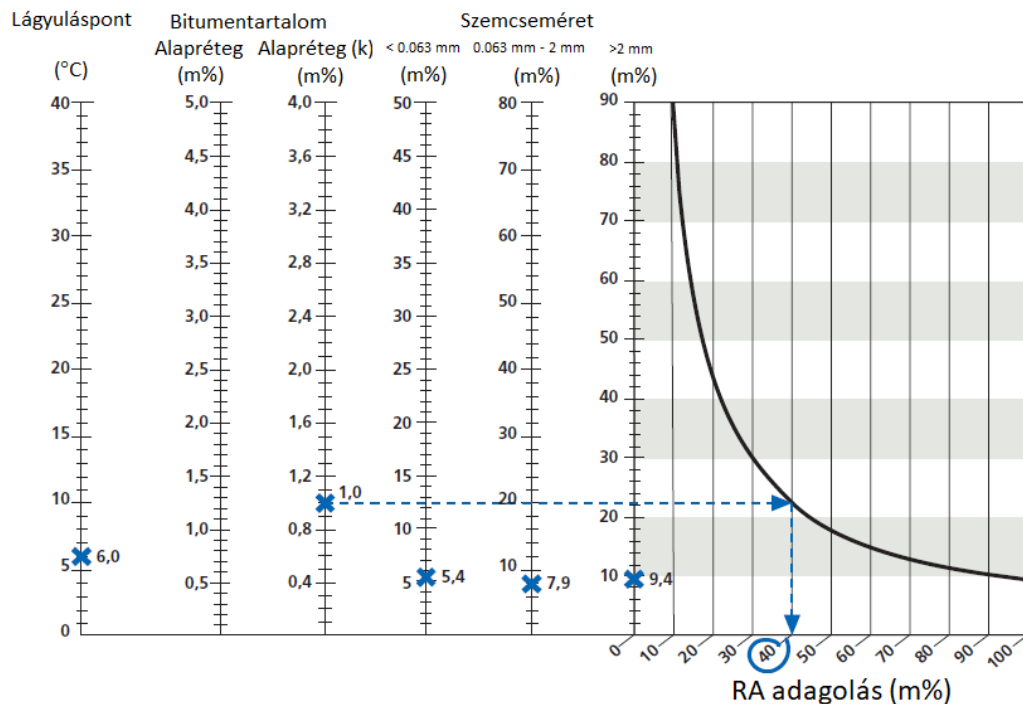
Az RA felhasználásának további elősegítése érdekében az Útépítési Aszfaltkeverékek, Visszanyert Aszfalt ÚME-t átdolgozták, és az a cikk írásakor közmegegyeztetés alatt áll, az iparág szereplői számára publikusan elérhető [25]. A visszanyert aszfalt ÚME ezen változata az aszfaltkeverékekre vonatkozó ÚME jelenleg érvényben lévő változatával együtt, a lágypont felső határát 70°C-os értékre

változtatja, pozitívan befolyásolva a felhasználást. Sajnos azonban az RA felhasználásának felső korlátot szabnak, mégpedig 40%-os maximális adagolást engednek meg (N) forgalmi terhelés mellett a kötő- és az alapréteg esetében, de csak meleg eljárás alkalmazásával. Ez egyfelől kedvező irányú változás, mert megengedi a kötőrétegben való magasabb arányú alkalmazást, másfelől azonban visszalépés a korábbi változathoz képest, mivel az alaprétegben, (N) forgalmi terhelés mellett, felső határt szab. Kismértékű emelkedést láthatunk a kopóréteg esetén (N) és (F) kategóriában, hideg adagolás mellett maximum 15%-nyi RA, meleg adagolás mellett pedig legfeljebb 25%-nyi RA adható, ha az RA bitumentípusa útépitési bitumen. Az ÚME M2 táblázata szerint visszalépés tapasztalható az mF kategóriában, ahol kopórétegben RA adagolása nem megengedett. Ezeknek a részleteknek a többsége azonban nem teljesen új, az aszfaltkeverékekere vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás [12] 2021. decemberi változata ezeket már tartalmazta.

A korábbiakban ismertetettek, ha szakaszos keverő esetében, az adagolás közvetlenül a keverőteknőbe történik, akkor 30%-ig, míg folytonkeverő alkalmazásakor, 40%-os adagolásig is el lehet menni. A hideg adagolás esetében, így a 20%-os általános korlátozás nem veszi figyelembe a keverőgépek eltérő műszaki paramétereit. Meleg adagolásnál, az adagolható RA mennyiségét 40%-ban korlátozták, miközben az osztrák és a német gyakorlat rutinszerűen 50-60%-ig adagol RA-t.

Mind az aszfaltkeverékekre, mind pedig a visszanyert aszfaltra vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás láthatólag igyekszik az RA alkalmazását növelni, de egyúttal próbálja az összes elképzelhető változatot is szabályozni, ami a gyakorlati felhasználás szempontjából inkább zavarónak tűnik, és úgy találjuk, hogy mind a szövegezés, mind pedig a követelmények nehezen is értelmezhetőek. Az ÚME készítői is érezték a normaszöveg áttekintésének nehézségeit, ezért a mellékletben segítő ábrát (F1. ábra – Hasznosítható aszfalt kezelésének folyamatábrája) közölnek, ami azonban, sajnos, nem igazi folyamatábra, még a legáltalánosabb szerkesztési szabályokat sem elégíti ki; finomítása indokolt lenne. Emellett mindenképpen pozitív újdonság, hogy a mintavételi és a mintaosztási eljárásokra tartalmaz iránymutatást.

A cikk terjedelme nem teszi lehetővé, hogy a hazai műszaki szabályozás mögött megbúvó történelmi hagyományokat, szokásokat és a jelen szakpolitikai elvárásait boncolgassuk, de összevetve pl. az angolszász, de akár a német vagy osztrák hasonló tárgyú előírásokkal, jól látható a megközelítésbeli különbség. Míg a nemzetközi gyakorlat törekszik egyfajta útmutató (guide) szemléletet megvalósítani, és elsődleges szándéka az újrahasznosítás növelésének előmozdítása, és ennek érdekében sokkal nagyobb kivitelezői, technológiai mozgásteret biztosít, addig a hazai szabályozás mindent szabályozni szeretne, és a vélt biztonságra és elvárt ideális minőségre hivatkozva, alsó-felső korlátokat állít. Jelen szabályozás tervezet esetében, ez a megközelítés azért is érdekes, hiszen nem rendelkezünk olyan gyártási tapasztalattal, ami megalapozná ezt a szigorú megközelítést. Jó példa erre az ÚME 5a) és 5b) táblázata, amely a nem kismértékű hozzáadagolás esetében megengedett legnagyobb terjedelemlátárokat írja elő, JÓ illetve MEGFELELŐ homogenitású depóniaanyag esetében. Megjegyzendő, hogy a JÓ, ill. a MEGFELELŐ kifejezést gyakran szinonimaként is használják, így érdemi minőségi különbség tételére nem alkalmasak. Érdemes lenne publikálni, hogy milyen depóniakezelési tapasztalatok alapján születtek meg ezek az értékek. Ezzel szemben, pl. a német szabályozásban az alábbi könnyen áttekinthető grafikon szerepel (17. ábra).



17. ábra. RA-depóniák homogenitásának hatása az RA-adagolás mértékére Németországban.

Jól látható, hogy a hozzáadagolás mértékét nem a megrendelő dönti el, hanem maga az RA anyag. A 17. ábra azt szemlélteti, hogy az RA-depóniákban a bitumen lágyuláspont és a szemcseméret eloszlása a vizsgált depóniákban alacsony. Az RA-depóniát leíró paraméterek közül, a bitumentartalom eloszlása a legmagasabb, így az a gyártás szempontjából mértékadó, és e miatt az RA visszaadagolás mértékét 40%-ban korlátozza. Azonban még a német megközelítés is korlátozó az ausztrál gyakorlat gyártáskontrolljához képest. A 17. ábra szerinti előírások Ausztráliában és az Egyesült Államokban nem léteznek, az RA tulajdonságainak eloszlását a gyártó 500 tonnánként vizsgálja, és a saját érdekei alapján, folyamatosan ellenőrzi, majd a gépbeállítást (batch card settings) ennek megfelelően, akár gyártási naponként változtatja. Az ÚME szerinti különböző esetre rögzített 20-30-40%-os visszaadagolási korlátokkal szemben, lehetne bízni a szakvállalati felelősségben, a gyártás és építés minőségbiztosításában, és nagyobb mozgásteret lehetne hagyni az innovatív gyártóknak.

Felmerül a kérdés, hogy mi volt az RA alkalmazásának alapvető akadálya az elmúlt évtizedekben? Mint láttuk, a felhasználás mértékét az ÚME-k korábbi változatai alapvetően nem korlátozták, és kérdéses, hogy az új és részletesen szabályozó ÚME a felhasználási arányt mennyiben fogja növelni. Nem lenne-e érdemes megvizsgálni, hogy melyik az a két- vagy háromféle aszfaltkeverék, amelyeket az aszfaltipar a legnagyobb mértékben gyárt, mely forgalmi terhelésre alkalmazzák ezeket a keverékeket, és milyen az előírt bitumen típusa? Komplex reológiai elemzés alapján meg lehetne vizsgálni, hogy milyen maximális adagolás eredményez kis kockázatot, nagy forgalmi terhelés és PmB vagy GmB alkalmazása esetében, illetve elfogadható kockázatot kis forgalmi terhelés és útépitési bitumen esetében. Ennek alapján, az RA-felhasználás projekt szinten megindulhatna, és ha az RA-bitumen vizsgálatát, a gyakorlati keretek között, a szabályozás kötelezővé, és nem ajánlottá tenné, úgy rövid idő alatt nagy mennyiségű adathalmaz állna rendelkezésre. Innen a folyamat tovább lenne finomítható, és fejleszthető általános szabályozás felé.

Sajnos, jelen pillanatban az országos úthálózatról származó RA-ban található bitumenekről - néhány publikációt leszámítva [9, 10] - legjobb tudásunk szerint, nem sok információ áll rendelkezésre. Mint ebben a cikkben láthattuk, ez az eredő bitumen tervezése és a kockázati faktor megállapítása szempontjából elengedhetetlen. “Mi lenne, ha” kérdésünk azonban feltételes, ezt a kérdést természetesen az elkövetkező évek gyakorlata és az RA felhasználási adatok fogják megválaszolni, de

örvendetes, hogy a szabályozások a magasabb RA adagolást támogatják, még ha azok, gyakorlati szempontból, további finomításra is szorulnak.

8. ÖSSZEFOGLALÓ

Az aszfalt pályaszerkezetből visszanyert aszfalt keverőtelepi újrahasznosításának mértéke – bár a keverőtelepi fejlesztések azt lehetővé tennék – hazánkban, sajnos még napjainkban is jelentéktelen. Az útfelújítások jelentős hányadában az elbontott pályaszerkezeti aszfaltrétegekből marással vagy bontással visszanyert aszfaltot burkolatalapba, esetleg padkába beépítve használják fel.

A cikk bemutatta, hogy az RA visszaadagolás számos paraméter függvénye, és tárgyalta a visszanyert aszfalt szükséges előkészítését, feldolgozását és tárolását, valamint a keverőteleppel szemben támasztott követelményeket. Amennyiben az RA-t tartalmazó aszfaltkeverékek tervezése és gyártása megfelelő módon történik, akkor teljesítményük az ugyanolyan típusú, visszanyert aszfaltot nem tartalmazó, melegen hengerelt aszfaltkeverékekével egyenértékű.

A „mart aszfalt vagy bontott aszfalt” szóhasználatot megszüntetésre javasoljuk, mivel magas RA-tartalmú aszfaltba mart aszfaltot vagy bontott aszfaltot nem célszerű adagolni, ha a gyártást ellenőrzés alatt akarjuk tartani. Magas RA-tartalmú aszfaltkeverékbe újrahasznosított aszfaltot (RA) lehet adni, amely mart aszfalt, bontott aszfalt vagy keverőtelepi aszfalthulladék feldolgozásával állítható elő. Ez, mint érzékelhető, befektetett munkát igényel, annak érdekében, hogy a gyártás megfelelőképpen szabályozható legyen.

Rámutatunk az RA-feldolgozás és a depóniamenedzsment jelentőségére, ami azonban alapvetően nem különbözik a kőanyag feldolgozásától és menedzsmentjétől, leszámítva, hogy ebben az esetben nem természetes bányából nyerjük az anyagot, hanem meglévő aszfalt útpályaszerkezetből. Az inhomogenitás természetesen jelen van mind a kétféle “anyagnyerő hely” esetében, ezeket azonban lehetséges és szükséges kezelni. Ezek módja pedig természetesen eltérő lesz a kőbánya és az RA feldolgozó telep esetében, azonban mind a két esetben kontrollált termék előállítása a cél. Próbáltuk árnyalni azt a szakmai berögződést, hogy az RA szükségképpen inhomogén és alsórendű anyag, hiszen megfelelő folyamatokkal mind az RA, mind pedig a kőanyag minősége szabályozható.

Mint láthattuk nemcsak az aszfaltgyártók hosszú távú beruházási és vállalati kultúra kialakítási stratégiájára, de a megrendelői oldal aktív támogatására is szükség van az RA alkalmazásához, bármilyen mértékű RA-adagolásnál. Láthattuk, hogy az RA alkalmazása alapvetően ugyanazt a mérnöki szabályozást és kontrollt igényelné, legyen az 10%-os vagy 50%-os adagolás. A kontroll következetes és szigorú alkalmazása azonban, a magas RA érték felé haladva, mindenképpen szükséges, mert azáltal a gyártás folyamatának és minőségének ingadozását mérsékelni lehet. Más szóval szabályozott aszfaltgyártáshoz, bármilyen szintű RA-adagolás mellett, szükséges az RA – és a kőanyag – kontrollja.

Az Útügyi Műszaki Előírás módosítása pozitív lépés, de feltételezzük, hogy az elmúlt évtizedek alacsony RA-használata nem feltétlenül csak a szabályozás hiányára vagy jellegére vezethető vissza. Reméljük, hogy a jövőben Magyarországon legalább projekt szinten, majd országos átlagos szinten a 15%-os újrahasznosítást el lehet érni, amely a magyar útépitési volument figyelembe véve, kb. évi 700 ezer tonna RA-felhasználást jelentene, szemben a jelenlegi 157 ezer tonnával. Ennek azonban, a vonatkozó UME tervezett bevezetése mellett, nemcsak a szabályozás elvi háttérét jobban feltáró, a tervezést és a gyártást segítő útmutatók kidolgozása szükséges, hanem annak a rendkívül káros jogszabályi állapotnak a feloldása is, amely szerint a munkaterületen keletkező mart aszfaltot – állami vagyon jellegét megőrizve – közútkezelői telephelyre kell szállítani, aminek következtében az kikerül a közvetlenül újra hasznosítási körből. Ez az aszfaltalapanyag így, sajnos, jellemzően elvesz a magas visszanyert aszfalt visszaadagolásának köréből. Hasonlóan más európai országok gyakorlatához, jelentős mértékben dinamizálná a magas fokú újrahasznosítást, ha a projekteken visszanyerhető aszfalt a kivitelezőnél maradhatna, így biztosítani lehetne, hogy a visszanyerés, a szállítás, a deponálás és az újrahasznosítás ne csak a jó gazda gondosságával történjen, hanem a kivitelező már a visszanyerést is, a saját gyártói igényeire és technológiai lehetőségeire tekintettel végezhetné.

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2020-00060 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2020-1.1.2-PIACI KFI pályázati program finanszírozásában valósult meg.

10. HIVATKOZÁSOK

[1]: Tóth, Cs., Pethő, L., Rosta, Sz. & Primusz, P. 2023: Performance assessment of full depth asphalt pavements manufactured with high recycled asphalt pavement content, *Acta Technica Jaurinensis*, Vol. 16, No. 1, pp. 18-26, 2023, <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00688>

[2]: Rosta, Sz. & Zvekán, F. 2022: Visszanyert aszfaltot tartalmazó aszfaltkeverék tervezése lágyabb bitumen felhasználásával, 10. évfolyam, 16. szám, *Útügyi Lapok*, ISSN: 2064-0919. <https://doi.org/10.36246/UL.2022.1.05>

[3]: Asphalt in Figures – Provisional Figures. 2021: European Asphalt Pavement Association, Brussels – Belgium, 2022.

[4]: National Asphalt Pavement Association, Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage: 2021, Information Series 138, December 2022, United States.

[5]: National Asphalt Pavement Association, High RAP Asphalt Pavements. 2015: Japan Practice – Lessons Learned, Information Series 139, December 2015, United States.

[6]: MSZ EN 12697-1, Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei, 1. rész: Oldhatókötőanyag-tartalom.

[7]: MSZ EN 12697-3, Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei, 3. rész. A bitumen visszanyerése: forgó bepárló.

[8]: Zvekán, F. & Rosta, Sz. 2022: RA bitumen vizsgálatok a visszanyert aszfalt felhasználás részeként, *Az Aszfalt*, XXIX. évfolyam 2022/2. szám, pp. 58-64.

[9]: Zvekán, F. 2022. Bitumen elegy tulajdonságok számítási és vizsgálati lehetőségei a visszanyert aszfalt felhasználás részeként, XV. HAPA Fialat Mérnökök Fóruma, 2022. november 8.

[10]: Rosta, Sz. & Gáspár, L. 2023: Útépítési bitumen és visszanyert bitumen elegyének dinamikai viszkozitás számítása és előrebecslési lehetősége, *Közlekedéstudományi Szemle*, LXXIII. évf. 1. sz., pp. 21-37, DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2023.1.2>

[11]: Rosta, S. & Gáspár, L. Dynamic viscosity prediction of blends of paving grade bitumen with reclaimed bitumen, *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*, 2023, kiadás alatt.

[12]: e-UT 05.02.11:2018/M1:2021 Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei (Az 1. sz. módosítással egységes szerkezetbe foglalva) 2021.12.15.

[13]: Nemesdy, E. 1971: Utak és autópályák pályaszerkezete, Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

[14]: Nemesdy, E. 1989: Útpályaszerkezetek, Útépítéstan II., Tankönyvkiadó, Budapest.

[15]: LPC Bituminous Mixtures Design Guide, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, September 2007.

[16]: Austroads 2014, Guide to pavement technology: part 4B: asphalt, 2nd edition, AGPT04B-14, Austroads, Sydney, NSW.

[17]: National Asphalt Pavement Association, Recycling Hot Mix Asphalt Pavements, Information Series 123, 1996.

[18]: Visnyovszky, Á. 2016: Benninghoven: Törtaszfalt visszadagoló rendszerek, *Az Aszfalt*, XX. Évfolyam 1.

[19]: George H. Simmons, Jr., Stockpiles, Technical Paper T-129, Astec, Chattanooga, US, 1996.

[20]: TL Asphalt-StB 07, Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen, ISBN: 978-3-939715-69-6, Ausgabe: 2007/Fassung 2013, FGSV, Bonn, Germany.

[21]: Wiederverwenden von Asphalt, Deutscher Asphaltverband (DAV), Bonn, Deutschland, 2014.

[22]: Bodnár, G. & Vass, E. 2001: Betonút Rt. Mezőkövesden felállított, dupladobos rendszerű aszfaltkeverő telepének szakmai bemutatója, *Az Aszfalt*, VIII. Évfolyam, 2001/1 szám.

[23]: Rosta, Sz. 2023: Magas visszanyert aszfalt tartalmú aszfaltkeverékek gyártása és beépítése lágyabb bitumen felhasználásával, XXIII. HAPA Nemzetközi Aszfalt Konferencia, 2023. 02.14-15. Siófok.

[24]: e-UT 05.02.15 - Útépítési aszfaltkeverékek. Visszanyert aszfalt 2008.

[25]: e-UT 05.02.15 - Útépítési aszfaltkeverékek. Visszanyert aszfalt 2023 (kiadás alatt).



Évszaki szorzók, talajteherbírési modulus számítása a mért behajlási teknők segítségével, billenőkaros behajlásmérés bizonytalansága

Zsichla László

Rodcont kft.

E-mail: rodcont@gmail.com

DOI: [10.36246/UL.2023.1.06](https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.06)

KIVONAT

Az útpályaszerkezet méretezését jelentősen befolyásolja az altalaj méretezési és a teherbírásmérés idejében az altalaj pillanatnyi teherbírási modulusa közötti jelentős eltérés. Jelen publikációban kétféle módszert mutatok be az altalaj mérés kori teherbírási modulusának számítására a mért behajlási teknő segítségével. A méretezési talajteherbírási modulus és a behajlásmérés időpontjában számított talajteherbírási modulus ismeretében számítjuk a mértékadó behajlást, így kiváltható a nagyon megbízhatatlan országos átlagon alapuló évszaki szorzók alkalmazása. Kiemelten foglalkozom a billenőkaros behajlásmérés megbízhatóságával, amit összehasonlítok az FWD típusú ejtősúlyos berendezésekkel. Mérésekkel igazolt módszert mutatok be a billenőkaros behajlásméréskor keletkező rugalmassági modulusok és az FWD típusú ejtősúlyos berendezésekkel mért behajlásméréskor keletkező rugalmassági modulusok közötti összefüggésre.

Kulcsszavak: behajlásmérés, útpályaszerkezet méretezése, talajteherbírási modulus

ABSTRACT

This article examines the possible usage of renewable energy in the operation of the M5 motorway, more specifically the possibility of using electric vehicle in motorway operation as well as the installation of solar system at the operation and maintenance centres.

Regarding the electric vehicle usage, a comparative analysis is made focusing on the electric vehicles as opposed to the existing vehicles in the fleet with detailed technical parameters. Based on the analysis of the performance indicators of the vehicles assigned to perform the dedicated tasks, 3 out of 58 vehicles can be replaced with electric vehicles.

With regard to the solar park, insight is given about the type and performance of the system that can be installed at the Operation and Maintenance Centres of M5 Motorway. The technical parameters and the return of the investment are also included.

Summarizing the above detailed considerations, the conclusion is evident that use of renewable energy has significance and meaning in the operation of the M5 motorway. Based on the results of the analysis solar park installation has been approved in Újhartyán, Kiskunfélegyháza and Balástya. The process has been initiated that will result in the introduction of renewable energy in operation of the motorway and further expansion of the project can be anticipated in the future. Utilization of renewable energy has been introduced based on considerations in terms of return, environmental awareness as well as the market advantage it provides for the company.

Keywords: deflection measurement, design of road structure, soil modulus

Zsichla László

A Rodcont kft. ügyvezetője. Kutatási területe, aszfaltkeverékek modifikálása, pályaszerkezetben keletkező feszültségek modellezése. Fő munkaterülete, burkolattechnológiai szakvélemények készítése úttervező cégek számára.

1. BEVEZETÉS

Magyarországon az útpályaszerkezet megerősítésnek méretezése MSZ [1] szabvány szerinti billenőkaros behajlasmérő eszközzel mért behajlásra alapul. A mérés időpontja szerint a mért behajlást - homogén útszakaszonként - az évszaki szorzó [2] (c_e) segítségével talajcsoportonként a mértékadó hónapra átszámítjuk.

Az évszaki szorzók talajcsoportonkénti értékének meghatározása országos un. etalon szakaszokon március –november hónapokban végzett folyamatos mérések segítségével történt [3].

A mérési eredmények nagyon nagy szórást mutattak, sőt az április és május hónapra „elvárt” legnagyobb behajlás egyes esetekben, főleg kötött talajok esetén augusztus hónapra esett. Agyag altalaj egy adott megyében 27 db etalon szakaszon a behajlásból számított havi szorzók minimum, maximum értékei egy adott évben mérve:

1. táblázat. Agyag talajokon mért havi szorzók min., max. értékei havi bontásban.

| Hónap | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Minimum | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,15 | 1,20 |
| Maximum | 2,38 | 1,67 | 2,46 | 1,90 | 2,84 | 1,99 | 1,76 | 2,46 | 2,74 |

Egy homogén szakaszra vonatkozóan a havi szorzó meghatározása úgy történt, hogy a legnagyobb behajlást eredményező hónapban mért behajlás értékét osztották az adott havi behajlás értékével. Az 1,00 értéket akkor kapjuk, ha abban a hónapban volt a mért legnagyobb behajlás.

Az 1. táblázat jól szemlélteti az évszaki szorzó alkalmazásában rejlő rendkívül nagy bizonytalanságot, még abban a kivételes esetben is, amikor minden hónapban mérünk behajlást.

Egy konkrét útszakaszon nem ismerjük a valós évszaki szorzót. Kötött talaj esetén a helyes évszaki szorzó értéke 1,00 – 2,84 között valószínű. Átmeneti talajoknál is hasonló eredményekre jutunk.

Azt gondolhatnánk, hogy homoktalajok esetén az eredmények lényegesen kedvezőbbek, de a 2. táblázatban a mérési eredmények ezt nem igazolják.

2. táblázat. Homok talajokon mért havi szorzók min., max. értékei havi bontásban.

| Hónap | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Minimum | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Maximum | 2,06 | 2,29 | 2,63 | 2,28 | 2,37 | 2,01 | 1,92 | 1,78 |

A jelenleg használt évszaki szorzók talajcsoportonként országos átlagot reprezentálnak, de a pályaszerkezet méretezéskor adott útszakaszon kell ezeket használni, ahol az országos átlag használata teljesen megbízhatatlan, rendkívül pontatlan. A pontatlanság következtében a pályaszerkezet méretezése vezethet túlméretezéshez, vagy alul méretezéshez. Mindkét eset jelentős nemzetgazdasági veszteséget okoz. A túlméretezésből eredő veszteség nem kompenzálja az alulméretezésből származó veszteséget, hanem növeli, ebből következően az évszaki szorzó pontosítása jelentős nemzetgazdasági érdek.

A probléma már a 1980-as évek végén is közismert volt [3], de az évszaki szorzók megbízható meghatározására a mai napig nem került sor annak ellenére, hogy az ejtősúlyos teherbírásmérő készülék által mért behajlási teknők adatai már több mint két évtizede rendelkezésre állnak.

A tanulmány célja adott homogén útszakaszra vonatkozó, a teherbírásmérés időpontjára jellemző évszaki szorzók megbízható számítása a mért behajlási teknők segítségével.

2. DINAMIKUS BEHAJLÁSMÉRÉS EREDMÉNYÉNEK ÁTSZÁMÍTÁSA STATIKUS BEHAJLÁSRA A JELENLEGI GYAKORLAT SZERINT

Hazánkban kétféle típusú készülék mér behajlási teknőt, az FDW típusú ejtősúlyos berendezések - a KUAB-ok és Dynatest készülékek és a gördülőkerekes Curviometer. A Magyar Közút üzemeltetésben lévő KUAB-ok 1200 mm-es behajlási teknőt mérnek ~20-25 ms teherfelhordási idővel, hasonló a Dynatest teherfelhordási ideje is. A Colas tulajdonában lévő eszköz teherfelhordási ideje ettől eltérő.

A Curviometer mérési sebessége ~18 km/h.

Az ugyancsak használatos Lacroix jelenleg csak legnagyobb behajlást mér – a behajlási teknő mérésére alkalmassá lehetne tenni -, mérési sebessége 3-4 km/h.

A továbbiakban elsősorban a 20-25 ms teherfelhordási idejű készülékekkel foglalkozom, mivel ez felel meg az e-UT 09.02.31:1998 „Dinamikus teherbírásmérés” UME előírásnak, és az ilyen készülékkel mért dinamikus teherbírási mérés eredménye számítható át az e-UT 09.02.34 UME szerint statikus behajlás értékre.

Az átszámítás a KUAB és az MSZ 2509/4-1989 szerinti billenőkaros mérés összeméréséből származik, 1998.-ban az összefüggés a következő volt:

$$S_{stat} = 1,37 S_{din} - 0,19 \quad (1)$$

$$S_{din} = d_o c_F c_T \quad (2)$$

$$c_F = 50\,000/F \quad (3)$$

$$c_T = 1,3 - 0,015 T_B \quad (4)$$

ahol

d_o - a terhelő tárcsa tengelyében mért dinamikus behajlás (mm)

F - terhelő erő (N)

c_F - kerékterhelési korrekciós tényező

c_T - hőmérsékleti korrekciós tényező

T_B - a burkolat felületének hőmérséklete (°C)

S_{stat} - számított statikus behajlás (mm)

Az összehasonlító mérés regressziója $R^2 = 0,925$ volt.

2006. évtől az (1) összefüggést megváltoztatták, mivel kis behajlások esetén az (1) negatív eredményt adott, ami irreális. Az új összefüggés:

$$S_{stat} = 1,2 S_{din} - 0,08 \quad (5)$$

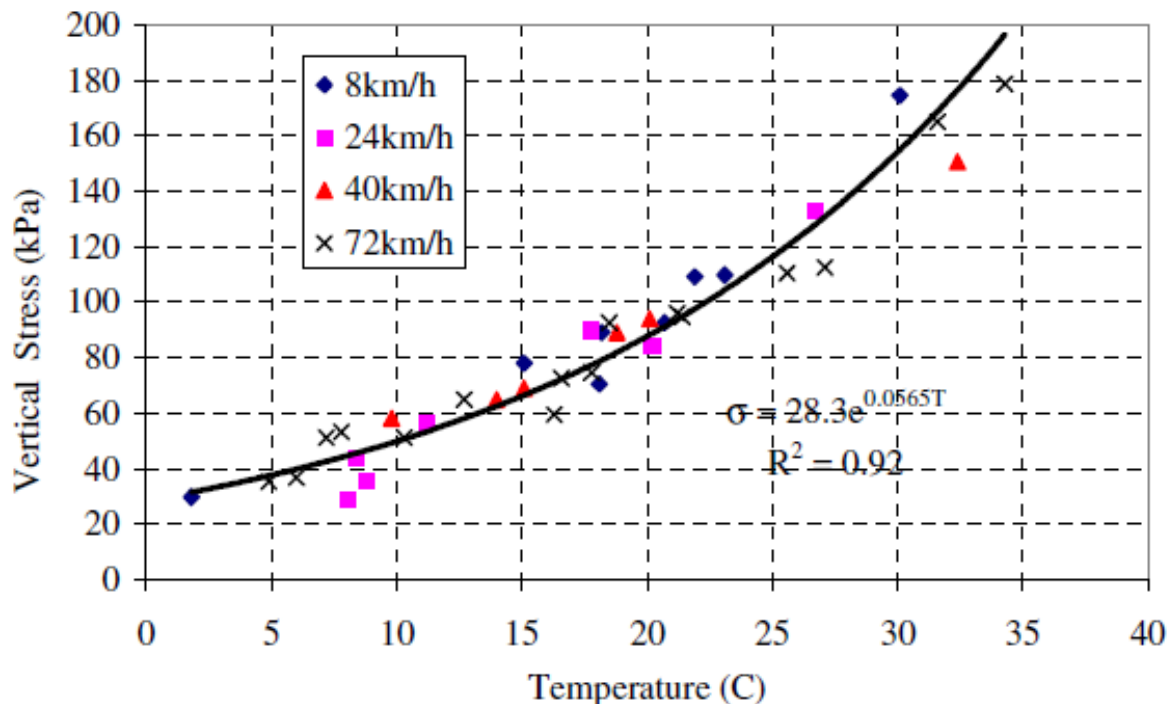
Az (1) és (5) lineáris összefüggés elméletig csak és kizárólag, akkor lehet helyes, ha a vizsgált pályaszerkezeti rétegek rugalmassági modulusa szinte teljesen azonos arányban változik a teherfelhordás sebességének függvényében.

Az állítás igazsága bizonyítható Love [4] és Burmister [5] egyenleteinek felhasználásával készült programokkal, pl. BISAR, ALIZE stb.

Ha minden réteg rugalmassági modulusának változása azonos a teherfelhordás sebességének függvényében, akkor az összehasonlító vizsgálat során az (1) és (5) összefüggésben nem szerepelhetne konstans érték. A konstansok azért szerepelnek az (1) és (5) képletekben, mivel az összemérések során így kapták a jobb korrelációt, de ennek nincs elméleti alapja.

Bár tudjuk, hogy a pályaszerkezeti rétegek rugalmassági modulusának változása a teherfelhordási idő függvényében nem teljesen azonos, de a gyakorlatban előforduló hőmérséklet és teherfelhordási idő tartományban közel azonos. USA Virginia államában több eltérő típusú

pályaszerkezetben 2000. május – 2000. július között mérték [6] a pályaszerkezeti rétegekben keletkező feszültségeket.



1. ábra. Az aszfaltréteg alatt mért nyomás különböző hőmérsékleten és terhelési sebesség mellett.

A nyomás mérése közvetlenül az aszfaltréteg alatt történt.

A mérési eredményekből az következik (1. ábra), hogy a pályaszerkezeti rétegekben kialakult feszültségek sokkal inkább függetlenek a terhelési sebességtől, a teherfelhordás idejétől, mintha azzal a feltételezéssel élnénk, hogy ettől függenek.

Amennyiben feltételezzük, hogy a kialakult feszültségek függetlenek a terhelési időtől, akkor szükségképpen azt is feltételezzük, hogy a terhelési idők aránya azonosan hat a pályaszerkezeti rétegek rugalmassági modulusainak változási arányára, vagyis ha pl. az aszfaltréteg rugalmassági modulusa a terhelési idő növelése miatt „k” értékkel csökken, akkor minden egyes további pályaszerkezeti réteg pl. általaj rugalmassági modulusa is közel azonos „k” értékkel csökken, miközben a terhelés hatására a pályaszerkezetben keletkező feszültségek változatlanok maradnak.

Ellenkező esetben, ha a hidraulikus kötésű útalapok vagy mechanikai stabilizációk, ill. az általajok rugalmassági modulusainak változása az aszfalt rugalmassági modulusának változásának arányától/hányadosától jelentősen eltérne, akkor a számított R^2 sokkal rosszabb lenne, sőt alig lenne regresszió.

Természetesen változatlan feszültség és arányosan csökkenő rugalmassági modulus mellett a fajlagos megnyúlások fordítottan arányosan növekednek, így a teljes összenyomódás, a behajlási teknő is fordítottan arányosan növekszik.

Az évszaki szorzó megbízható számításához először a billenőkaros és a dinamikus mérés közötti „k” érték meghatározása szükséges, ahol $E_{stat} = kE_{din}$ minden pályaszerkezeti rétegre.

3. DINAMIKUS BEHAJLÁSMÉRÉS EREDMÉNYÉNEK ÁTSZÁMÍTÁSA STATIKUS BEHAJLÁSRA A PÁLYASZERKEZETI RÉTEGEK RUGALMASSÁGI MODULUSAINAK ISMERETÉBEN

A dinamikus teherbírásmérés KUAB, Dynatest készülékek által mért behajlási teknőkből a kereskedelmi forgalomban elérhető visszszámoló programok segítségével, ALIZE, EVERCALC stb. lehetséges a pályaszerkezeti rétegek rugalmassági modulusainak számítása.

A programok használata során általában következő feltételekkel élünk:

- a. minden réteg homogén, izotrop,
- b. a rétegek lineárisan rugalmasan viselkednek az igénybevételi tartományban,
- c. a rétegek vízszintesen legalább 2,5 méterig terjednek,
- d. a rétegenkénti „ μ ” Poisson-szám nem változik,
- e. a rétegek vastagsága állandó,
- f. az alsó réteg egy végtelen féltér, vagy egy adott mélységig terjed, amely alatt a végtelen féltér már összenyomhatatlan.

A programok többsége csak kör alakú rugalmas terhelő tárcsát tud kezelni, amely tárcsa alatt egyenletes a feszültségeloszlás, mivel Love [4] ezekre a feltételre oldotta meg a differenciálegyenletet.

Love egyenleteinek felhasználásával oldotta meg Burmister [5] a többrétegű rendszereket.

Mint minden modell így a pályaszerkezetben keletkező feszültségeket és alakváltozásokat számoló programok is csak megközelítik a valóságot. A modell és valóság általában a feltételek hiányos teljesülése miatt tér el egymástól. Az a-f feltételek közül mindegyikről állíthatjuk, hogy csak korlátozottan teljesül. Ez különösen igaz akkor, amikor nem egy ponton mérünk, hanem egy homogén szakaszt vizsgálunk.

Homogén szakasz esetén elvárjuk, hogy a mért behajlások szórása/átlaga, relatív szórása 0,5 alatt maradjon.

Külön ki kell emelni a b. feltételt, mely szerint a pályaszerkezeti rétegek rugalmasan viselkednek, ami gyakorlatilag azt jelenti, hogy tehermentesítés után nincs mérhető tartós alakváltozás, deformáció.

A billenőkaros behajlásmérés esetén ezt nem kell külön igazolni, hiszen a mérés sajátja, hogy rugalmas visszaalakulást mér. A rugalmas visszaalakulás értéke független attól, hogy esetleg méréskor a terhelő gépkocsi gumiabroncsának a lenyomata megjelenik a burkolat felületén, ami egyértelmű jele a tartós alakváltozásnak, deformációnak.

Dinamikus mérések esetén a teljes összenyomódást mérjük, amelyben benne van az aszfaltrétegek lineáris viszkoelasztikus tulajdonsága miatti tartós alakváltozás is. A dinamikus mérések pontossága $\pm 0,002$ mm. A mért behajlási teknőt érdemben az ennél nagyobb tartós alakváltozás befolyásolná. A dinamikus mérés jellemzi az egység tengely áthaladást, ha tehát egy egység tengely áthaladás 0,002 mm tartós alakváltozást okozna, akkor már az „A” forgalmi terhelésnek megfelelő 10 000 egység tengely áthaladás esetén 20 mm lenne a nyomvályú.

A tapasztalat egyértelműen az, hogy a pályaszerkezetben keletkező tartós alakváltozás nem befolyásolja a mért behajlási teknőt, a tartós alakváltozás a mérési pontosságnál lényegesen kisebb. Így a pályaszerkezet lineárisan rugalmas viselkedésének feltételezése nem hiba, ha a mérést 4-72 km/h sebességgel, vagy ennek megfelelő terhelési idővel végezzük 30 °C-ot nem meghaladó aszfalt-pályaszerkezeti hőmérsékleten. A hőmérsékletet nem a burkolat felületére, hanem rétegenként a rétegvastagságok közepére vonatkoztatva értelmezzük.

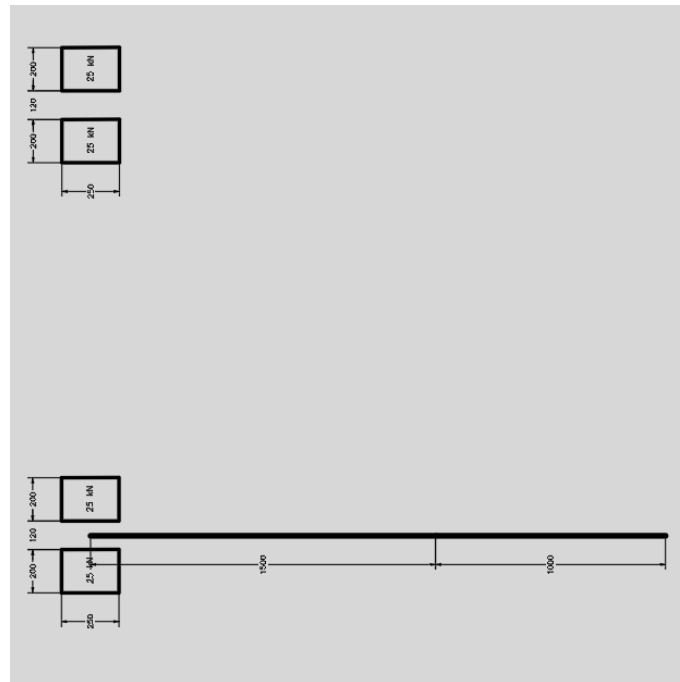
A lineárisan rugalmas viselkedés feltételezése közelítés, néhány program lineáris viszkoelasztikus viselkedést is figyelembe tud venni, ez különösen az aszfaltrétegek esetén lehet fontos, ahol a viselkedés viszkoelasztikus. A lineárisan rugalmas és a lineáris viszkoelasztikus modell közötti fő eltérés, hogy utóbbi esetén állandó feszültség mellett a fajlagos alakváltozás az idő függvényében változó. Azonban mindkét esetben igaz, hogy a feszültség arányos a fajlagos alakváltozással.

Abban az esetben, ha a deformációt, tartós alakváltozást is figyelembe akarjuk venni, akkor nemlineáris viszkoelasztikus modellekkel célszerű számolni, különösen nyári melegben, ha a teherfelhordás sebessége, a terhelés frekvenciája alacsony, pl. csomópontokban álló járművek ill. forgalmi torlódás miatti sebességcsökkenés esetén.

A helyszíni teherbírásmérést minden esetben 50 000 N terhelésre számítjuk, akár dinamikus, akár statikus billenőkaros vagy gördülőkeres mérésről van szó. A dinamikus FDW méréseknél az 50 000 N terhelésen kívül más egyéb számottevő terhelés nem éri a mérőpontot.

Más a helyzet a gördülőkeres és billenőkaros méréseknél. A mérések sajátosságának megfelelően (2. ábra) a terhelést adó tehergépkocsi hátsó tengelyén lévő mindkét ikerabroncsáról jut terhelés a mérőpontokra.

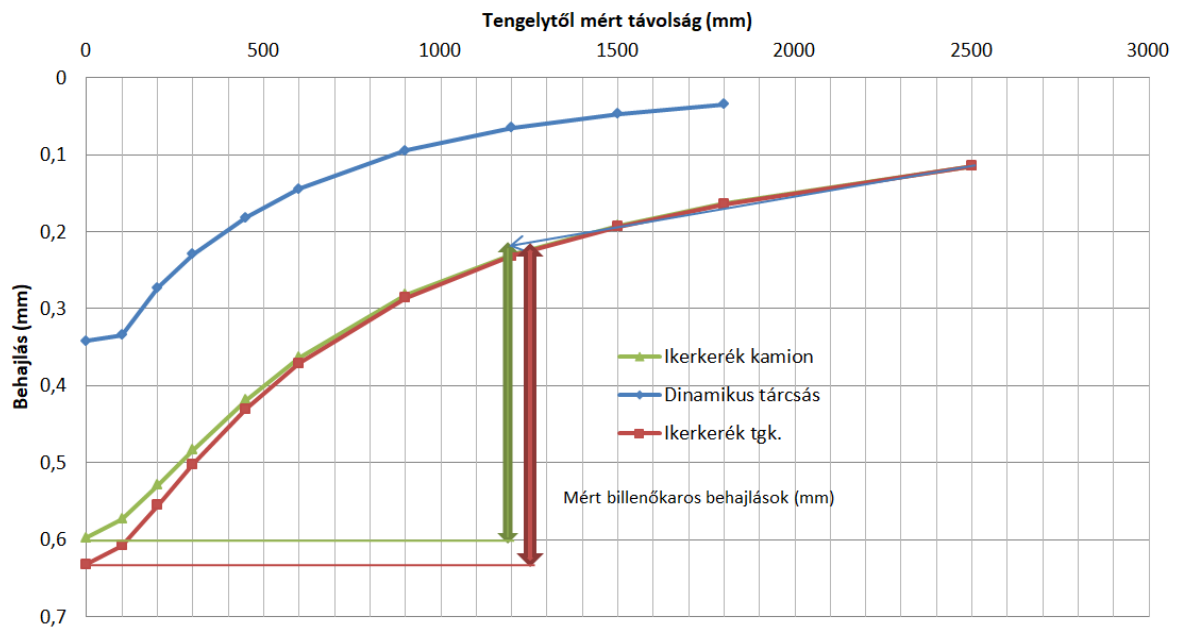
Billenőkaros mérés esetén az ikerabroncsok terhelését figyelembe kell venni a mérőcsúcsnál, 1500 mm, és 2500 mm-re a billenőkaros mérőkészülék lábainál. A szakirodalomban a billenőkaros mérésekre BB mérésnek szoktak hivatkozni, pedig jelentős az eltérés az országonként használt készülékek kialakításában, így a mért legnagyobb behajlás értéke is különbözik a készülék típusától függően.



2. ábra. Billenőkaros behajlasmérő elhelyezkedése a terhelő tehergépkocsi ikerkerekei között.

A hazai szabványos készüléknél még figyelembe kell venni, hogy a készülék 1200 mm-nél billen, fordul el. A tényleges mérés a mérőcsúcs és az 1200 mm-re lévő fordulópont között történik (3. ábra.), így kapjuk a behajlási értéket.

Az eltérő mérési módszerek esetén kapott behajlási teknőket (3. ábra) félig merev pályaszerkezeten mutatom be, ahol a 3. táblázat szerinti pályaszerkezeti rétegek kedvezőtlenül nem dolgoznak együtt.



3. ábra. Behajlási teknők különböző terhelési módok esetén.

Az UME szerint mért dinamikus behajlási teknőből visszszámított rétegenkénti rugalmassági modulusok és a statikus rugalmassági modulusok közötti arány saját méréseink és számításaink szerint 1,71.

3. táblázat. Pályaszerkezeti rétegek vastagsága és visszszámított dinamikus rugalmassági modulusa.

| Vastagság (mm) | Réteg típusa | Rugalmassági modulus (Mpa) | |
|----------------|--------------|----------------------------|----------|
| | | Dinamikus | Statikus |
| 145 | aszfalt | 2100 | 1228 |
| 150 | Ckt-4 | 1200 | 702 |
| 200 | Cth-2 | 650 | 380 |
| | altalaj | 174 | 102 |

A 3. ábrán az ikerkerekek által okozott behajlási teknőt a 3. táblázat szerinti statikus rugalmassági modulusokkal számoltam, figyelembe véve a szomszédos ikerkerék terhelését is. Az ikerkerék „kamion” nyerges vontató és a nehéz tehergépkocsi által okozott behajlási teknők azért térnek el egymástól, mivel az ikerabroncsok alatt kialakult keréklenyomatok, a terhelési felületek és a feszültségeloszlások is különbözőek.

Az ikerabroncs által okozott behajlási teknő számításánál azt is figyelembe kell venni, hogy a feszültségeloszlás a gumiabroncs alatt nem egyenletes [6].

Nyerges vontató esetén a kerék szélessége 315 mm, míg tgg. esetén 200 mm, az abroncsnyomás 0,8 MPa, míg tgg. esetén 0,6 MPa. A szélesebb abroncs azonos terhelésnél kisebb behajlást eredményez, viszont nagyobb függőleges feszültségeket okoz, ami növeli a deformációt, a nyomvályú kialakulásának sebességét.

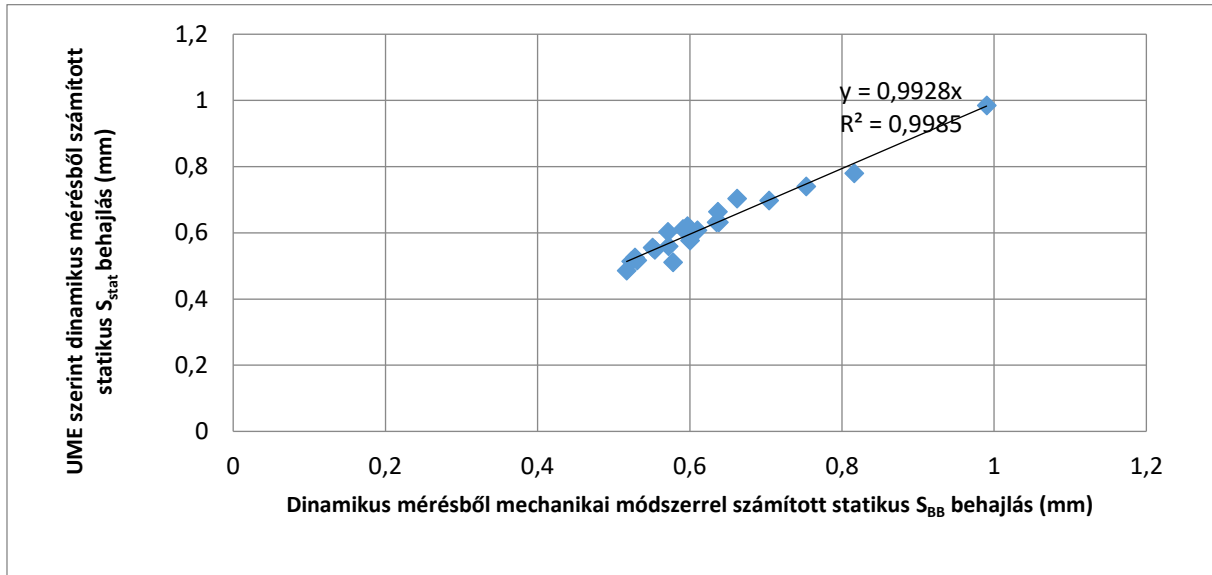
A billenőkaros behajlásmérő minden esetben a terhelés hatására létrejött behajlási teknőben mér, így a mért behajlás függ a behajlási teknő alakjától, ami pedig függ a pályaszerkezet felépítésétől.

A kérdés, hogy az eltérő behajlási teknők milyen mértékben befolyásolják a mért billenőkaros behajlást.

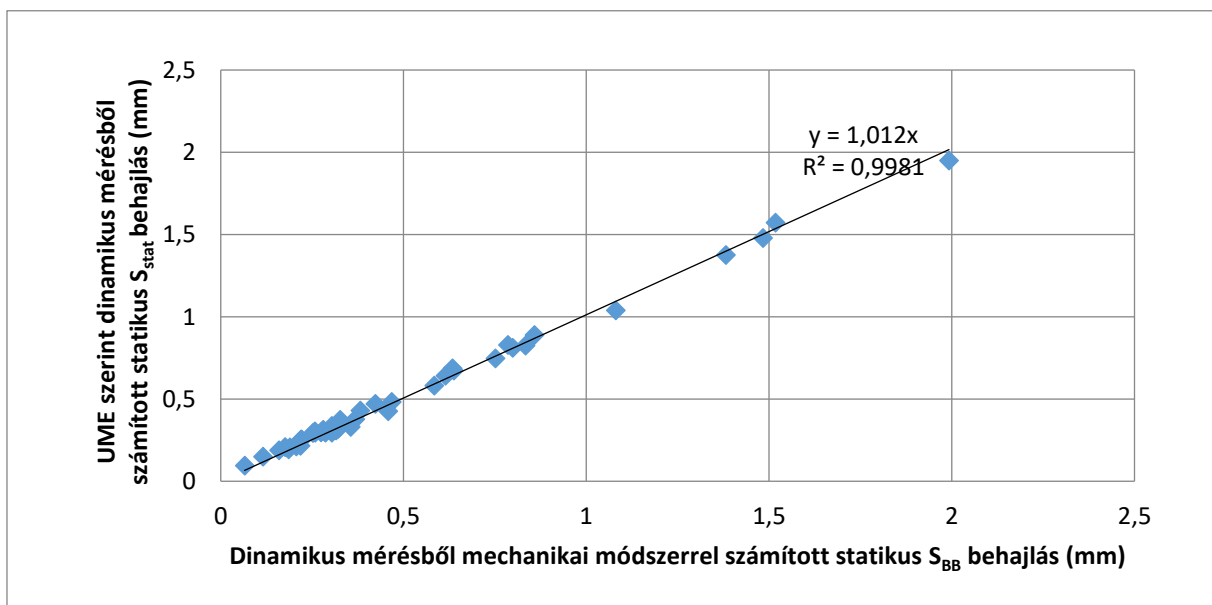
A $k=1,71$ arányt 2022. évi mérésekből határoztam meg. A 22. j. főúton a KUAB készülékkel mértünk 25 ms terherfelhordási idővel és max. 1200 mm méretű behajlási teknővel (4. ábra), a 451. j. főúton

Dynatest készülékkel mértünk, ahol a behajlási teknő 1800 mm (5. ábra). A mért szakaszokon félig merev, hajlékony pályaszerkezetek fordultak elő, nagyon vegyes pályaszerkezettel.

A dinamikus behajlásból hőmérsékleti korrekció nélkül számítottuk az (5) szerinti szabványos behajlást, amit összehasonlítottunk a „k” tényezővel számolt statikus rugalmassági modulusok segítségével számolt S_{BB} billenőkaros behajlással, ahol a nyerges vontató ikerkerék terhelését vettük alapul.



4. ábra. KUAB által mért dinamikus behajlásból UME szerint számított statikus behajlás összehasonlítása a visszaszámított „k” tényezővel számított statikus rugalmassági modulusokból számított billenőkaros behajlással a 22. j. főúton.



5. ábra. Dynatest által mért dinamikus behajlásból UME szerint számított statikus behajlás összehasonlítása a visszaszámított „k” tényezővel számított statikus rugalmassági modulusokból számított billenőkaros behajlással a 451. j. főúton.

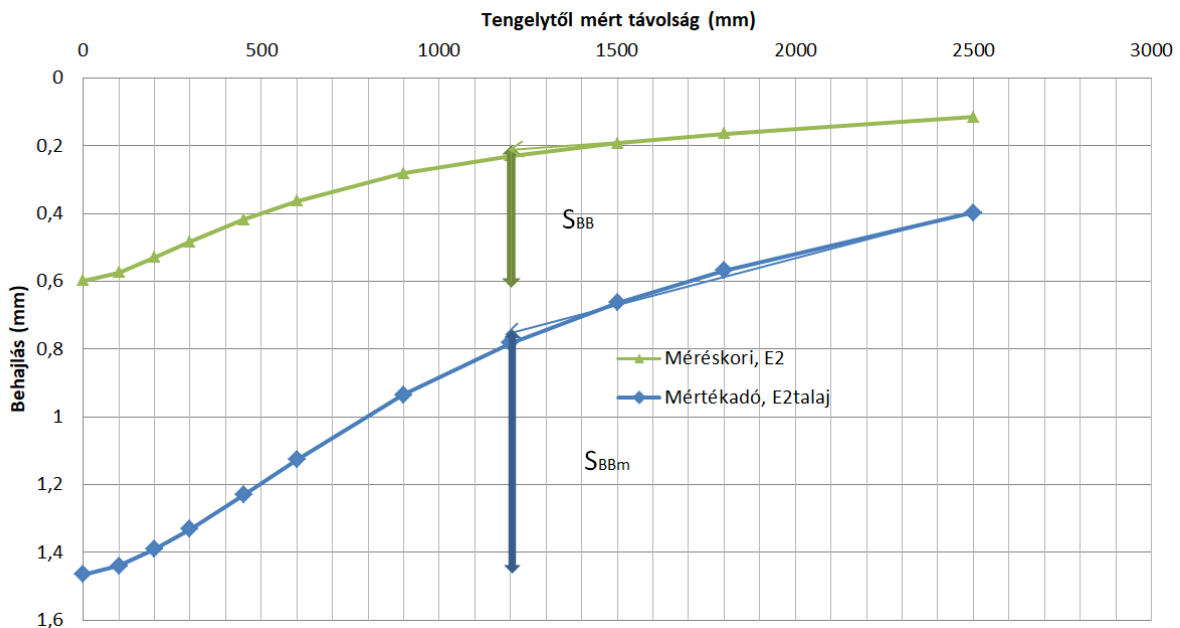
Az általaj teherbírását az 1200 mm, 1500 mm, és 1800 mm távolságban lévő mért érték segítségével pontosítottuk. Az általaj teherbírási értékét, akkor fogadtuk el, ha a mért és számított behajlás értéke a mérési pontosságon belülre esik $\pm 0,002$ mm.

Az 1200 mm behajlási teknő esetén ez nem lehetséges, ekkor a 900 mm és az 1200 mm az alapja az altalaj teherbírásának, de ebben az esetben az $RMS\% < 1,5\%$ a feltétel.

A „k” tényezőt budapesti munkáknál is ellenőriztük, ami megerősítette az 1,71 értékű „k” tényező helyességét.

A statikus rugalmassági modulusok és az ikerkerék terhelése alapján (2. ábra) számíthatjuk a statikus behajlási teknőt és a legnagyobb behajláshoz tartozó S_{BB} behajlást (3. ábra).

Az útszakaszra jellemző altalaj talajcsoportjának ismeretében az e-UT 06.03.13:2005 5.1 táblázata alapján felvett E_{2talaj} talaj teherbírasi modulussal ismételten számítjuk a billenőkaros behajlás S_{BBm} mértékadó értékét. A két behajlás értékének hányadosa (6. ábra) adja az évszaki szorzót.



6. ábra: Ikerkerekek között számított billenőkaros behajlások a mérés kori talajteherbírás S_{BB} és a mértékadó talajteherbírás alapján S_{BBm} .

$$c_{\epsilon} = S_{BBm} / S_{BB} \tag{6}$$

A 3. táblázatban szereplő szakaszon az $S_{BB} = 0,382 \text{ mm}$, $S_{BBm} = 0,722 \text{ mm}$, $c_{\epsilon} = 1,89$

A 451. j. főúton a számított évszaki szorzók 1,39- 2,3 között változtak, a legkisebb évszaki szorzót ott kaptuk, ahol az út mellett közvetlenül vizes terület van. Itt a mért dinamikus talajteherbírás csupán 59 MPa, ami statikusan 35 MPa-t jelent, ezen a szakaszon a rendkívüli szárazság ellenére az altalaj a mértékadó teherbírás közelében volt.

A számított évszaki szorzók értékei jelentősen meghaladják az e-UT 06.03.13:2005 7.1 táblázatában megadott maximumot, de az 1. táblázat 1987. évben ténylegesen mért etalon szakaszok értékein belül maradnak annak ellenére, hogy a 2022. év rendkívül aszályos volt.

Az altalaj pillanatnyi víztartalma nemcsak a korábban lehullott csapadék mennyiségétől függ, hanem számtalan tényező mellett a talajvíz szintje és az altalaj talajcsoportja is befolyásolja. Természetesen a vízgyűjtőre lehullott csapadék, a folyók távolsága hat a talajvíz szintjére, az összefüggések azonban sokkal bonyolultabbak, összetettebbek, mintsem csupán a lehullott csapadék alapján az altalaj víztartalma, teherbírása megbízhatóan becsülhető lenne.

A leírt módszerrel az altalaj mérés kori teherbírása számítható, így az évszaki szorzó az eddigi módszereknél lényegesen megbízhatóbban határozható meg.

4. BILLENŐKAROS BEHAJLÁSMÉRÉS BIZONYTALANSÁGAI

A hatályos méretezési utasításunk a billenőkaros behajlásmérésen alapul, de a mérés a korszerű és pontos dinamikus mérésekhez képest rendkívül bizonytalan, megbízhatatlan, ezért időszerű lenne ennek a mérési módnak elhagyása a méretezési módszerünkéből.

A billenőkaros teherbírásmérést statikus mérésnek hívjuk, de ez egyáltalán nincs így. A „statikus” és dinamikus mérések közötti eltérést a mérés természetén, körülményén kívül - amit már előzőleg tisztáztunk és pontosítottunk - döntően a terhelési idő különbsége okozza.

Dinamikus méréseknél a felterhelési idő, jelen esetben 25 ms viszonylag pontos érték, evvel szemben a billenőkaros behajlásmérésnél a mérést végző személyzettől függ a mérés időtartama.

Nem elhanyagolható, hogy a terhelő gépjármű leállított motorral vagy járó motorral terhel. Általában utóbbi a mérési körülmény, e miatt a teljes pályaszerkezet „rezeg”.

Szintén nem elhanyagolható, hogy a terhelő jármű mióta terheli a mérőhelyet, és a tehermentesítés után mikor olvassuk le a mérőórákat.

Az is befolyásolja a mérés eredményét, hogy a szembejövő sávon mekkora a teherforgalom, ez utóbbi nem csak azért fontos, mert dinamikus többletterhelést okoz, hanem azért is, mert feszültségmentesíti a pályaszerkezetet a mérő oldalon, ennek következtében megnöveli a mért behajlást.

Minden típusú mérésnél a felterhelési idő függvényében a tehermentesítés után a teljes pályaszerkezetben és magában a földműben is visszamarad feszültség. A jelenség nem anyagállandó, abban az értelemben, mint a rugalmassági modulus, de függ tőle.

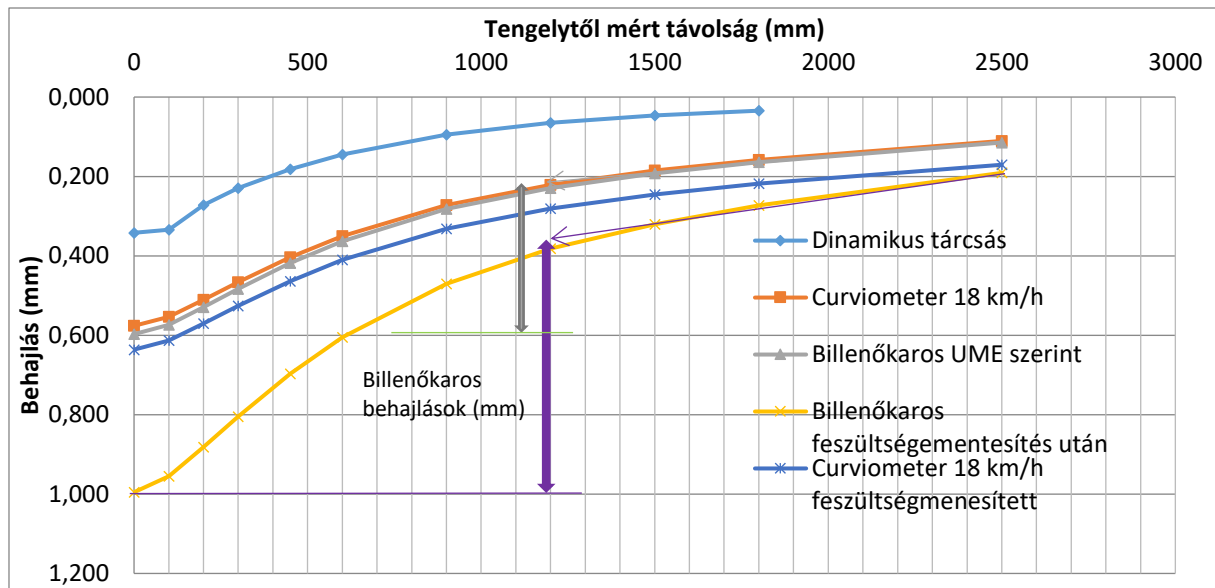
A jelenség eltér minden ismert anyagmodelltől, mert nem fejezhető ki az idő folytonos függvényeként.

A legjobban úgy tudjuk szemléltetni, mint a hüvelybe helyezett acél rugót, amely szorosan érintkezik a hüvely oldalával, ami érdes és finom homokkal szennyezett. Ha a rugót terheljük összenyomódik, a tehermentesítés után azonban a szennyeződés miatt „akadni” fog, nem nyeri vissza azonnal az eredeti alakját. Ha a hüvely falát rezgetjük, akkor a rugó idővel az eredeti alakját visszanyeri, vagyis feszültségmentessé válik a rugó. A feszültségmentesülés folyamata nem jellemezhető, modellezhető az idő folytonos függvényel.

Statikus mérésnél, főleg új pályaszerkezetek esetén a tömörödés valós jelenség, de a forgalom hatásának kitett pályaszerkezetek esetén már nem valószínű, dinamikus méréseknél pedig kizárható, hogy a teherbírásmérés közbeni tömörödés a mérhető tartományba esne.

Billenőkaros behajlásmérés esetén a pályaszerkezetben jelentős feszültség marad vissza, ebből következően a rugalmas visszaalakulás alapján mért behajlást a maradó feszültség befolyásolja. 1985. évben saját méréseink [3] alapján vizsgáltuk a feszültségmentesítés hiánya miatt a mért behajlásban elkövetett hibát, amely a pályaszerkezet függvényében 0,1-0,5 mm körül volt.

A billenőkaros behajlásmérésen kívül nincs más olyan helyszíni teherbírásmérés, ahol rugalmas visszaalakulást mérnénk. A gördülőkeres mérések és az FWD mérések esetén mindig a teljes behajlást mérjük, vagyis nem számít, hogy mekkora a maradó feszültségből származó - a mérési időn kívüli - rugalmas visszaalakulás mértéke. Az FWD méréseknél, ahol a mérőkészülék tömege elhanyagolható, evvel nem kell számolni. A gördülőkeres méréseknél az első kerekek terhelése már nem elhanyagolható. Az első kerék terheléséből visszamarad feszültség, ami hat a hátsó kerekek által okozott teljes behajlásra, annak értékét csökkenti a maradó feszültségtől függően. Ezt a hatást szemléltettem a 7. ábrán, ahol az eredeti Curviométeres mérés és az elméleti feszültségmentesítés utáni behajlási teknőt ábrázoltam. A következmény a behajlási teknő párhuzamos eltolódása.



7.ábra: A 3. táblázatban megadott pályaszerkezeten számított behajlási teknők különböző mérési módszerekkel.

FDW mérésnél is előfordulhat, hogy nagy nehézforgalom esetén ráterhelnek a mérőpontra, amely ponton a pályaszerkezet a mérés megkezdésekor még nem tehermentesült. A nehéz teherforgalom sebessége viszont elég magas, így a hatás is kicsi (8. ábra).

FDW méréseknél legalább két mérésre van szükség, ezért az első mérés miatt a pályaszerkezetben már lesz maradó feszültség, ennek következtében terhelésenként a mért behajlás ~1%-al csökken, három felterhelés esetén ~2%, ami minden mérőpontra kivétel nélkül igaz. A behajlási teknő eltolódása nem párhuzamos, hanem mérőpontként %-os érték, hasonlóan a billenőkaros behajlásméréshez, ahol a pályaszerkezetben maradó feszültség egy horizontálisan nem mozgó pontból származik.

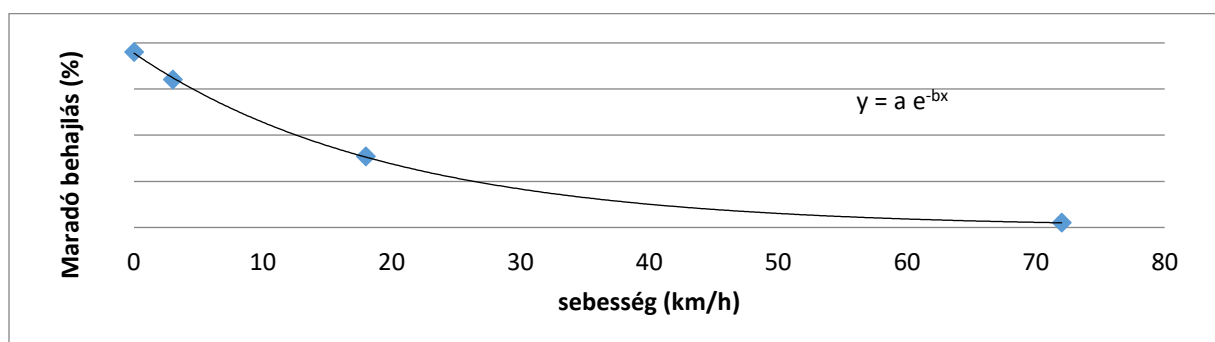
Curviométeres méréskor a pályaszerkezetben maradó feszültség miatt egy állandó hiba keletkezik, amit a mért behajlási teknők alakja szerinti rugalmassági modulusok visszaszámításnál minden esetben észlelünk, ha ábrázoljuk a visszaszámítás eredményeit számítás közben.

A visszaszámításnál jelentkező hiba állandó, ezért viszonylag egyszerűen korrigálható eltolással.

Billenőkaros behajlásmérésnél a maradó feszültségből származó összenyomódás nem elhanyagolható és nem korrigálható, mivel nem mérünk behajlási teknőt. A 7. ábrán egy szélsőséges esetet tüntettem fel, ahol a dinamikus teherbírásmérésből számított (Billenőkaros UME szerint) kapott behajlást hasonlítottam egy elméletileg „tökéletesen” feszültségmentesített behajlási teknőben mért billenőkaros behajláshoz.

A billenőkaros mérésre hatással van a mérőórák leolvasásának gyorsasága, valamint a leolvasás idejében elhaladt nehéz teherforgalom mértéke, amely hatékony feszültségmentesítést eredményez

A különböző terhelési idejű készülékek mérési tapasztalata alapján a következő becslést adom a mérést követően a pályaszerkezetben maradó összenyomódás, behajlás és a terhelés sebessége közötti összefüggés jelleggörbéjére (8. ábra).



8.ábra. A mérőkocsi sebessége és a maradó nem mért behajlás jelleggörbéje.

Végül rátérhetünk az 1998. évi (1) és a 2006. évi (5) átszámítások lehetséges okainak magyarázatára, ahol feltételezzük, hogy mindkét esetben a kutatók, akik a méréseket végezték lelkiismeretes munkát végeztek, vagyis mindkét esetben a mérések jók voltak. Az eltérés az MSZ szerinti mérés ismételhetőségének alacsony megbízhatóságával magyarázható.

Lehetséges fő eltérések a két vizsgálat során, amit a mérési szabvány [1] nem szabályoz:

- az ikerkerekek abroncsainak mérete és abroncsnyomása
- a terhelési idő, a mérési időtartama
- a tehermentesítés után a leolvasási idő
- a nehézármű forgalom a leolvasási idő alatt
- a pályaszerkezet felépítése, vastagsága

5. ÉV SZAKI SZORZÓ SZÁMÍTÁSA KÖZVETLENÜL A DINAMIKUS MÉRÉSEKBŐL

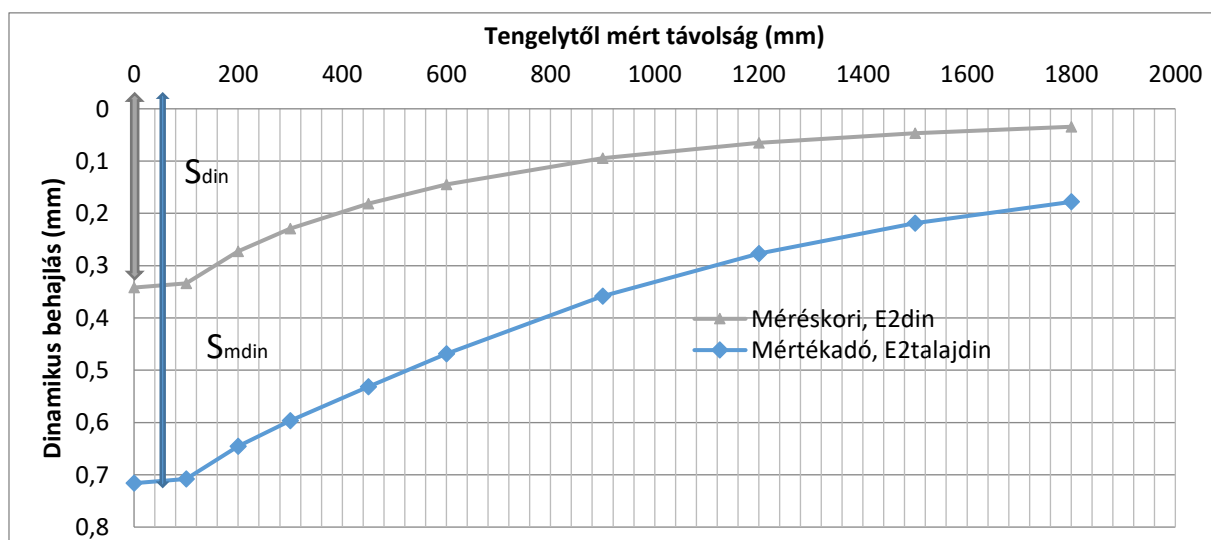
Az évszaki szorzók meghatározása a (6) szerint a dinamikus mérésekből statikusra átszámított rugalmassági modulusokkal történt. Az évszaki szorzók azonban közvetlenül a dinamikus mérésekből is számíthatók.

A homogén útszakaszon a dinamikus mérésből a körtárcsa tengelyében mérve kapjuk a behajláshoz tartozó S_{din} behajlást (9. ábra).

Az útszakaszra jellemző altalaj talajcsoportjának ismeretében az e-UT 06.03.13:2005 5.1 táblázata alapján felvett E_{2talaj} talaj teherbírási moduluszt az 1,71 „k” értékkel felszorozzuk, így megkapjuk a mértékadó $E_{2talajdin}$ talajteherbírást, amellyel számítjuk a dinamikus tárcsás mérés S_{mdin} legnagyobb behajlás mértékadó értékét. A két behajlás értékének hányadosa (9. ábra) adja a dinamikus évszaki szorzót. A dinamikus és a statikus évszaki szorzó közel azonos, de a billenőkaros behajlás alapján meghatározott évszaki szorzó a mérés sajátosságai miatt ettől eltér, kevesebb.

$$c_{édin} = S_{mdin} / S_{din} \tag{7}$$

A 3. táblázatban szereplő szakaszon az $S_{din} = 0,342 \text{ mm}$, $S_{mdin} = 0,716 \text{ mm}$, $c_{édin} = 2,09$



9. ábra. FDW behajlások a mérés kori dinamikus talajteherbírást E_{2din} és a mértékadó dinamikus talajteherbírást $E_{2talajdin}$ alapján

Behajlási teknő mérésére alkalmas készülék a gördülőkeres Curviométer is, amely készüléket szintén használjuk hazánkban. A Curviométer által előállított behajlási teknőkből is vissza lehet számolni a pályaszerkezeti rétegek rugalmassági modulusát, ezért az évszaki szorzók is számíthatók.

A Curviométer és a dinamikus ejtősúlyos készülékek eltérő terhelési idővel rendelkeznek, ezért szükséges a készülékek közötti átszámítás módszer elméleti és összemérés alapján megalapozott igazolása.

Azt már tudjuk, hogy a 8-72 km/h sebességű terhelő tehergépkocsik 0-35 °C hőmérsékleti tartományon belül a vizsgálatban szereplő pályaszerkezetekre vonatkozóan a rugalmassági modulusokat közel azonos mértékben, arányban változtatják [7].

A BME Építőanyagok Tanszékén dr. Zsigovits Istvánnal az INSTRON készülékén 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0 mm/perc terhelési sebesség mellett vizsgáltunk aszfalt keverék mintákat 25 °C-on.

A mérési eredmények feldolgozása után a kapott összefüggések:
exponenciális

$$E_r = c f^{0,15} \tag{8}$$

logaritmikus

$$E_r = a - b \ln(T) \tag{9}$$

ahol:

- E_r - rugalmassági modulus (MPa)
- f - mérési frekvencia (Hz)
- T - felterhelési idő (sec)
- a, b, c - constansok (MPa)

A 0,1 – 10 Hz tartományon belül a (8), vagy (9)-nek teljesülnie kell minden egyéb mérésre, így a helyszíni teherbírásmérésekre is, azt azonban figyelembe kell venni, hogy az összefüggést a hőmérséklet is befolyásolja [8].

A következő mérési módokra határoztam meg a mérési frekvenciákat:

4. táblázat. Mérési frekvenciák mérőeszközönként.

| Mérés típusa | Sebesség (km/h) | Terhelési idő (sec) | Frekvencia (Hz) |
|---------------|-----------------|---------------------|-----------------|
| Billenőkáros | - | ~60 | ~0,008 |
| Lacroix | 3 | 4,8 | 0,104 |
| Curviometer | 18 | 0,8 | 0,625 |
| Dynatest&KUAB | - | 0,025 | 20,00 |

Billenőkáros terhelés esetén a ~60 s becslés, míg a Lacroix és a Curviométer esetén 4 méter távolság megtételéhez szükséges időből számoltam. A Dynatest és a Magyar Közút által használt KUAB esetén az alkalmazott frekvencia mérési paraméter.

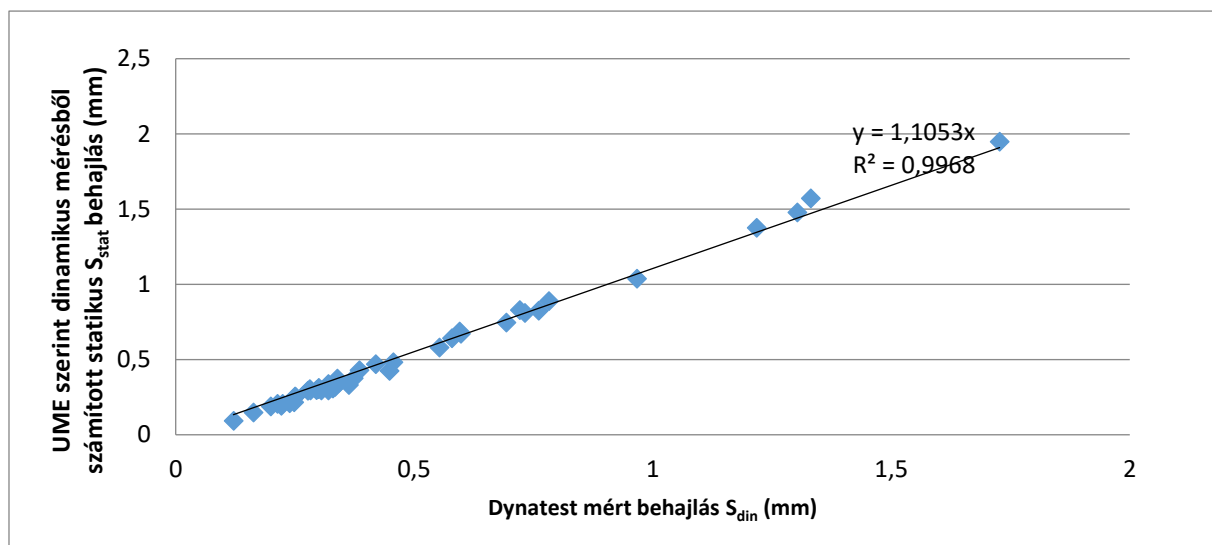
A 2021. évi összemérés során a Curviométer és a Dynatest méréssel a kapott arány „k” tényező 1,65; míg az exponenciális (8) összefüggéssel kapott érték 1,68.

5. táblázat. Rugalmassági modulusok változása mérőeszközönként.

| Típus | Curviometer | FDW&KUAB |
|-------------|-------------|-------------|
| Lacroix* | 0,76 | 0,45 |
| Curviometer | 1,00 | 0,60 |
| FWD&KUAB | 1,68 | 1,00 |

*Nincs összemérés

A dinamikus tárcsás mérésekből nemcsak az (5) szerint számított behajlást tudjuk összehasonlítani a mérésekből számított billenőkaros behajlással (5. ábra), hanem összehasonlíthatjuk a dinamikus teherbírásmérés mért értékével is. Így megkapjuk az (5) UME előírást jól közelítő, elméletileg megalapozottabb – a konstans tagot nem tartalmazó -(10) összefüggést (10. ábra).



10. ábra. Mért dinamikus behajlás és az UME szerinti számított statikus behajlás közötti összefüggés.

$$S_{stat} = 1,105 S_{din} \tag{10}$$

A mért billenőkaros behajlás és a dinamikus behajlások közötti arány (10) 1,105.

A Curviometer és a Dynatest méréseknél a dinamikus rugalmassági modulusok aránya 1,65, míg a Dynatest és a billenőkaros behajlás rugalmassági modulusok aránya 1,71, ezért a Curviométer és a billenőkaros mérés rugalmassági modulusainak aránya $1,71/1,65 = 1,04$.

A kétrétegű rendszerre egyszerűsített modellek alkalmazása esetén az évszaki szorzó számításánál az e-UT 06.03.13:2005 5.1 táblázata alapján felvett E_{2talaj} talaj teherbírási moduluszt az 1,04 értékkel kell felszorozni, ha a Curviométer behajlási teknőjéből kívánjuk az évszaki szorzót meghatározni.

$$E_{2talajcurv} = 1,04 E_{2talaj} \tag{11}$$

6. ÉVSZAKI SZORZÓK SZÁMÍTÁSÁNAK MENETE TÖBBRÉTEGŰ ÉS KÉTRÉTEGŰ RENDSZERBEN

Pontos számítási modelleknek azokat tekinthetjük, amelyek segítségével a mért behajlási teknőből a pályaszerkezeti rétegek rugalmassági modulusa visszaszámítható. A módszerek hátránya, hogy minden esetben valamilyen a kereskedelmi forgalomban hozzáférhető program használatához van kötve, amelyek közvetlenül nem csatolhatók a mérési eredmények feldolgozási programjaihoz, vagyis használatuk nehézkes, bonyolult és nagyon időigényes.

Az évszaki szorzók számítására, ezért megadok egy egyszerűsített kétrétegű rendszeren alapuló közelítő módszert is.

Bármilyen módszer, programok használata esetén első lépésben a mérési eredményekből először homogén szakaszokat képzünk, ahol törekedni kell arra, hogy legalább 30 mérési pont álljon rendelkezésre. Homogén szakaszokképző a forgalom, a pályaszerkezet felépítése, a mért legnagyobb behajlás, a mérési hőmérséklet és az útszakasz állapota.

A mérési hőmérsékletet általában nem szoktuk homogén szakaszokképzőnek tekinteni, mivel a (4) szerint korrigálhatjuk a legnagyobb behajlás értékét. A mérési tapasztalat szerint sok esetben – főleg napsütéses időszakban – a mért burkolat-hőmérséklettel korrigálatlan, „nyers” adatok szórása lényegesen kisebb, mint a hőmérséklettel korrigált adatoké, ami azt jelenti, hogy a korrekció nem megfelelő, nem éri el célját.

Következő lépés a homogén szakaszonként a behajlási teknő minden pontjára – 0; 200; 300; 450; 600; 900; 1200; 1500; 1800 - a mértékadó behajlások számítása.

Az így nyert behajlási teknőből számítjuk vissza pályaszerkezeti rétegenként és az altalajra vonatkozó rugalmassági modulusokat.

A pályaszerkezeti rétegek vastagságát és típusát fűrt mintákból és az OKA adatbázisból együttesen határozzuk meg. OKA adatbázisból kapjuk a homogén szakaszra vonatkozó talajcsoportot is, de a talajmechanikai vizsgálaton alapuló talajcsoport meghatározása lényegesen pontosabb, megbízhatóbb adatokat szolgáltat.

Az egyes pályaszerkezeti rétegek együttdolgozására vonatkozóan a visszaszámítás során teszünk előfeltételezést, amelynek helyességét, vagy helytelenségét a számított és mért behajlási teknő közötti eltérés igazolja vagy cáfolja.

A visszaszámítás során kapott behajlási teknő legnagyobb behajlási értéke az S_{din} .

Adott mérési módhoz meghatározzuk a mértékadó dinamikus talajteherbírást:

Curviométer esetén: $E_{2talajcurv} = 1,04 E_{2talaj}$

Dynatest és a Magyar Közút KUAB készüléke esetén: $E_{2talajdin} = 1,71 E_{2talaj}$

A visszaszámításból kapott pályaszerkezeti rétegek rugalmassági modulusaival és a mértékadó $E_{2talajcurv}$ vagy $E_{2talajdin}$ a mérési módtól függő dinamikus talajteherbírással kiszámoljuk a legnagyobb behajlás értékét S_{mdin} . Az évszaki szorzó, így a (7) szerint már számítható.

A 3. táblázatban szereplő rétegrenddel Dynatest méréssel az évszaki szorzó $c_{edin} = 1,98$ a BISAR program alapján, saját Rodcont programunkkal 2,05.

A visszaszámító programok hozzáféréseinek korlátozott volta és bonyolult kezelhetőség miatt az évszaki szorzó számítását egyszerűsített kétrétegű rendszerre is megadom.

A kétrétegű rendszert úgy értelmezzük, hogy a pályaszerkezeti rétegeket az útalappal együtt pl. rakott alap összevonjuk egy réteggé, amely alatt már csak az altalaj van.

Méréskor ill. a mérési eredmények feldolgozásakor az OKA adatbázisból, vagy helyszíni vizsgálatokból kapjuk a teljes pályaszerkezet vastagságát és a talajcsoportot.

A 3. táblázat adatait figyelembe véve a rétegvastagság 495 mm az $E_{2talaj} = 30$ MPa,

Dynatest mérést feltételezve, $E_{2talajdin} = 1,71 E_{2talaj} = 51$ MPa.

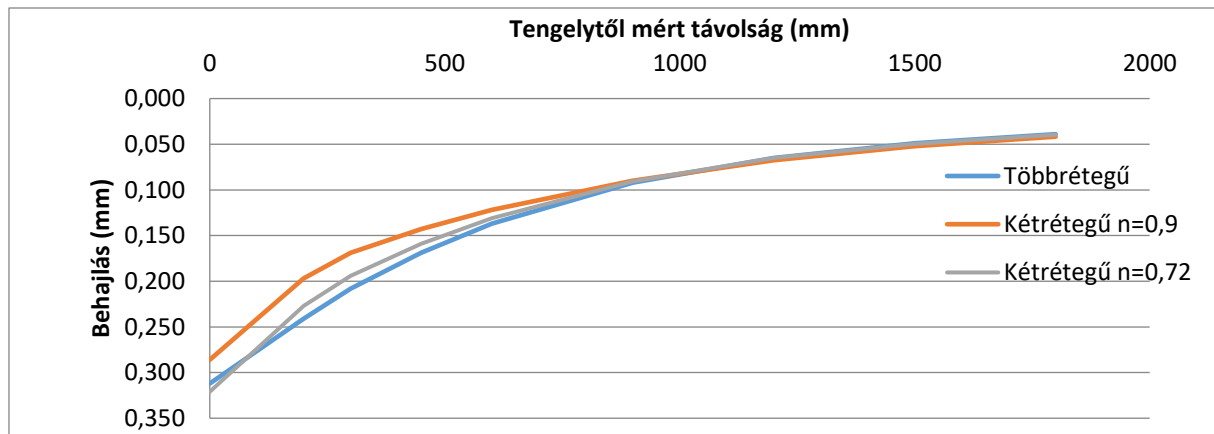
Ismeretlen viszont a mérés kori E_a talajteherbírást és az E_f a $h = 495$ mm vastagságú összevont pályaszerkezet rugalmassági modulusa.

Mielőtt rátérnék az egyszerűsített számítás ismertetésére a BISAR program segítségével bemutatom a többrétegű és a kétrétegűre összevont rendszer közötti lényeges eltérést a 3. táblázat adatai alapján. Mind a kétrétegű, mind a többrétegű rendszerre a számításokat a BISAR programmal végeztem.

A többrétegű rendszer az eredeti rétegrendnek megfelelő, míg a kétrétegűnél a rétegvastagságot szorozni kell az Odemark-féle korrekciós tényezővel [10] „ n ”, így a rétegvastagság = nh .

Az összevont rétegek E_f rugalmassági modulusát (13)-ból számítjuk.

Az 1. táblázat szerinti pályaszerkezet eredeti behajlási teknőjét közelítő 1150 MPa rugalmassági modulussal számoltunk (11. ábra), ahol a talaj rugalmassági modulusa 174 MPa.



11. ábra. Két és többrétegű rendszer által okozott behajlási teknők közötti eltérés BISAR program alkalmazásával az „n” korrekciós tényező függvényében.

A kétrétegűvé alakított rendszerek kizárólag a 0; 1200; 1500; 1800 pontokra illeszthetők, mert a 0 - 900 közötti szakaszon már alapvetően eltérnek a mért értékektől, amely pontokon mért behajlások már csak a többrétegű rendszereket is kezelni tudó programokkal közelíthetők.

Kétrétegű rendszerben a legjobb közelítést az $n = 0,72$ korrekciós tényező mellett kaptam, szemben a hatályos előírásban szereplő $n = 0,9$ -el. A számított évszaki szorzó $n = 0,9$ esetén $c_{edin} = 1,83$, míg $n = 0,72$ esetén $c_{edin} = 1,92$.

A többrétegű rendszer alkalmazásával kapott évszaki szorzóhoz $c_{edin} = 1,98$.

Az eltérés oka, hogy a több réteget is összevonó kétrétegű rendszer a valóságban nem helyettesíti a többrétegű rendszert, a hiba annál nagyobb minél több eltérő rugalmassági modulusú réteget vonunk össze, a hibát növeli, ha a rétegek nem dolgoznak együtt.

A hazai méretezési módszerünk Odemark-féle [9] kétrétegű rendszeren alapul, ezért az évszaki szorzó számításának egyszerűsített módszerét ezek alapján fogom bemutatni, amely a BISAR programhoz viszonyított egyszerűsítések miatt további pontatlanságot tartalmaz. Az egyszerűsített kétrétegű rendszer alkalmazása, amely a helyettesítő rétegvastagságon alapuló MET módszer alkalmazása, éppen egyszerűsége és viszonylagos pontossága miatt a mai napig ajánlott [12].

Kétrétegű rendszerben a terhelő rugalmas tárcsa tengelyében számított, rétegenkénti összenyomódásokat a UME előírásban [2] is használt, az 1993-as AASHTO tervezési útmutatóban is megtalálható [11], számítást alkalmazzuk:

$$S_0^{0-\infty} = 2(1 - \mu^2)pr \left(\frac{1}{E_a \sqrt{\left[1 + n^2 \left(\frac{E_f}{E_a}\right)^{2/3} \left(\frac{h}{r}\right)^2\right]}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{nh}{r}\right)^2\right]}}}{E_f} \right) \quad (12)$$

$$E_f = E_a \left(\frac{z}{nh}\right)^3 ; \quad z = nh \left(\frac{E_f}{E_a}\right)^{1/3} \quad (13)$$

$$z^2 = n^2 h^2 \left(\frac{E_f}{E_a}\right)^{2/3} ; \quad \left(\frac{z}{h}\right)^2 = n^2 \left(\frac{E_f}{E_a}\right)^{2/3} \quad (14)$$

$$S_0^{0-\infty} = \frac{1,5pr}{E_a} \left(\frac{1}{\sqrt{[1 + (z/r)^2]}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{[1 + (nh/r)^2]}}}{(z/nh)^3} \right) \quad (15)$$

ahol:

- n - Odemark-féle korrekciós tényező
- h - altalaj feletti pályaszerkezeti réteg vastagsága (mm)
- z - helyettesítő rétegvastagság (mm)
- r - a terhelő rugalmas körtárcsa sugara (mm)
- μ - Poisson szám, UME szerint = 0,5
- p - terhelő tárcsa alatti nyomás (MPa)
- E_f - altalaj feletti pályaszerkezeti réteg rugalmassági modulusa MPa
- E_a - az altalaj rugalmassági modulusa MPa
- $S_0^{0-\infty}$ - a tárcsa tengelyében számított legnagyobb behajlás (mm)

Kétrétegű rendszerben számíthatjuk a terhelő tárcsától x távolságban lévő mérőpontokon a rétegenkénti összenyomódásokat [10], ha $x \gg r$.

A helyettesítő rétegvastagság alatt a teljes összenyomódás a terhelő tárcsától x távolságban:

$$S_x^{z-\infty} = \frac{P}{2x\pi E_a} \left\{ 3 \left\{ \frac{x}{R} - \frac{1}{3} \left(\frac{x}{R} \right)^3 \right\} - \mu \left\{ \left(\frac{x}{R} \right)^3 + (1 - 2\mu) \left(\frac{x}{R} + 2 \frac{z-R}{x} \right) \right\} \right\} \quad (16)$$

$$R = \sqrt[2]{(z^2 + x^2)}$$

E_a rugalmassági modulusú homogén és izotrop feltérben a teljes összenyomódás a terhelő tárcsától x távolságban:

$$S_x^{0-\infty} = \frac{P}{x\pi E_a} (1 - \mu^2) \quad (17)$$

AASHTO tervezési útmutató [11], [12] szerint:

$$E_a = \frac{0,24P}{xS_x} \quad (18)$$

S_x - a tengelytől „ x ” távolságra mért behajlás (mm)

A h vastagságú pályaszerkezet összevont rugalmassági modulusa E_f , ezért a $0 - z$ mélység között az összenyomódás:

$$S_x^{0-z} = (S_x^{0-\infty} - S_x^{z-\infty}) \frac{E_a}{E_f} \quad (19)$$

$\mu = 0,5$ esetén

$$S_x^{z-\infty} = \frac{P}{2x\pi E_a} \left| \frac{3x}{R} - 1,5 \left(\frac{x}{R} \right)^3 \right| = \frac{0,75P}{x\pi E_a} \left| \frac{2x}{R} - \left(\frac{x}{R} \right)^3 \right| \quad (20)$$

$$S_x^{0-z} = \frac{0,75P}{x\pi E_f} \left(1 - \left| \frac{2x}{R} - \left(\frac{x}{R} \right)^3 \right| \right) \quad (21)$$

$$S_x^{0-\infty} = \frac{0,75P}{x\pi E_a} \left[\frac{1 - \left| \frac{2x}{R} - \left(\frac{x}{R} \right)^3 \right|}{\left(\frac{z}{nh} \right)^3} + \left| \frac{2x}{R} - \left(\frac{x}{R} \right)^3 \right| \right] \quad (22)$$

ahol:

$S_x^{z-\infty}$ - a tárcsa tengelyétől x távolságnál számított összenyomódás (mm) $z - \infty$ között.

$S_x^{0-\infty}$ - a tárcsa tengelyétől x távolságnál számított összenyomódás (mm) $0 - \infty$ között, teljes behajlás.

S_x^{0-z} - a tárcsa tengelyétől x távolságnál számított összenyomódás (mm) $0 - z$ mélység között

A számításokat fokozatos közelítéssel tudjuk elvégezni. Első közelítésként felvesszük a (18) AASHTO ajánlás szerinti E_a számított értékek átlagát. Az átlagot az $x = 900; 1200; 1500;$ és 1800 mm-re lévő pontokból számítjuk. A felső réteg E_f kezdeti rugalmassági modulusának az $E_f = 1000$ MPa vesszük fel.

A kezdeti értékek felvételét követően számoljuk a (13) alapján „z” kezdeti értékét, a (15) és a (22) alapján számítjuk a teljes behajlásokat a $0; 900; 1200; 1500; 1800$ mérőpontokra.

Az $1200; 1500; 1800$ pontokra a mért és számított behajlásokra (23) szerint számítjuk az eltérési hibát, ahol törekedni kell a számított RMS% hiba minimalizálására.

$$RMS\% = \sqrt{\sum_{1200}^{1800} \frac{1}{k} \left(\frac{\max(0; ABS(S_x^{0-\infty} - S_x) - \Delta)}{S_x} \right)^2} \quad (23)$$

ahol:

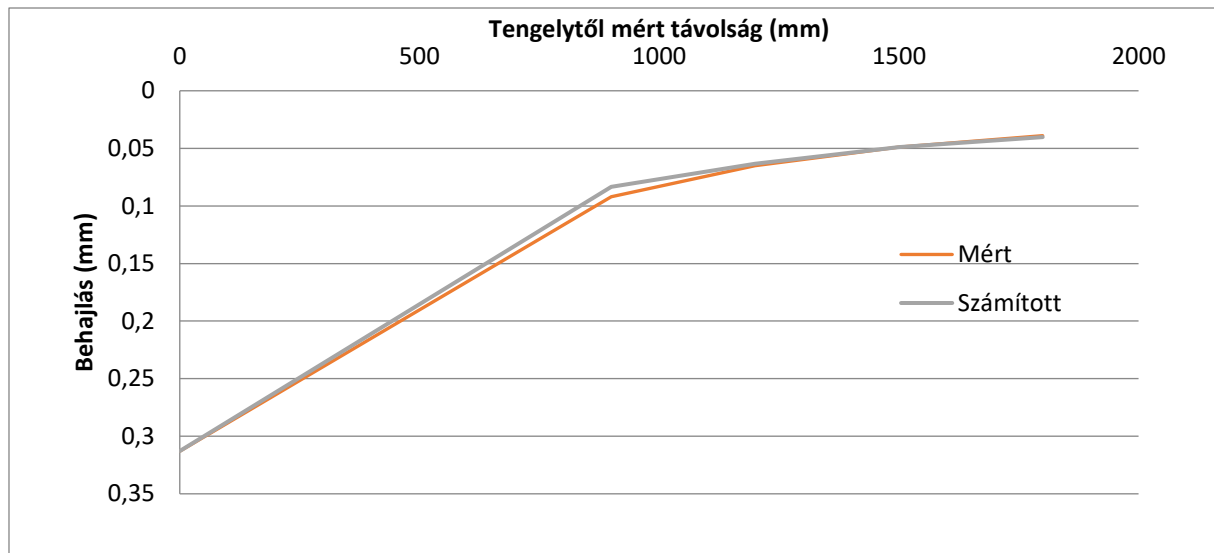
Δ - a mérőeszköz mérési hibája, KUAB, Dynatest esetén $\pm 0,002$ mm

k - mért pontok száma: 3 db, 1200, 1500 és 1800 távolságok esetén

Az RMS% hibát az E_a talajteherbírás kezdeti értékének változtatásával tudjuk csökkenteni, mindig lesz egy olyan E_a érték, ahol a „z” helyettesítő rétegvastagság mellett, az RMS% hiba minimális.

Ha az RMS% elérte minimumát, akkor változtatjuk a helyettesítő rétegvastagság „z” értékét, hogy az összes vizsgált pontra $0; 900; 1200; 1500; 1800$ számolva az RMS% minimális legyen. A „z” értékének változtatása hat a (23)-ra, ezért az E_a értékét ismét változtatjuk, amíg a hiba megfelelő nem lesz, ezt követően „z” értékét ismét változtatjuk. A ciklust addig folytatjuk, amíg az RMS% eléri minimumát.

A számítási eredményeket számítás közben érdemes ábrázolni is (12. ábra).



12. ábra. Kétrétegű rendszerben számított és a mért behajlási teknő.

Az egyszerűsített kétrétegű módszerrel a 3. táblázatban szereplő paraméterekkel BISAR programmal számított behajlási teknő alapján a $n = 0,8$ korrekciós tényezővel a kapott $E_a = 164 \text{ MPa}$, míg az $E_f = 925 \text{ MPa}$; $h = 495 \text{ mm}$ és $S_{din} = 0,31 \text{ mm}$.

Ha a méréskori E_a helyett $E_{2talaj} = 51 \text{ MPa}$ számolunk, akkor a (11) szerint számított mértékadó legnagyobb behajlás $S_{mdin} = 0,555 \text{ mm}$, és $c_{édin} = 1,77$.

Jelen példánál az egyszerűsített módszer szerint számított $c_{édin} = 1,77$, eltér a pontos többrétegű rendszerrel számított 1,98-tól, amelynek fő oka, hogy az egyszerűsített módszer csak együttdolgozó rétegeket tud figyelembe venni. Ha a BISAR programmal is együttdolgozó rétegekkel számolnánk, akkor az évszaki szorzó 1,83-ra adódna, amely már alig tér el a közelítő módszerrel számított 1,77-től.

Megvizsgáltuk mekkora hibát okoz, ha az útalap vastagságában 100 mm-t tévedünk, ha a rakott alap 150 mm helyett 250 mm.

$E_a = 162 \text{ MPa}$, míg az $E_f = 843 \text{ MPa}$; $h = 595 \text{ mm}$ és $S_{din} = 0,313 \text{ mm}$

Ha a méréskori E_a helyett $E_{2talaj} = 51 \text{ MPa}$ számolunk, akkor a (12) szerint számított mértékadó legnagyobb behajlás $S_{mdin} = 0,514 \text{ mm}$, és $c_{édin} = 1,67$.

Az évszaki szorzó számításánál elkövetett hiba 6%.

Az $n = 0,8$ korrekciós tényező alkalmazását tartjuk indokoltnak, ha az útalap félig merev, vagy hajlékony pl. rakott alap, szórt alap, mechanikai stabilizáció stb. és az esetleges hígított bitumenes rétegen felül a meleg aszfaltkeverék legalább 12 cm.

A számított értékek jól közelítik a többrétegű rendszerben számított pontos számítási módszerek által kapott eredményt, a pontosság $\pm 10\%$.

A leírt közelítő módszer a többrétegű rendszereket modellezni képes programokhoz képest viszonylag pontatlan, de sokkal megbízhatóbb, mint a jelenleg alkalmazott évszaki szorzók [2], amelyek a valóságban konkrét útszakaszon 1,0 – 2,4 között bármilyen értékűek lehetnek (lásd. 1. 2. táblázatokat).

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A mértékadó teherbírás számításához használt, jelentős pontatlanságot okozó e-UT 06.03.13:2005 UME szerinti évszaki szorzók kiváltására kétféle módszert mutattam be.

Az egyik módszer a mért behajlási teknők alapján a rendelkezésre álló méretező programok segítségével lehetővé teszi az évszaki szorzó számítását.

A másik egy egyszerűsített eljárás - amely az Odemark-féle módszeren alapul, amelynek segítségével kevésbé pontosan, de a jelenlegi gyakorlathoz képes jelentősen pontosabban lehetséges az évszaki szorzó meghatározása.

Igazoltam, hogy az ejtősúlyos FWD mérésből kapott behajlási teknő átszámítható „statikus” mérések alapján kapott behajlási teknővé a pályaszerkezeti rétegek rugalmassági modulusainak konstans értékkel történő szorzásával, ami szükséges a különböző teherbírási mérési módszerek közötti átszámításhoz.

Elemeztem a billenőkaros behajlásmérésben rejlő hibák okait, amely hibák és pontatlanságok nem küszöbölhető ki, a hibák nagyságrenddel nagyobbak, mint a gördülőkeres vagy az ejtősúlyos FWD mérések esetén.

8. IRODALOMJEGYZÉK

- [1]: MSZ 2509/4-1989 „Útpályaszerkezetek teherbíró képességének vizsgálata”.
- [2]: e-UT 06.03.13:2005 „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése”, 7.1. táblázat.
- [3]: Zsichla, L. 1988: A pályaszerkezet gazdaságos megerősítése annak egyenérték rugalmassági modulusa alapján számított behajlás segítségével, KTI.
- [4]: Love, A.E.H. 1906: *Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity*. University Press, Cambridge, p. 260.
- [5]: Burmister, D. M. 1945: *The General Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems*. *I. Journ. Appl. Physics*, vol. 16.
- [6]: Király, T., Primusz, P. 2020: A gumiabroncs és az útpályaszerkezet érintkezési kapcsolatának elemzése végeelem módszerrel, *Útügyi lapok*, 8. évfolyam, 14. szám. <https://doi.org/10.36246/UL.2020.2.04>
- [7]: Al-Qadi, IL, Loulizi, A, Elseifi, M & Lahouar, S. 2004: The Virginia smart road: The impact of pavement instrumentation on understanding pavement performance, *Asphalt Paving Technology, AAPT*, pp. 427-465.
- [8]: Francken, L. Ed. 1998. Bituminousbinder and mixes. RILEM Report 17. London (UK): E&FN Spon. <https://doi.org/10.1201/9781482271973>
- [9]: Odemark, N. 1949: Undersökning av elasticitetsegenskaperna hos olika jordarter samt teori för beräkning av beläggningar enligt elasticitetsteorin. Statens Vägintitut, Stockholm.
- [10]: Zsichla, L. 2021: Számítási módszer a behajlási teknő megbízható modellezéséhez; *Útügyi lapok*, 9. évfolyam, 15. szám. <https://doi.org/10.36246/UL.2021.1.06>
- [11]: American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993: *Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- [12]: Smith, K. D., Bruinsma, J. E., Wade, M. J., Chatti, K., Vandenbossche, J. M. & Yu, H. T. 2017: *Using Falling Weight Deflectometer Data with Mechanistic Empirical Design and Analysis, Volume I: Final Report*, Federal Highway Administration, p. 64.



Közúti hidak és átereszek jogszabályi tervkötelezettségéről: engedélyezési terv – kiviteli terv – bejelentési terv – megvalósulási terv

Hajós Bence

Első Lánchíd Bt.

E-mail: elsolanchid@elsolanchid.hu

DOI: [10.36246/UL.2023.1.07](https://doi.org/10.36246/UL.2023.1.07)

KIVONAT

A hidakhoz és átereszekhez kapcsolódó hatósági eljárásokat, valamint a kötelezően előírt tervtípusokat a hatályos jogszabályok rögzítik. Jelen cikk összefoglalót ad a különböző esetekre, amelyek egy-egy kategóriába való sorolása sokszor okoz nehézséget.

A tanulmányban közölt folyamatábra hasznos segítség a hidak és átereszek tervkötelezettségének vizsgálatához.

A hatályos szabályozás mellett a szerző javaslatokat is megfogalmaz a szabályozás jövőbeni korrekciójához, pontosításához.

Kulcsszavak: hatóság, engedély, terv

ABSTRACT

The official procedures related to bridges and culverts, as well as the mandatory plan types, are laid down in the current legislation. This article provides a summary of the various cases, which are often difficult to categorize.

The flowchart presented in the study is a useful aid for examining the design compliance of bridges and culverts.

In addition to the current regulation, the author also formulates proposals for future correction and clarification of the regulation.

Keywords: authority, permit, plan

Hajós Bence

Okleveles építőmérnök, okleveles mérnök-tanár. Hídszakértő, hidtervező. Korábban az állami közútkezelő hidásmérnöke volt. Elsődleges szakterülete a hídvizsgálat, hidak teherbírás vizsgálata.

1. ELŐJÁRÓBAN

Jelen rövid összefoglaló tartalmazza a közúti hidak és átereszek építési tevékenységével kapcsolatos tervekészítési kötelezettségeket, amelyeket a hatályos jogszabályok előírnak. Igyekeztem valamennyi releváns jogszabályi előírást figyelembe venni és a kiválasztás folyamatát minél szemléletesebben megadni.

Az összeállítás nem foglalkozik az alacsonyabb szintű, azaz a nem kötelező érvényű [1] műszaki szabályozásokban lévő előírásokkal.

A tervek kötelezettséget itt csak az építésügyi hatósági szempontból vizsgáltam, az esetleges egyéb jogszabályból fakadó tervek követelményekkel (pl. vízjogi engedélyezés esete) nem foglalkoztam. Az összeállítás remélem hasznos segítséget szolgálhat minden hidász mérnöknek.

A tanulmányban alapvetően az országos érvényű jogszabályok előírásrendszerét elemeztem, mivel döntően ezek határozzák meg a hidak és átvezetők tervek kötelezettségét. Ugyanakkor nem feledkezhetünk meg a helyi illetőségű jogszabályokról, azaz az önkormányzati rendeletekről, melyek csak egy-egy település közigazgatási határain belül érvényesek. Az önkormányzati jogszabályokkal röviden egy külön fejezetben foglalkoztam.

A jogszabályi idézeteket dőlt betűvel és elkülönített behúzással jelöltem.

2. A MŰSZAKI SZABÁLYOZÁS RENDSZERE

A hidépítésre vonatkozó szabályrendszer alapját a jogszabályok adják, melyeket szervesen kiegészítenek és részletes műszaki tartalommal töltenek fel az egyéb szakmai szabályrendszerek. Ilyen szakmai szabályrendszer a különféle szabványok és az Útügyi Műszaki Előírások is. Míg a jogszabályok legfontosabb jellemzője, hogy normatív jellegűek, azaz kötelező erejűek és általánosan alkalmazandóak, addig az egyéb szakmai szabályrendszerek (pl. szabványok, útügyi műszaki előírások) de jure önkéntes alkalmazáson alapulnak (még akkor is ha de facto ezek sok esetben szinte nélkülözhetetlenek). Ez utóbbi megállapítás semmivel sem csökkenti a szabványok és útügyi műszaki előírások mindennapi munka során betöltött szerepét. [1] Jelen tanulmányban a műszaki szabályozásnak csak a jogszabályi szintjével foglalkozom.

A jogszabályok készítésekor hangsúlyosabb szerepet kap a jogászai megközelítés a műszaki szempontok kárára. Számos olyan jogszabályunk van, ami a legtöbb műszaki szakember szemében korrekcióra szorulna. A jogszabályok jobbításához tehát a meglévő előírások pontos ismerete és azokat jobbitó műszaki javaslatok szükségesek, ezt hiába várjuk másoktól.

A hidtervek megfelelése elsősorban az azt készítő felelős tervező felkészültségén és alaposságán múlik, az alább tárgyalt jogszabályokon alapuló tervtartalmi kötelezettségek távolról sem irrelevánsok, azonban ezeket a terv „jósága” szempontjából csak másodlagosak.

Most közzétett vizsgálódásom bizonyára további finomításra szorulhat, az alább közölt megállapítások lehetnek vita tárgya is. Cél a jogszabályi tervek követelményrendszer jobb megismerése és amennyire lehetséges egységes értelmezése és mindennapi alkalmazása kellene legyen.

3. ENGEDÉLYEZÉSI TERV – BEJELENTÉSI TERV

A hidak tervek kötelezettségének vizsgálatakor, mint azt látni fogjuk, sok szempontból vízválasztó az a kérdés, hogy a tervezett beavatkozás engedélyköteles-e. Új híd létesítésekor ez egy egyszerű kérdés (a válasz tipikusan igen), azonban meglévő hidak esetében a kérdés eldöntése sokszor alapos mérlegelést, adott esetben akár az illetékes hatóság véleményének kikérését is igényli. Remélhetően a most készülő, új közúti hidak tervezésére vonatkozó előírás majd segítséget nyújt ehhez. [2]

Ha az építés hatósági engedély köteles, akkor az eljárás részeként, a kérelem kötelező mellékleteként terveket is be kell nyújtani a hatóságnak. Az eljáró hatóság közforgalmú hidak esetében a közlekedési hatóság, nem közforgalmú műtárgyaknál erdő esetén az erdészeti hatóság, egyéb esetekben pedig az általános építési hatóság (részleteket lásd lentebb).

Az engedélyezési tervek az hatósági határozattal válnak érvényessé és minden esetben az engedélyező hatósági irattal együtt kezelendők.

Új eljárás típus 2021. január 1-től a bizonyos esetekben az átvezetőkre vonatkozó bejelentési eljárás és ehhez kapcsolódó bejelentési terv, melyet a közlekedési hatóság csak tudomásul vesz (1988. évi I. törvény 29. § 16. bekezdés). Korábban ilyen jellegű hatósági eljárás nem volt. Ez egy fontos változás, ami egyúttal egy újfajta tervtípust is bevezetett. Ennek kötelező minimális tartalmát a jogszabály szintén megadja (lásd 93/2012 Korm. rend. 4/A. §).

4. KIVITELI TERVEK – KIVITELEZÉSI DOKUMENTÁCIÓ

A tényleges építési tevékenységhez tartozó leggyakoribb tervtípus a kiviteli terv, aminek olyan részletezettségűnek kell lennie, hogy az építmény megvalósításához alkalmas legyen. Kívánatos, hogy minden jelentős építkezés kiviteli tervek alapján készüljön. De mit ír a jogszabály?

Az Építési törvény (1997. évi LXXVIII. tv.) szerint „építési tevékenység” lényegében minden, még a „karbantartás” is.

1997. évi LXXVIII. törvény az épített környezet alakításáról és védelméről [Étv.]

2. § E törvény alkalmazásában:

[...]

36. *Építési tevékenység: építmény, építményrész, épületegyüttes megépítése, átalakítása, bővítése, felújítása, helyreállítása, korszerűsítése, karbantartása, javítása, lebontása, elmozdítása érdekében végzett építési-szerelési vagy bontási munka végzése.*

Ugyanezen törvény kimondja, hogy kivitelezési dokumentáció alapján lehet csak építési tevékenységet végezni, ami nem térhet el a hatósági eljárásban záradékolt építészet-műszaki dokumentációtól:

1997. évi LXXVIII. törvény az épített környezet alakításáról és védelméről [Étv.]

38. § (1) *Építési tevékenységet - ha kormányrendelet eltérően nem rendelkezik - kivitelezési dokumentáció alapján lehet végezni.*

(2) *A kivitelezési dokumentáció tartalma - ha kormányrendelet eltérően nem rendelkezik - nem térhet el a hatósági eljárásban záradékolt építészet-műszaki dokumentációban foglaltaktól.*

Ha volt a hídnak építési engedélyezési eljárása, akkor a fentiek szerint a beavatkozás kiviteli tervköteles, továbbá a közúti közlekedésről szóló törvényt követve, a 4 m szabad nyílás feletti hidak esetében a kiviteli terveket hatósági jóváhagyásra is be kell nyújtani.

Hatósági eljárás esetén egyértelmű az elvárt tartalmi követelmény, azonban, ha nincsen hatósági engedélyezési eljárás, akkor az Építési törvényben kimondott kivitelezési dokumentáció üreshalmazzá válik – azaz az Építési törvény erejénél fogva nem minősül kiviteli terv kötelest a beavatkozás!

Az építőipari kivitelezési tevékenységről szóló 191/2009 kormányrendelet ugyanakkor előírja a kiviteli dokumentációt bizonyos esetekre:

191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről

22. § (1) *Kivitelezési dokumentáció alapján végezhető*

a) *az építésügyi hatósági engedélyhez kötött építési tevékenység,*

b) *az az építési tevékenység - ideértve az építési engedélyhez nem kötött építési tevékenységet -, amely esetében*

ba) *a tartószerkezet támaszköze 5,4 méter vagy azt meghaladja,*

[...]

bd) *a tartószerkezet 1,5 méternél hosszabban kinyúló konzolt tartalmaz,*

be) *a falszerkezet vagy pillér megtámasztatlan magassága 3,0 méter vagy azt meghaladja úgy, hogy a koszorú nem számít megtámasztásnak,*

bf) *1,5 méternél magasabb földmegtámasztó szerkezet készül és legfeljebb 2,0 kN/m² felszíni teherrel kell számolni,*

E szabályozást a sajátos építményfajtákra akkor kell alkalmazni, ha külön jogszabály másként nem rendelkezik. Esetünkben tehát akkor van szerepe ennek a szakasznak, amikor a sajátos építményekre vonatkozó jogszabályokban nincsen kiviteli terv készítésére kötelező előírás.

Az idézett rendeletben hidakra leginkább vonatkoztatható feltétel a ba) pont: „a tartószerkezet támaszköze 5,4 méter vagy azt meghaladja”, és a bf) pont: „1,5 méternél magasabb földmegtámasztó szerkezet készül és legfeljebb 2,0 kN/m² felszíni teherrel kell számolni”. A ba) pont vonatkozásában, ha az építési tevékenység nem hoz létre, nem alakít át 5,4 m feletti támaszközű szerkezeti részt, akkor a munka nem kiviteli terv köteles. A bf) pont vonatkozásában pedig, ha az építési tevékenység nem tartalmaz a pontban leírt munkákat, akkor szintén nem kiviteli terv köteles. A képzeletbeli hídon

példának okáért a tartószerkezetet nem építem, vagy alakítom át, csak szigetelem, lefestem, akkor nem esem a rendeletben rögzített kiviteli terv kötelelem alá.

Láthatjuk, hogy van olyan építési tevékenység, amihez nem kötelező kivitelezési dokumentáció. Ezt az állítást alátámasztja ugyanezen rendelet 13. §-a, ami egy ilyen esetre ad további részletszabályozást:

191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről

13. § [...]

(8) Építőipari kivitelezési tevékenységet az építési szakmunka jellegének megfelelő szakképesítéssel, részsakképesítéssel rendelkező szakmunkás felelős műszaki vezető irányítása nélkül is végezhet, ha az építési tevékenység kivitelezési dokumentáció nélkül végezhető.

5. MEGVALÓSULÁSI TERV

A megvalósulási terv az építmény kezelőinek egyik legfontosabb és legértékesebb dokumentuma. Ennek elkészítését a kivitelezési kormányrendelet is előírja:

191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről

33. § (1) A műszaki átadás-átvételi eljáráson felmerült és jegyzőkönyvbe vett hibák, hiányosságok kijavítását, a teljesítésigazolás kiadását, továbbá a teljesítésigazolás alapján kiállított számla ellenértékének kézhezvételét követően a fővállalkozó kivitelező átadja az építetőnek az építési munkaterületet, továbbá átadja

[...]

b) a kivitelezési dokumentációt vagy az épület tényleges megvalósulásának megfelelő módosítást is tartalmazó megvalósulási dokumentációt,

Hidak esetében a megvalósulási tervek fontosságát nem kell külön hangsúlyoznunk. Itt kell felhívni a figyelmet arra, hogy a megvalósulási tervekkel kapcsolatos hazai gyakorlat sok anomáliával terhelt. A megvalósulási terv készítésének ideje egy-egy beruházás legfeszítettebb időszakára, a befejezés-átadás napjaira esik. Utólag sokszor szembesülhetünk azzal, hogy a megvalósulási terv hiányos (nem ritkán hiányzik), a tartalma pedig csak távoli rokonságot mutat a helyszíni valósággal.

A fenti általános jogszabályi előíráson kívül a hidak esetében saját szakági rendeletünk is foglalkozik a megvalósulási tervvel:

1/1999. (I. 14.) KHVM rendelet a közúti hidak nyilvántartásáról és műszaki felügyeletéről
Melléklet

3.3. A hídtörzslap mellékleteként kell - tartalomjegyzék szerint - gyűjteni és kezelni a következő iratokat:

[...]

j) a híd megvalósulási - átadási (nyilvántartási) - tervei (adott esetben mikrofilmen);

A gyakorlatban sokszor okozott már vitát az, hogy a megvalósulási terv elkészítése kinek a feladata, ezért indokolt e kérdést alaposabban körüljárni.

A jogszabályi környezetünk ebben világosan fogalmaz. A megvalósulási tervet annak kell elkészítenie, aki az építési tevékenységet végzi. Ugyanakkor – mivel tervről van szó – az építésügyi és az építésüggyel összefüggő szakmagyakorlási tevékenységekről szóló kormányrendelet nevesítve kimondja, hogy a megvalósulási tervet csak jogosult hídtervező készítheti el!

266/2013. (VII. 11.) Korm. rendelet az építésügyi és az építésüggyel összefüggő szakmagyakorlási tevékenységekről

15. § (3) Az (1) bekezdésben foglaltakon túlmenően jogosultsággal végezhető

[...]

c) a megvalósulási terv,

[...]

készítése.

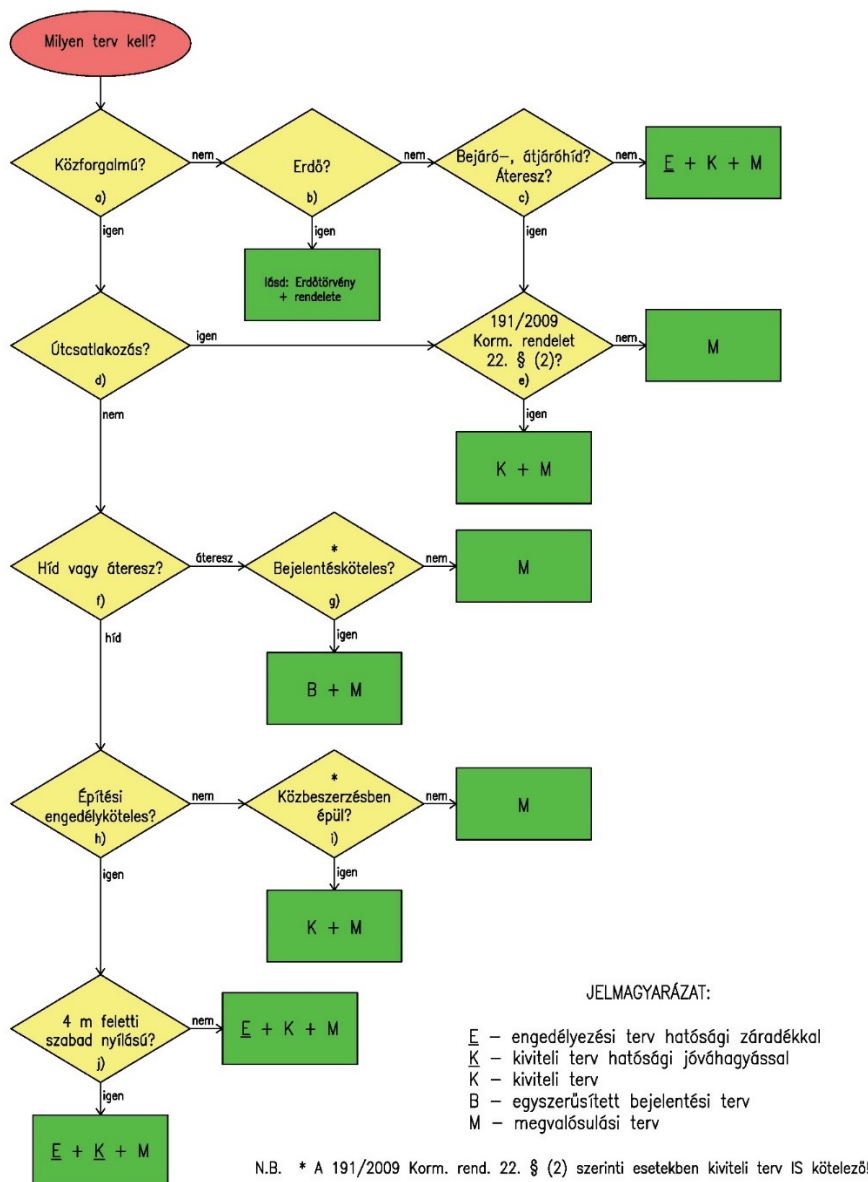
A megvalósulási tervnek két lényegi tulajdonsága van: egyrészt legyen egy pontos, valóságot tükröző és szakmailag megfelelő tervdokumentáció, másrészt ezt az építési tevékenységet végző ellenjegyzzi.

A tervező a terv szakmai megfelelőségéért felel, hogy ami a terven szerepel az műszakilag helyes és jó, nem pedig azért, hogy valóban az épült-e meg. A kivitelező ellenjegyzése (felelős műszaki vezető aláírása) pedig azért felel, hogy a valóság a tervvel egyezik.

A kettőt (tervezőt és felelős műszaki vezetőt) tovább hitelesítheti a műszaki ellenőr ellenjegyzése. A tervezőnek és kivitelezőnek tehát ebben szorosan együtt kell működni. A megvalósulási terv elkészítésében külön szerződéses kötelezettség hiányában a tervező a kivitelező megbízásából vesz részt. A kivitelező tervezői jogosultság nélkül csak akkor adhat megvalósulási tervet, ha nem volt a tervtől semmi tervezői kompetenciát érintő eltérés, avagy minden változtatást tervezői nyilatkozattal, tervezői fedvénytervvel dokumentál, ami ebben az esetben természetesen a megvalósulási terv része (azaz a tervező korábbi, érdemi változás nélküli tervlapjait ellenjegyzzi a kivitelező).

6. TERVEK KIVÁLASZTÁSÁNAK FOLYAMATA

A három fő tervtípus, az engedélyezési, a kiviteli és a megvalósulási terv rövid áttekintése után lássuk a hidak és átereszek tervfázisaira előírt jogszabályi követelmények rendszerét. A kiválasztás menetét folyamatábrával szemléltetem, az egyes mezőkhöz tartozó észrevételeket a következő fejezet tartalmazza.



1. ábra. Híd és áteresz tervtípusok kiválasztási folyamatábrája.

A folyamatábra a kérdések mentén megadja milyen tervkötelezettséget írnak elő a hatályos jogszabályok.

A tervkötelezettséget némi egyszerűsítéssel ötféle kategóriába soroltam: engedélyezési terv hatósági záradékkal (E), kiviteli terv hatósági jóváhagyással (K), kiviteli terv (K), egyszerű bejelentési terv (B) és megvalósulási terv (M).

7. RÉSZLETES MAGYARÁZATOK A TERVEK KIVÁLASZTÁSÁHOZ

Kiegészítő megjegyzések a tervek kiválasztási folyamatát leíró ábrához:

ad a) – Közforgalmú?

Közforgalmúak a közutak és a közforgalom elől el nem zárt magánutak.

1988. évi I. törvény a közúti közlekedésről

47. § 8. közforgalom elől elzárt magánút: a sorompóval, kapuval vagy más fizikai eszközzel lezárt, vagy „Mindkét irányból behajtani tilos” jelzőtáblával és a „magánút” feliratot tartalmazó kiegészítő táblával jelzett út, amely az ingatlan-nyilvántartásban közforgalom elől elzárt magánútként van bejegyezve;

Közforgalom elől elzárt utak nincsenek az Úttörvény (1988. évi I. tv.) hatálya alatt és így nem vonatkoznak ezekre a közlekedési hatóság szokásos eljárásai.

A törvényi definíció kellően pontos és szabatos, kivéve az utolsó fél mondatot. Egyrészt nem egyértelmű, hogy az ingatlan-nyilvántartási kitétel az egész előtte lévő mondatra vonatkozik, vagy annak csak a második felére (jelzőtáblával jelzett út). Gyakorlatban számos esetben a közforgalom elől elzárt út nem jelenik meg a földhivatali nyilvántartásban. Ugyanakkor a törvényi szabályozás célja egyértelmű, így talán a gyakorlati használatot ez az értelmezési bizonytalanság nem akadályozza.

ad b) – Erdő?

Erdőben lévő magánútra külön előírásokat ad az Erdőtörvény és annak végrehajtási rendelete.

2009. évi XXXVII. törvény az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról

15. § (5) szerint „Az erdészeti létesítmények közül a) az erdészeti magánút és annak tartozékai, [...] létesítéséhez, bővítéséhez, korszerűsítéséhez, megszüntetéséhez, vagy rendeltetésének megváltoztatásához az erdészeti hatóság engedélye szükséges.

Az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló 2009. évi XXXVII. törvény végrehajtásáról szóló 61/2017. (XII. 21.) FM rendelet részleges szabályozást tartalmaz az erdőben létesítendő átereszekre és hidakra vonatkozóan. Az 1. § szerint e rendelet alkalmazásában: „10. híd: az erdészeti magánút részét képező, 3 méternél nagyobb hídnyílású műtárgy;” – de nem definiálja, hogy a kisebb az áteresz volna. Ez a rendelet a közforgalom elől elzárt erdészeti magánutakról szól, melyek nem közutak, így nincsenek az Úttörvény hatálya alatt.

Nem tudom a hídhoz rendelt 3 méteres határ honnan származik, jobb lenne erdészeti magánutaknál is egységesen a 2 méter feletti nyíláshoz kötni a híd fogalmát.

Ha a tervezett híd, vagy áteresz építése erdészeti feltáró úthoz tartozik, akkor a rendelet erdészeti engedélyezési eljárást és ehhez kapcsolódó engedélyezési tervet ír elő (lásd 61/2017 FM rend. 6. § (3) bekezdés), megadva a terv tartalmi követelményeit is.

Ugyanezen rendelet definiálja az erdőkben elhelyezhető „közjóléti berendezéseket” (padok, táblák, esőházak stb). Ezek között szerepel az „erdei kerékpáros ösvényt keresztező áteresz” (4. melléklet 1.21.), melynek jelentése: „Az erdei kerékpáros ösvényt keresztező, a csapadékvíz vagy természetes vízfolyás zavartalan átfolyását biztosító legfeljebb 80 cm belső átmérőjű, maximálisan 2 m hosszúságú betoncső.” Szintén a közjóléti berendezések között található a „gyalogos és kerékpáros fahíd” (4. melléklet 1.9.), melynek jelentése: „Vízfolyások feletti gyalogos vagy kerékpáros átkelést segítő, jellemzően fából épített, legalább 80 cm széles járófelületű, biztonságos kapaszkodókorlással ellátott építmény.”

A közjóléti berendezésekre vonatkozó részletes szabályok a rendeletben megtalálhatóak. Ezek további tárgyalására itt nem térünk ki. Aki erdőben ilyen tervezne, mindenképpen olvassa el a fenti két jogszabályt.

ad c) – Bejáró-, átjáró-híd?

Az építésügyi és építésfelügyeleti hatósági eljárásokról és ellenőrzésekről, valamint az építésügyi hatósági szolgáltatásról szóló 312/2012. (XI. 8.) kormányrendeletet eltérő jogszabályi rendelkezés hiányában a sajátos építményfajtákra is alkalmazni kell (1. §. (3) bekezdés). A rendelet kimondja, hogy építési tevékenység végzésére – az 1. mellékletben felsoroltak és az Étv. alapján egyszerű bejelentéshez kötött építési tevékenység kivételével – építési engedélyt kell kérni.

1. melléklet a 312/2012. (XI. 8.) Korm. rendelethez

Építési engedély nélkül végezhető építési tevékenységek

30. Közforgalom elől elzárt, telken belüli út, parkoló, átereszt, bejáró-, átjáró-híd építése.

Ha átereszt építünk, akkor az eddig ismertettek fényében nincs engedélyezés, nincs engedélyezési terv (sem bejelentési), nincs kiviteli terv, csak megvalósulási terv.

Ha hidat építünk és a híd bejáró vagy átjáró, akkor az eljárás az átéréssel azonos és nem engedélyköteles. Ha a híd nem tartozik bele a 191/2009. Korm. rendelet 22. § (1) b) pontjában írt körbe, akkor nincs kiviteli terv kötelezettség sem, csak megvalósulási terv. Ha a hídra érvényes az említett 22. § (1) b) pontban megadott közül valamelyik kitétel (pl. támaszköze 5,4 m feletti), akkor a híd kiviteli terv kötelessé válik, s megvalósulási terv ekkor sem maradhat el.

De vajon mit jelent a bejáró- és átjáró-híd? Ez sem a rendeletből, sem egyéb jogszabályból nem derül ki. Nehéz elképzelni egy olyan hidat, ami sem bejáró, sem átjáró. Azaz kellő címkézéssel telken belül, elzárva hatósági engedély nélkül akár egy lánchidat is építhetnek... Persze megvalósulási terv a végén ekkor is kell.

Ha azonban építettként vagy tervezőként definiálom, hogy a híd biztos nem átjáró és nem is bejáró, akkor a létesítéséhez le kell folytatni az általános építési engedélyezési eljárást!

Ha a telken belüli magánhid nem önmagában épül, hanem építési engedélyköteles egyéb építménnyel együtt, akkor a híd terve szükségessé válhat annak hatósági eljárásához. Különleges eset, amikor a híd és a másik építmény szerkezetileg is összefügg (pl. egy házba bevezető hídrámpa), de lehet teljesen különálló is, akár az ingatlanak a másik építménytől elkülönülő részén. A másik építmény építési engedélye ugyanakkor ilyen esetben akár rávetülhet az amúgy önmagában nem engedélyköteles hídra is. Hasonlóan ahhoz, hogy egy híddilatáció csere nem engedélyköteles, de ha a híd erősítésével párosul, akkor (a terv megbontása, ütemezése hiányában) a dilatációcsere is része az engedélyezési tervnek, a hatósági eljárásnak.

(Csak zárójelben: A jogszabályi kitétel „telken belüli” feltételt tartalmaz. Minden műtárgy egy telken belül van, kivétel, ami több telket is érint. A norma szövege nem a legszerencsésebb. Talán a „telken belüli” feltétel nélkül sem csorbulna a szabályozás szándéka.)

ad d) – Útcsatlakozás?

Az a) pontban vizsgáltuk már, hogy a műtárgy közforgalomú vagy közforgalom elől elzárt. Az ott leírtakhoz képest azonban különleges „átmeneti” terület az útcsatlakozás, a kapubehajtó. A továbbiakban egyszerűsítéssel ugyan, mint kapubehajtó kategóriát elemzem. Az útcsatlakozásnak a gyakorlatban több alcsoportja is megkülönböztethető, ezek részletes tárgyalására itt nem térek ki.

A kapubehajtó tipikusan közterületen van és effektív nincs a közforgalom elől elzárva sem sorompóval, sem kerítéssel, sem táblával. Így a közforgalom számára kvázi elérhető. Ugyanakkor nyilván az használja elsősorban, aki a „kapun” be is kíván hajtani.

Az úttörvény a kapubehajtó létesítéséhez a közútkezelő hozzájárulását írja elő (1988. évi I. tv. 39. §). A közutak építésének engedélyköteles eseteit a 93/2012 Korm. rendelet szabályozza. Ebben a kapubehajtó nincs nevesítve. A kapubehajtót a gyakorlatban nem tekintjük útnak, ezek hatósági engedély nélkül épültek-épülnek, természetesen a közútkezelő hozzájárulását a fent írtak szerint be kell

szerezni. Explicit ezt a gyakorlatot megerősíti az úttörvény hivatkozott részletesebb szabályozási szakasza.

Ha tehát a kapubehajtó létesítése nem építési engedélyköteles tevékenység, akkor a kapubehajtó tartozéka, azaz a kapubehajtó alatti átereszt vagy híd sem engedélyköteles? A kérdés azért is lényeges, mert talán a nem tipikus közforgalmú hidak-átereszek után a kapubehajtók alatti műtárgyak képviselik a legnagyobb esetszámot.

A fenti levezetés szerint, ha a kapubehajtó létesítése közlekedési hatósági szempontból nem engedélyköteles, akkor az alatta lévő áthidaló műtárgy sem lehet az közlekedéshatósági szempontból. Felmerülhet a kérdés, hogy általános építési hatósági szempontból viszont felmerül-e az engedélykötelesség. A gyakorlatban nem találkoztam, nem hallottam olyan esetről, mikor ilyen műtárgynak lett volna általános építési engedélyezése. Azaz évtizedes-évszázados gyakorlat, hogy ezek engedély nélkül épülnek. Ugyanakkor a jogszabályokból taxatívén nem tudom levezetni, hogy ezen eset az engedélyezésen teljesen kívül esne.

ad e) – az építőipari kivitelezési tevékenységről szóló 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet 22. § (2)?

Ha a beavatkozás nem engedélyköteles is, a kiviteli tervek szükségességét minden esetben vizsgálni kell a 191/2009. (IX. 15.) Korm. rendelet 22. § (2) bekezdésében foglaltak szerint, s az ott írt esetekben kiviteli terv készítése kötelező.

E rendelet érintettségét a g) és i) pontok esetében is vizsgálni kell, a folyamatára könnyebb átláthatósága érdekében ezt ott csak csillagozott megjegyzéssel jelöltem.

ad f) – Híd vagy átereszt?

A grafikon közforgalmú eseteket tartalmazó ágán az első kérdésre legtöbbször egyszerű a válasz. 2 m szabad nyílásig átereszt, 2 m szabad nyílás felett pedig híd.

Bár gyakorlati szempontból ritkán okoz zavart, mégis az átereszt szabatos definíciója kis kiegészítésre szorulna. A hatályos jogszabályok a szabályozási szándékot tisztán tartalmazzák, mégis szükséges volna az Úttörvényben az átereszt definíciójának pontosítása. [3]

ad g) – Bejelentésköteles?

2021-ben bevezetett új eljárás a földút szintű kiépítéshez és a járdaépítéshez kapcsolódóan, a bejelentési eljárás, új tervfajtaival.

1988. évi I. törvény a közúti közlekedésről

29. § (16) A közlekedési hatóságnak be kell jelenteni:

a) közút, közforgalom előtt el nem zárt magánút földút szintű kiépítését és azok két méter szabadnyílást meg nem haladó műtárgyai - kivéve a nem kizárólag az építető (építetők) tulajdonában álló területen történő - építését, korszerűsítését, forgalomba helyezését és megszüntetését (elbontását),

b) járda, gyalogút és azok két méter szabadnyílást meg nem haladó műtárgyai - kivéve a nem kizárólag az építető tulajdonában álló területen történő - építését, korszerűsítését, forgalomba helyezését és megszüntetését (elbontását), valamint ezek nem közlekedési célú igénybevételét (ide nem értve a gyalog- és kerékpárutakat, valamint a közút építésével összefüggő járdaépítést),

A hivatkozott szakasz elsősorban a földút és a járda építéséről szól, amelyek egyszerűsítési céllal csak bejelentéskötelesek a megadott esetekben. Egyéb esetben (lásd kivételek) a földút és a járda építése engedélyköteles. Ezen új szabályozást tehát a hatósági eljárások egyszerűsítési szándéka eredményezte.

Bejelentési eljárás esetén a 93/2012 Korm. rendelet írja elő annak kötelező mellékleteit, így a bejelentési tervet is.

93/2012. (V. 10.) Korm. rendelet az utak építésének, forgalomba helyezésének és megszüntetésének engedélyezéséről

4/A. § (1) A közúti közlekedésről szóló törvény 29. § (16) bekezdésében meghatározott bejelentés-köteles tevékenységek esetében a bejelentésben meg kell jelölni a bejelentő

[...]

(2) A bejelentés mellékleteként csatolni szükséges

a) egyszerűsített tervdokumentációt

Átereszek szempontjából e szabályozás új tertípusát definiál, melyet mindenképpen érdemes jól ismerni.

ad h) Építési engedélyköteles?

A közforgalmú hidak esetében vízválasztó kérdés, hogy építési engedélyköteles-e a beavatkozás. A hídtervezők előtt jól ismert rendelet így fogalmaz:

93/2012. (V.25.) Korm. rendelet az utak építésének, forgalomba helyezésének és megszüntetésének engedélyezéséről

4§ (1) Ha a munkálatok során közműútépítés nem szükséges és a beavatkozás az út közúthálózatba sorolását nem változtatja meg, nincs szükség a hatóság engedélyére a meglévő út területén végzett következő munkák esetében:

a) kül- és belterületen:

aa) a szilárd burkolatú út, híd és egyéb műtárgy javítása,

ab) a híd és egyéb műtárgy korrózió elleni védelme, szigetelésének, dilatációs szerkezetének, korlátjának vagy pályaburkolatának - a teherbírást és geometriát nem befolyásoló - cseréje,

Az esetek döntő többségében a kérdés eldöntése egyszerű. Meglévő hidak esetében azonban sok bizonytalanság merülhet fel. [2]

ad i) Közbeszerzésben épül?

A közbeszerzési törvény a beruházásokat elsősorban pénzügyi és így versenyeztetési szempontból közelíti meg. A tiszta verseny feltétele, hogy az ajánlatot adók azonos műszaki tartalmat árazzanak be.

Volt időszak, amikor a közbeszerzési törvény előírta építési beruházások esetén a kiviteli terv készítését. Ma ezt kötelezően nem tartalmazza, de a fenti egyszerűsítve megfogalmazott cél továbbra is igaz. Ide vonatkozó három legfontosabb jogszabály: **2015. évi CXLIII. törvény** a közbeszerzésekről és a **321/2015. (X. 30.) Korm. rendelet** a közbeszerzési eljárásokban az alkalmasság és a kizáró okok igazolásának, valamint a közbeszerzési műszaki leírás meghatározásának módjáról, valamint a **322/2015. (X. 30.) Korm. rendelet** az építési beruházások, valamint az építési beruházásokhoz kapcsolódó tervezői és mérnöki szolgáltatások közbeszerzésének részletes szabályairól.

A közbeszerzési szabályozás „műszaki leírás”-t ír elő. A 322/2015 Korm. rendelet rögzíti, hogy a nem engedélyköteles építési beruházásokhoz milyen műszaki dokumentumok szükségesek (322/2015 Korm. rend. 16. § 2. bekezdés). A rendelet mellékletében olvasható követelmények gyakorlati szempontból kvázi azonosak a kiviteli terv tartalmával.

Az építési beruházások törvényi szabályozásának alapvető változása előtt vagyunk, az olvasható tervezet a fenti célt tükrözi, azaz a pályázatokhoz legyen kiviteli terv. Itt a továbbiakban némi egyszerűsítéssel ugyan, de a közbeszerzési eseteket úgy tekintem, ami kiviteli tervet követel.

Ha az építési tevékenység nem engedélyköteles és nem közbeszerzési köteles, akkor egyetlen jogszabály sem írja elő kiviteli terv készítését. Természetesen a fentebb írtak szerint megvalósulási terv ilyen esetben is kötelező. Ez utóbbi az eset napjainkban felértékelődik, ugyanis a hazai gyorsforgalmi úthálózat és az azokon lévő hidak túlnyomó többsége koncessziós társaságok kezelésében vannak, akik nincsenek a közbeszerzési törvény hatálya alatt, így példának okáért a tipikus hídfelújítások ezen kategóriába esnek.

ad j) 4 m feletti szabad nyílású?

Jól ismert szabály: a 93/2012 Korm. rend. 16. § előírja a 4 m szabad nyílást meghaladó hidak kiviteli tervének hatósági jóváhagyását. A rendelet értelmezésében „híd szabad nyílása: az út tengelyében mért nyílás mérete, többnyílású híd esetében a nyílások méreteinek összege”.

Kiviteli terv köteles tehát egy olyan kétnyílású híd is, melynek mindkét nyílása 2,5 m. Ugyanakkor nem lesz kiviteli terv jóváhagyás köteles bármennyi átereszt egymás mellé sorolása, ide értve

természetesen a monolitikus egymás mellé sorolást, azaz az ikerátereszeket is, mert azok nem hidak, így a definíció nem érvényes rájuk. (Így nem okoz értelmezési gondot sem az, hogy a hidak jóváhagyási kérdésében a szabad nyílást úttengelyben értelmezzük, míg az átereszeknél a szabad nyílást merőlegesen értelmezzük.)

A 4 m-es szabad nyílás csupán hatósági jóváhagyás szempontjából tesz különbséget, egyebekben a tervek kötelezettségei azonosak. 4 m alatt is szükséges az engedélyköteles hídmunkákhoz kiviteli tervet készíteni, csak azokat nem kell hatósághoz benyújtani jóváhagyásra.

8. KÜLÖNLEGES ESETEK – ÁLLÁSFOGLALÁS KÉRÉS

Az élet sokszor egész összetett helyzet elé állítja a tervezőt, aki minden igyekezete ellenére sem igazodik el a jogszabályok sűrűjében. Ilyen esetben érdemes állásfoglalást kérni a Kormányhivatal Útügyi osztályától és Építésügyi hatósági osztályától is.

A kézhez vett hatósági állásfoglalás a követendő eljárásrend kiválasztásának tekintetében leveszi a felelőséget a tervezőről. Az állásfoglalást pedig érdemes minden egyes ügghöz – látszólagos azonosság ellenére – megkérni, ugyanis a gyakorlatban már többször előfordult műszaki szemmel azonosnak látott esetek gyökeresen eltérő megítélésére eltérő eljárások esetén.

9. ÖNKORMÁNYZATI JOGSZABÁLYOK

Magyarországon összesen 3178 települési önkormányzat van. Tervezés során mindig az éppen területileg illetékes önkormányzat rendeleteit kell figyelembe venni, mint kötelező szabályozás. Az építésüggyel kapcsolatos részletszabályok tipikusan önkormányzati rendeletekben található meg, melyek a 3178 önkormányzat esetében meglehetősen színes képet mutatnak.

Az országos jogszabályok, mint keretszabályozás mellett a helyi rendeletekben rögzítik a helyi építési szabályokat (pl. helyi építési szabályzat, településkép védelem, közterület használat, településképi bejelentési eljárás, helyi védelem).

Noha az önkormányzati rendeletekben csak elvétve találkozunk hídtervezésre közvetlen kiható szabályozással, mégis elengedhetetlen a hídtervezőnek minden egyes esetben ennek ellenőrzése, ugyanis könnyen akár komoly mulasztásba, hibába is eshet a tervező. E felelőséget növeli, hogy a hídtervhez adott esetben kapcsolódó közlekedési hatósági eljárás közvetlenül nem vizsgálja az önkormányzati rendeleteknek való megfelelést, így az esetleges hiba könnyen csak építés közben, vagy akár csak létesítés után derül ki, amikor a javítás lehetősége már igen korlátozott.

10. MIT KÉNE VÁLTOZTATNI A JOGSZABÁLYI ELŐÍRÁSOKON?

A jogszabályok módosítás hosszú és fáradtságos munka. Itt csak mintegy gondolatébresztő céllal néhány problémakört vetek fel.

A hatályos jogszabályok mostohán kezelik a közforgalom elől elzárt hidakat, s a kapubehajtók alatti hidak megítélése sem egyértelmű. Indokolt továbbra is eltérő szigorat alkalmazni a közforgalmú és a közforgalom elől elzárt esetekre.

Külön vizsgálendő kérdés lehet a beavatkozások engedélyezése és azok kiviteli terv kötelezettsége. A bejáró- és átjáró-hidak teljes engedélymentessége mérethatár nélkül nem jó.

A hidak kiviteli tervre vonatkozóan a most hatályos 5,4 m támaszköz feletti előírással szemben szigorítást javaslok.

Javaslom a hidak szabályozását, besorolását az erdészeti jogszabályokban módosítani, átvéve a közúti műtárgyaknál általános osztályozási gyakorlatot.

11. ÖSSZEZÉS

A tervek kiválasztási folyamatának áttekintése remélem segíti a tervezőket, kezelőket, építetőket. A szabályozás többségében egyértelmű és jól értelmezhető. Adott esetben a jogszabály pontosítását javasoltam.

Azonban a legfontosabb a józan ész. Jogosult tervező közreműködése elengedhetetlen. Azon esetekben, mikor a jogszabályi előírások nem teszik kötelezővé a kiviteli terv készítését, akkor is kihagyhatatlan a felelős tervező, mert a megvalósulási tervet csak jogosult tervező készíthet, aki felel a terv szakszerűségéért. Így a jogszabályi kiviteli terv előírás hiányában is a felelős gazdálkodás komolyabb beavatkozás esetén csak kiviteli terv birtokában végezhető.

12. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúttal is köszönöm a jogszabályok vizsgálatához kapcsolódó tanácsokat, javaslatokat, kritikákat, különösen is köszönöm Máté Éva, Dákay Gergely, Czap Attila, Kérszigei Alex, Kovács Gergely és Szecsányi László észrevételeit.

13. HIVATKOZÁSOK

[1]: Hajós, B. 2022: Az Útügyi Műszaki Előírások szerepe az útépitésre vonatkozó szabályrendszerben. In Útügyi lapok, 10. évf. 16. sz. p. 10-17, <https://utugyilapok.hu/cikkek/az-utugyi-muszaki-eloirasok-szerepe-az-utepitesre-vonatkozoz-szabalyrendszerben/>, <https://doi.org/10.36246/UL.2022.1.02>

[2]: Hajós, B. 2022: Meglévő hidak engedélyezéséről a most készülő Közúti Hidak Tervezése című új Útügyi Műszaki Előírás kapcsán. Útügyi Lapok, Bejegyzések, <https://utugyilapok.hu/2022/10/meglevo-hidak-engedelyezeserol-a-most-keszulo-kozuti-hidak-tervezese-cimu-uj-utugyi-muszaki-eloiras-kapcsan/>

[3]: Hajós, B. 2022: Javaslat az átereszt fogalmának pontosítására az 1988. évi I. törvényben. Útügyi Lapok Bejegyzések, <https://utugyilapok.hu/2023/01/javaslat-az-ateresz-fogalmanak-pontositasara-az-1988-evi-i-torvenyben/>