

Az Aszfalt

A Magyar Aszfalttípari Egyesülés

hőpá

hivatalos lapja

XXIX. ÉVFOLYAM 2022/2. szám



Aszfalt 100% recyclable



Az aszfalt 100%-ban
újrahasznosítható

Kilométerek millióit formáljuk.
BOMAG.



2
2022
december

A FEJLŐDÉS ÚTJAI

HAPA XXIII. Nemzetközi Konferencia 2023. 02. 14-15. Siófok

Nem kérdés, hogy az infrastrukturális fejlesztések hatékonysága, sikere olyan társadalmi környezetben realizálódik, amelyben közösségek és szervezetek a fenntarthatóság, az ökológiai lábnyom mellett számos egyéb környezeti szempontot is figyelembe véve alakítják ki viszonyulásukat egy adott iparághoz, vagy projekthez. A fejlődés útjain megkerülhetetlen kérdésekre kell válaszokat és megoldásokat találnunk.

A konferencia tervezett témakörei:

- Aszfalt 4.0: A jövő útjai és a mobilitás jövője
- Gépgyártók az energia csökkentésért és a fenntartható jövőért
- Az aszfalttrácsok helye és szerepe a pályaszerkezeti rétegekben
- Egészség és munkavédelem, közlekedési kultúra
- Adalékanyagok szerepe a burkolatok élettartamának növelésében
- Újrahasznosítás. Beépítési technológiák
- Újdonságok, érdekességek, külföldi tanulmányutak tapasztalatai

A konferencia tematikáját - hasonlóan az elmúlt évekhez -, egy élhető jövőért érzett és tudatosan felvállalt közös felelősség határozza meg.

Kérem, jegyezzék elő az időpontot, hogy immáron huszonharmadik alkalommal is lehetőségünk nyíljon a párbeszédre, az eszmék cseréjére. A szekciókban elhangzott előadásokat követően személyes és online kapcsolati lehetőséget biztosítunk a résztvevők és az előadók, valamint a kiállítók számára.

Várjuk Önt!

Előadói és részvételi jelentkezési lapok a HAPA honlapján: www.hapa.hu

2023. február 14-15.
HAPA Nemzetközi Konferencia
Siófok, Hotel Azúr



A Magyar aszfaltipari Egyesülés (HAPA) hivatalos szakmai lapja.

Szerkesztőség:

Magyar Aszfaltipari Egyesülés
H-1119, Budapest Etele u. 59-61.
Telefon: +36 1 7821-893
Fax: +36 1 7822-008
E-level: info@hapa.hu
Internet: <http://www.hapa.hu>

Alapító főszerkesztő:

Dr. Bodnár Géza

Főszerkesztő: Veress Tibor

Nyomdai előkészítés és nyomás:

SILBER-Nyomda Kft. www.silbernyomda.hu

Hirdetésfelvétel:

Magyarországon a szerkesztőségben

Terjesztés:

a szerkesztőségben keresztül ingyenesen

ISSN 1217-7830

TARTALOMJEGYZÉK

Bodor Dániel –

Hosszbordával merevített gerinclemezes tartók beroppanási ellenállásának vizsgálata 5

Bortei-Doku Shaun –

Közüti munkaterületek védelme a Magyar Közútnál 17

Varga Olivér –

Integrált híd szerkezet hídfőjének tervezése 21

Gajdán Zsófia –

ReBe aszfalt beépítést segítő eszköz lengyelországi tapasztalatai 34

Dr. Kovács András - Dr. Varga Csilla –

Pannon Egyetem az útpépítőipari innovációkban –
útkeresztvezérléshez értünk? 41

Kelemen László – Dr. Péterfalvi József –

Feltáráshálózat tervezése
Bakonyerdő Zrt. Bakonybéli Erdészetének területén
a Bécsi-árok és a Kőrös-hegy környezetének feltáráshálózat terve 44

Plicher Bálint –

Tények és tévhitek a 3-as metró rekonstrukciójával kapcsolatban 50

Mohammad Fahad - Richard Nagy –

A burkolatok fáradásos károsodásának elemzése
autonóm tehergépkocsik esetén 53

Zvekán Fanni - Rosta Szabolcs –

RA bitumen vizsgálatok
a visszanyert aszfalt felhasználás részeként 58

Orbán Bence –

Stabilizált agyagos bányameddő felhasználása
egy csehországi útépitési projekten 65

Dr. Almássy Kornél - Koch Domonkos –

Zöld technológiák, energiamegtakarítás - új trendek
az aszfalttechnológiában 71

Schronka Gábor-Tóth József –

A bitumen keverőgépi viszkozitásának mérése és
a módszer lehetséges szerepe egy bitumen átviteli rendszer részeként 77

Kedves Kollégák,

Szeretnék tájékoztatni benneteket, hogy egy újabb sikeres Fialat Mérnökök Fórumán vagyunk túl! A fiatal mérnökeink talpraesettek, nagy tudásúak, értik a dolgukat. Kiváló előadások születtek, ami látszik abból is, ha elolvassátok az előadások alapján megírt cikkeket. Köszönöm a szerzőknek, hogy elősegítették egy újabb színvonalas lapszám megjelenését.

Mivel az előző évben sikeresen debütált az online szavazási rendszerünk, ezt használtuk most is a díjazottak kiválasztására.

Az igazságos eredményt támasztja alá az a tény is, hogy az első helyezett Bortei-Doku Shaun (Magyar Közút) úgy kapott legtöbb szavazatot, hogy a Magyar Közúttól ezúttal senki sem vett részt a Fórumon...

De dicséretet érdemelnek Plicher Bálint (Swietelsky Magyarország) második, és Zvekán Fanni (Hódút Kft) harmadik helyezettek is, rutinosan előadott, színvonalas előadásukért.

Nagy lelkesedéssel szervezzük a februári konferenciánkat, melynek beharangozóját a második oldalunkon láthatjátok. Remélem, sokan vagytok kíváncsiak, és eljöttek meghallgatni a magyar és külföldi előadók izgalmas gondolatait. A program készen van, bátran állíthatom, hogy a két nap sok újdonsággal fog szolgálni.

Elkezdtek a 2024-es E@E Kongresszus előkészítő munkáit is, a helyszín kiválasztása megtörtént. A hét tagú előkészítő bizottság minden két hónapban ülésezik azért, hogy ez a nagy európai rendezvény minden szempontból sikeres legyen. Egyúttal örülök annak, hogy a résztvevők, - akik a világ minden tájáról érkezni fognak - el fogják vinni a hazánk és Budapest jó hírét. A beharangozó a lapunk 76. oldalán olvasható.

Veress Tibor Igazgató



ÚJGENERÁCIÓS ASZFALT, MOL GUMIBITUMENBŐL

A többéves kutató-fejlesztő munkával kidolgozott, gumiabroncsok újrahasznosításából származó **MOL Gumibitumen** hosszabb élettartamú, nagyobb teherbírású aszfaltburkolatokat eredményez.

- MOL egyedi szabadalom, az útügyi műszaki előírások (UME) része
- 20 kt/év gyártási kapacitás a MOL zalaegerszegi bitumen üzemében
- Több, mint 150 km új gumibitumenes út és autópályaszakasz
- Mérési eredményekkel alátámasztott előnyök
- 10 éve a magyar útépítő piacon

Tartson Ön is velünk a jövő útján!

mol.hu

5

Hosszbordával merevített gerinclemezes tartók beroppanási ellenállásának vizsgálata

Bodor Dániel

Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki kar
Hidak és Szerkezetek tanszék



A hídépítési gyakorlatban az acél-és öszvér felszerkezetű műtárgyak egyik legelterjedtebb építési technológiája a hídvetés, mely során a szerkezetet hidraulikus sajtók segítségével tolják végleges helyére. A betolás során a főtartók alsó övében fellépő keresztirányú erők a hídgerendák lokális stabilitásvesztését (beroppanását) okozhatják, melyre a szerkezetet méretezni kell. Azonban számos szakirodalmi publikáció rávilágított arra, hogy a hosszborrával merevített gerinclemezes tartók beroppanási ellenállásának számítására kidolgozott EN-1993-1-5 [1] (Eurocode) szerinti eljárás relatíve nagy szórással rendelkezik, és nagy mértékben alábecsülheti a tényleges teherbírást, mely kevésbé gazdaságos szerkezetek tervezéséhez vezethet. Diplomamunkám témája az egyenlő hosszborrával merevített gerinclemezes tartók beroppanási ellenállását befolyásoló geometriai paraméterek meghatározása és a különböző tönkremeneteli módok szétválasztása, valamint a jelenlegi szabványos eljárás hatékonyságának és alkalmazhatósági korlátainak vizsgálata.

1. Bevezetés

Hídvetés során az ideiglenes helyen fellépő, esetenként igen magas értéket elérő reakcióerők bevitelére az acél- és az öszvérszerkezetű híd-felszerkezetek nagyon érzékenyek. A reakcióerők keresztirányú, kvázi koncentrált erőként („patch load”) végig görbülnék a tartó alsó övének teljes hosszán. Eközben a tartó bizonyos esetekben a véglegestől eltérő, előjelében is ellentétes nyomatóterhet kell, hogy viseljen. Fontos, hogy ez a betöltött tartószerkezeteknél előforduló teher a tartóban maradandó alakváltozást ne okozzon.

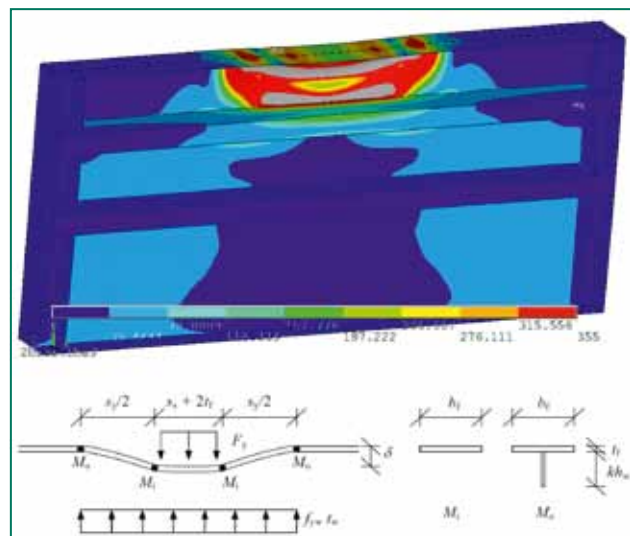
One of the most common techniques of bridge construction in case of composite or steel superstructures is launching, during which the structure is being placed on the substructure using hydraulic jacks. During launching, transverse forces acting on the lower flange of the girders might cause local instability problems called web crippling. Therefore, the structure must be designed for this type of failure. However, numerous previous researches have made it clear that the patch loading resistance model proposed by EN-1993-1-5 [1] (Eurocode) for slender plate girders with longitudinal stiffeners has a relatively large scatter and may significantly underestimate the actual patch loading resistance of the girder which could result in the design of less economic structures. The topic of my Master's Thesis is the determination of geometric parameters which influence the patch loading resistance of thin plate girders with more than one longitudinal stiffeners, the investigation of different failure modes, and the examination of the effectiveness and application limits of the current standardized design method.

A Magyarországon betolással épített acél-és öszvérhidak mindegyike keresztirányú merevítőbordákkal van ellátva a gerinclemez beroppanásának megelőzése érdekében.

Ezek a merevítők általában 300-400 mm-re vannak kiosztva egymástól a tartó hossza mentén. Ez a módszer azonban idő- és költségigényes, valamint megnöveli a híd építési idejét. Felmerülhet így az igény a csak hosszborrával merevített tartó beroppanási ellenállásának meghatározására.

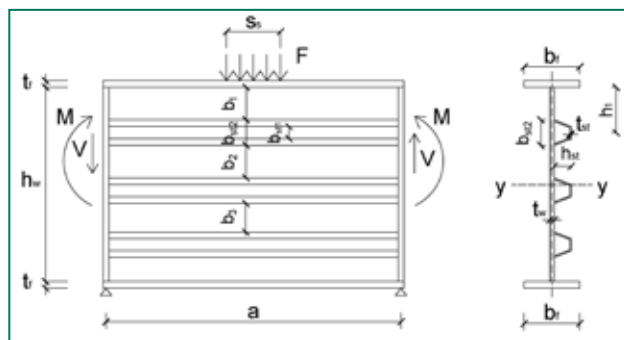
2. Merevített lemezek méretezése

A beroppanás tönkremenetelét leíró, képlékeny mechanizmuson alapuló első analitikus modellt az 1970-es évek végén publikálta Roberts és Rockey [2], majd több, kísérleti tapasztalatok alapján korrigált eljárás is megjelent. Léteznek a mechanizmust három, illetve négy képlékeny csuklóval leíró modellek is, azonban az EN 1993-1-5 szabványban a Lagerqvist és Johansson [3] által publikált modell alapján kidolgozott számítási mód jelent meg. E szerint a terhelt övlemezben képlékeny csuklók alakulnak ki, amelyek mechanizmusként a gerinclemez lokális tönkremenetelét (beroppanását) eredményezik. A modell azt feltételezi, hogy a gerinclemez közvetlenül az erőbevezetés alatt folyik meg, majd a négy képlékeny csukló kialakulásával jön létre a mechanizmus. A külső képlékeny csuklók kialakulásába a gerinclemez egy része (a magasság $k \cdot h_w$ része) is belet vonva, így a feltételezés szerint egy T-keresztmetszetű rész játszik szerepet a csukló kialakulásában, ahogy azt az **1. ábra** is szemlélteti.



1. ábra Lagerqvist és Johansson által kidolgozott négycsuklós modell [3] (alul), végeselemes modell a mechanizmus bemutatására (felül)

Az ábrán M_i a belső csuklók, M_0 a külső csuklók képlékeny nyomatéki ellenállása. A k tényezőt kísérleti eredmények alapján kalibrálták be. A feltételezett „effektív hossz”, amelyen a gerinclemez „válaszol” a terhelésre $l_y = s_s + 2t_f + s_y$ összefüggéssel írták le, ahol s_y a csuklók nyomatéki ellenállásától, és a gerinclemez szilárdságától, valamint vastagságától függ. A modell analitikus képleteit később valamelyest tovább egyszerűsítették, valamint kísérleti eredmények alapján statisztikai módszerekkel parciális biztonsági tényezőt rendeltek hozzá, majd kissé más jelölésekkel a módszer megjelent az Eurocode szabványban. A **2. ábra** mutatja a továbbiakban az összefüggésekben használt jelöléseket. A jelenlegi méretezési módszer a csökkentő tényezős eljárásnak alapul. A hosszmerovítóborda hatását a kritikus erő (F_{cr}) és a kritikus teherszorzó (k_F) veszi figyelembe, míg a csökkentő tényezőt leíró összefüggés megegyezik merevített és merevítetlen lemez esetében. A beroppanási ellenállás az (1) egyenlet szerint számítható.



2. ábra Alkalmazott jelölések

$$F_{Rd} = \chi_F \cdot \frac{l_y \cdot f_{yw} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} \leq 1.0 \quad (1)$$

A szakirodalom azonban több helyen is módosítást javasolt: a csökkentő tényezős görbe egyenletére egy jobban kalibrálható összefüggést javasoltak, az effektív terhelési hossz képletéből a jelenségben szerepet nem játszó tagokat kivették, valamint több javaslat is megfogalmazódott a k_F horpadási tényező pontosabb figyelembevételére. Tekintettel arra, hogy diplomamunkámban már a módosított összefüggésekből indulok ki, jelen publikációban is ezeket az összefüggéseket ismertetem.

Ezek alapján a csökkentő tényezőt a (2) egyenlet alapján lehet számítani:

$$\chi_F = \frac{1.0}{\varphi_F + \sqrt{\varphi_F^2 - \bar{\lambda}_F}} \leq 1.0 \quad (2)$$

ahol:

$$\varphi_F = \frac{1}{2} (1 + \alpha_{F0} \cdot (\bar{\lambda}_F - \bar{\lambda}_{F0}) + \bar{\lambda}_F) \quad (3)$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y \cdot f_{yw} \cdot t_w}{F_{cr}}} \quad (4)$$

a csökkentő tényezős görbét „kalibráló” imperfekciós faktor és platóhossz:

$$\alpha_{F0} = 0.75 \quad \bar{\lambda}_{F0} = 0.50 \quad \text{ha} \quad \gamma_{M1} = 1.10 \quad (5)$$

A hasznos terhelési hossz számításának módját számos publikációban megkérdőjelezték, ezért a szakirodalomban javasolt (6) szerinti összefüggéssel számoltam numerikus eredményeim kiértékeléséhez.

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{b_f}{t_w}}\right) \quad (6)$$

Kövesdi [4] ajánlása szerint a kritikus erő a (7) egyenlet alapján, a k_F tényező merevített lemezmező esetében pedig (8) és (9) egyenlet szerint számítandó (zárt, illetve nyitott hosszborítás kialakítás esetén):

$$F_{cr, felső} = 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{b_1} \quad (7)$$

$$k_{F, zárt} = 4.0 + 3.0 \cdot \frac{s_s}{b_1} - 0.01 \cdot \frac{b_1}{t_w} + 0.2 \cdot \sqrt{\frac{b_f \cdot t_f^3}{b_1 \cdot t_w^3}} \quad (8)$$

$$k_{F, nyitott} = 4 + 2 \cdot \frac{s_s}{b_1} - 0.01 \cdot \frac{b_1}{t_w} + 0.2 \cdot \sqrt{\frac{b_f \cdot t_f^3}{b_1 \cdot t_w^3}} \quad (9)$$

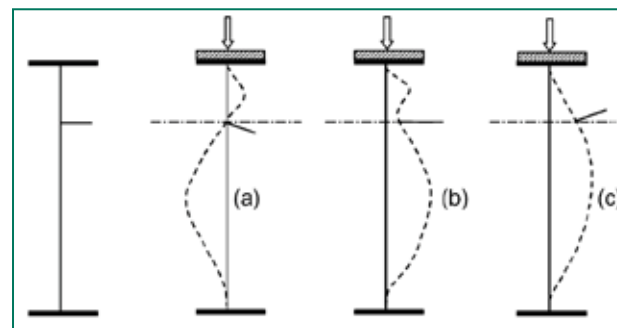
a merevítóbordák relatív merevségét az alábbi összefüggéssel lehet számítani:

$$\gamma_s = 10.9 \cdot \frac{I_{sl}}{h_w \cdot t_w^3} \quad (10)$$

ahol az I_{sl} a merevítóborda és egy, a merevítóborda mindkét oldalától $15 \cdot \varepsilon \cdot t_w$ széles effektív gerincdarab másodrendű nyomatéka, E a rugalmassági modulus.

3. Az Eurocode méretezési eljárás hiányosságai

Számos kutatás rámutatott, hogy az Eurocode [1] méretezési modellje szerint számítható beroppanási ellenállás alábecsüli a valós beroppanási ellenállást, ugyanis csak egy hosszirányú merevítóborda figyelembevételével építették fel a modellt, ami magában foglalja a merevítő alatti és feletti lemezrész beroppanását, a globális lemezhorpadást és a két jelenség interakciójának köszönhető stabilitásvesztést, ahogyan azt a **3. ábra** mutatja. Több hosszborítás kialakítás esetén tehát rossz közelítést adhat az Eurocode szerinti eljárás.



3. ábra Merevített gerinclemez stabilitásvesztési módjai [4]

A módszer nem veszi figyelembe a merevítóborda helyzetének hatását sem, merevségét pedig a kritikus teherszorzóban (k_F) veszi figyelembe, ami a fokozatos merevítóborda merevség növelése esetén rendre nagyobb beroppanási ellenállást szolgáltat. Azonban, ha a merevítóborda megfelelően merev ahhoz, hogy elkülönítse a globális kihajlási alakot a gerinc alsó- és felső lemezmezőjének lokális tönkremenetelére (**3. ábra** a) eset), a merevítóborda merevségének további növelése nincs hatással a beroppanási ellenállásra. E jelenség figyelembevétele a jelenlegi tervezési eljárásból hiányzik.

4. Numerikus vizsgálatok

A beroppanási jelenséget befolyásoló tényezőket zárt, illetve nyitott, két és három hosszborítással rendelkező modellek numerikus analízise alapján vizsgáltam. Meghatároztam a különböző geometriai kialakítású tartókhoz tartozó sajátértékeket (F_{cr} kritikus erő),

valamint beroppanási határteherbíráásokat (F_{ult}). Ehhez összesen körülbelül 650 LB (lineáris számítás) és 100 GMNI (geometriaileg és anyagilag nemlineáris imperfekt) paraméteres analízist hajtottam végre a Seitz [5] által kialakított próbagerendák kísérleti eredményei alapján verifikált végeselemes modelleken Ansys 19 programban.

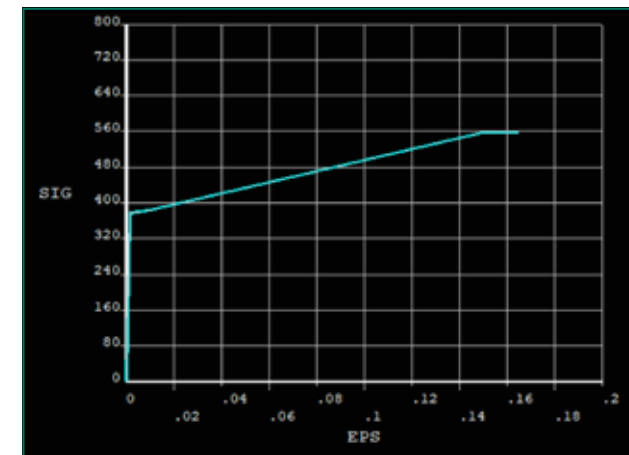
A vizsgálatok során a gerinclemez h_w és t_w méreteit, az övlemez b_f és t_f méreteit, az s_s erőbevezetési hosszt, a merevítóbordák relatív merevségét, a merevített gerinclemez „a” hosszát és a b_1 - b_2 lemezmező arányokat változtattam paraméteresen az **1. táblázat** által összefoglalt tartományban. A vizsgált tartományban figyeltem arra, hogy a valós hídsszerkezeteknél használt arányok a modellekben is teljesüljenek.

	a	h _w	t _w	b ₁	t _f	s _s	γ	b ₁ /h _w	b ₁ /b ₂	h _w /t _w	b ₁ /t _w	s _s /a
MIN	1200	1200	4	250	15	175	30	0,10	0,20 (0,40)	80	25	0,20
MAX	5000	4000	30	600	40	5000	2000	0,40	1,00 (1,25)	500	170	1,00

1. táblázat Az változtatott paraméterek tartománya

4.1. Numerikus modell bemutatása

A verifikáláshoz szükséges modell anyagminőségeit a valós kísérletekkel meghatározott értékek szerint vettem fel (melyet a későbbi vizsgálatokhoz $f_y=355$ MPa és $f_u=510$ MPa értékekre módosítottam), az anyagmodellnek pedig lineárisan rugalmas-felkeményedő modellt definiáltam. Eszerint az anyagmodell $E=210$ GPa rugalmassági modulusal lineárisan rugalmas a folyási határig, majd innen felkeményedő a szakítószilárdságig. A szakadónyúlás $\varepsilon=12\%$ értékkel lett definiálva, ami kísérleti eredmények átlagértékéhez közeli érték. A szakítószilárdság elérése után tökéletesen képlékeny anyagmodell van feltételezve.



4. ábra Definiált anyagmodell

Az imperfekciók helyettesítő geometriai imperfekcióként lettek definiálva (ezek tehát tartalmazzák a sajátfeszültségek és a gyártási hibák hatását is) az EC ajánlása szerint felvett amplitúdójú szinusz hullám alakkal, melyeket külön definiáltam felső, illetve alsó lemezmezőre, valamint a merevítóbordára és a borda által „közrefogott” lemezrészre.

A megtámasztási viszonyok a kísérleti kialakításnak megfelelően lettek definiálva, a csuklós (UX, UY, UZ) – csuklós (UX, UY) kéttámaszú tartó felső öve a függőleges merevítóbordáknál (UX) és az erőbevezetés helyén (UX,

Structural behaviour

Load [kN]

Deflection [mm]

Notations: b_1/h_w ratio

0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50

Figure 10 consists of four contour plots and a line graph. The contour plots show the distribution of the heat transfer coefficient for $b1/hw = 0.25$ and $b1/hw = 0.15$, comparing the 'bordo' (edge) and 'interio' (interior) regions. The line graph plots the heat transfer coefficient F_c [kW] against the aspect ratio ss/hw [-] for various $b1/hw$ ratios. The legend indicates: $b1/hw=0,10$ (green line with circles), $b1/hw=0,15$ (orange line with circles), $b1/hw=0,25$ (grey line with circles), $b1/hw=0,35$ (yellow line with circles), $b1/hw=0,40$ (dark blue line with circles), $b1/hw=0,15$ (3 bordo) (green line with circles), and $b1/hw=0,25$ (3 bordo) (dark blue line with circles).

hw [mm]	Fcr [kN] (b1/hw=0.2)	Fcr [kN] (b1/hw=0.3)	Fcr [kN] (b1/hw=0.4)
1000	2000	1550	1250
1200	1550	1150	950
1400	1200	900	750
1600	950	750	600

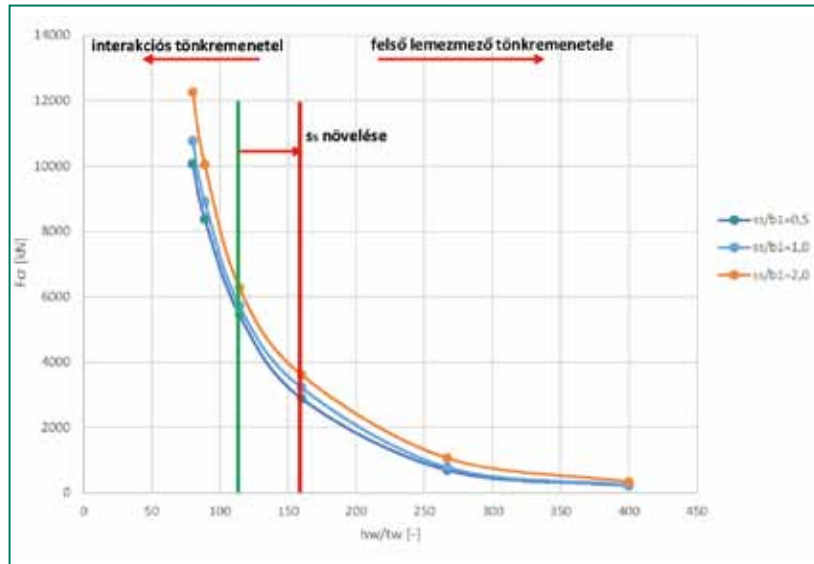


A gerinc vastagságának hatását a **9. ábra** mutatja. A vastagság növelésével a kritikus erő is nő, azonban egy bizonyos vastagság után a merevítőborda merevsége nem lesz megfelelő ahhoz, hogy elkülönítse az alsó és felső lemezmezőt, és interakciós tönkremeneteli mód lesz a mértékadó, emiatt ebben az esetben a lemezvastagság növelésével a hosszmerítők merevségét is növelni szükséges.

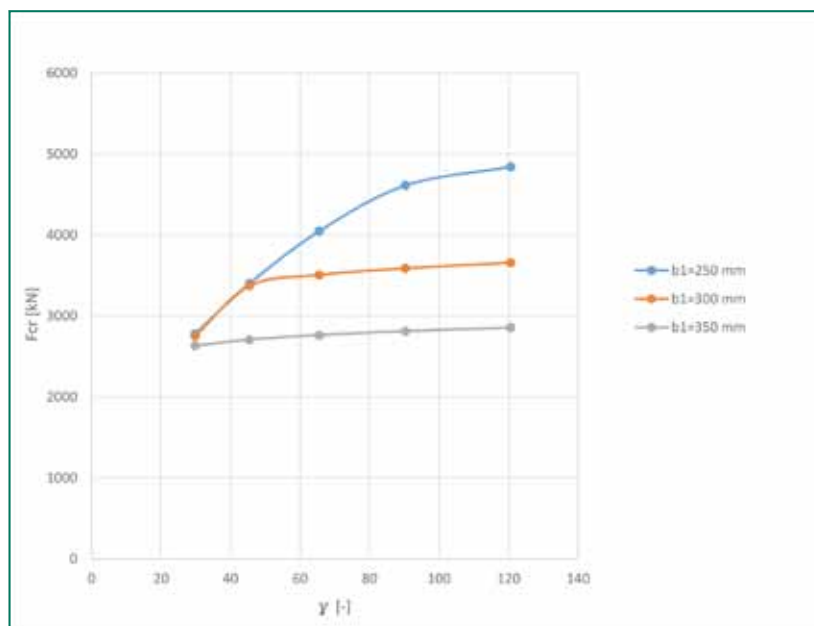
Az adatokból az is látható volt, hogy az erőbevezetési hossz befolyásolja, hogy milyen h_w/t_w aránynál lesz „gyenge” a hosszmerítő: minél nagyobb hosszra vezetjük be az erőt, annál nagyobb h_w/t_w arány esetében van szükség merevebb bordákra. Az ábrán piros függőleges vonal azt a h_w/t_w arányt jelöli, ami alatt $s_s/b_I=1.0$ és 2.0 erőbevezetési hossz esetén interakciós tönkremenetel volt mértékadó, míg a zöld vonal a rövidebb, $s_s/b_I=0.5$ erőbevezetési hosszhoz tartozó arányt mutatja. Ismét látható tehát, hogy a terhelési hossz növelése nagyobb merevítőbordát is igényel.

A merevítőbordák merevségének hatása a **10. ábra** szerint alakult. Látható, hogy nagyobb b_I/h_w arány esetén kisebb relatív merevségű borda is elegendő azon pont eléréséhez, amelynél a további merevség-növelés nem eredményez nagyobb kritikus erőt.

A további vizsgálatokból egyértelműen kiderült, hogy a merevített lemezmező hossza, az övlemez vastagsága és szélessége csak rendkívül kis mértékben (3-10%) változtat a kritikus erő nagyságán.



9. ábra Gerincvastagság növelésének hatása a kritikus erőre



10. ábra Hosszborda merevségének hatása a kritikus erőre

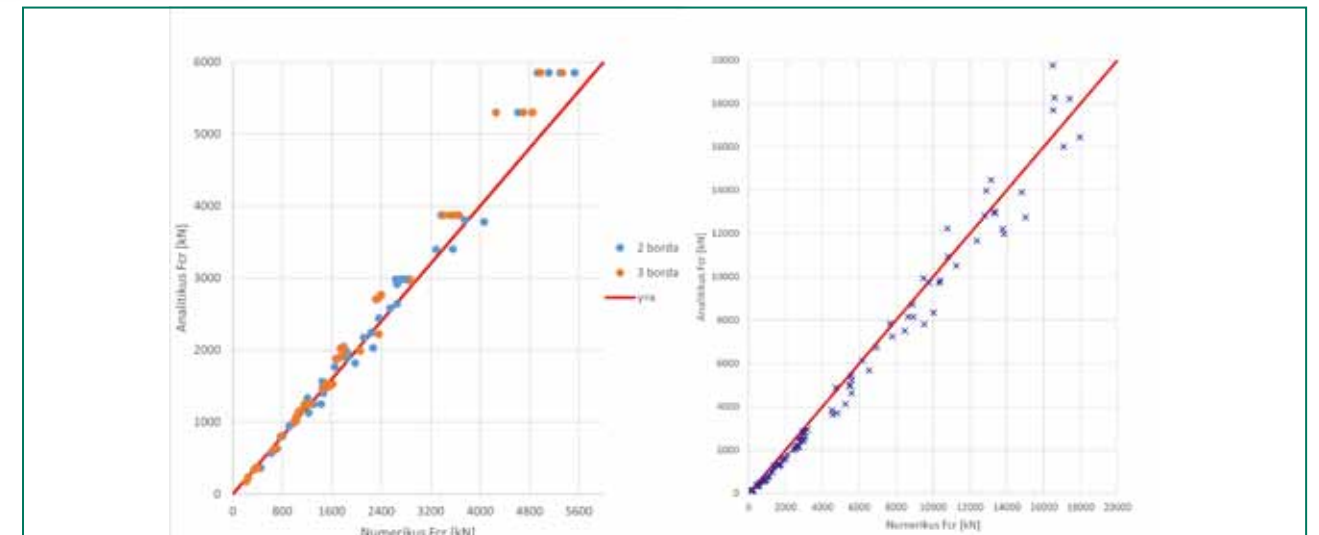
4.3. Eredmények összevetése szakirodalmi képletekkel

Az analízisekből nyert F_{cr} kritikus erő értékeket összehasonlítottam Kövesdi [4] által kidolgozott, fent bemutatott analitikus képletekkel, melyek 2-4 zárt-, illetve nyitott bordával merevített lemez beroppanásához tartozó kritikus erő meghatározásához használhatók a felső lemez tönkremenetelének esetén.

Az összehasonlításból azt a következtetést vontam le, hogy a zárt bordás tartókra kidolgozott képlet az esetek többségében túlbecsüli a numerikus eredmény által adott kritikus erőt, míg nyitott bordás modellek esetén jó egyezést kaptam (**11. ábra**). Így az előbbi esetre kidolgozott képletet (12) szerint módosítottam a numerikus eredményeimnek megfelelően.

$$k_{F,zárt,mod} = 4 + 3 \cdot \frac{s_s}{b_1} - 0.3 \cdot \frac{h_w}{b_1} \cdot \sqrt{\frac{s_s}{b_1}} + 0.2 \cdot \sqrt{\frac{b_f \cdot t_f^3}{b_1 \cdot t_w^3}}$$

(12)



11. ábra Numerikus eredmények összevetése Kövesdi [4] analitikus eljárásával (bal oldalt zárt bordás; jobb oldalt nyitott bordás eset)

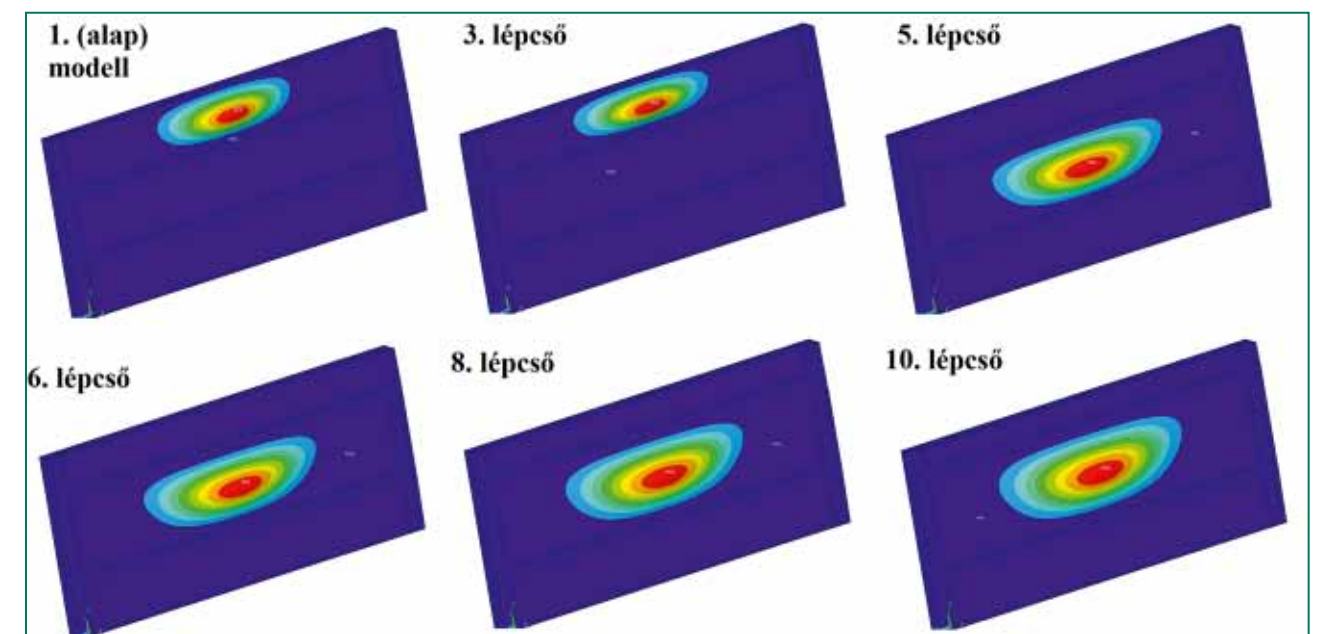
4.4. „Közbenső” lemezmező beroppanása

Ha az erőbevezetéshez legközelebb eső merevítőborda és a terhelt övlemez által „közrefogott” lemezmező kisebb, mint az első-második merevítők közötti mező, előfordulhat, hogy a mértékadó tönkremenetel a „közbenső” lemezmező beroppanása lesz az erőbevezetéshez közelebb eső „felső” lemezmező helyett. A tönkremeneteli mód tehát függ a lemezmezők b_I/b_2 arányától.

A geometriai paraméterek ismételt változtatásával több „alapmodell” hoztam létre, melyek esetében b_I/b_2 mindig 1.00, majd az adott geometriájú alapmodellen belül további modelleket definiáltam, ahol már csak az első, erőbevezetéshez legközelebb eső merevítőborda helyzetét változtattam, egyre közelebb helyezve a terhelt övlemezhez, fokozatosan csökkentve ezzel a b_I/b_2 arányt. A „feltolás” mértékét úgy határoztam meg, hogy egy újabb modellen a

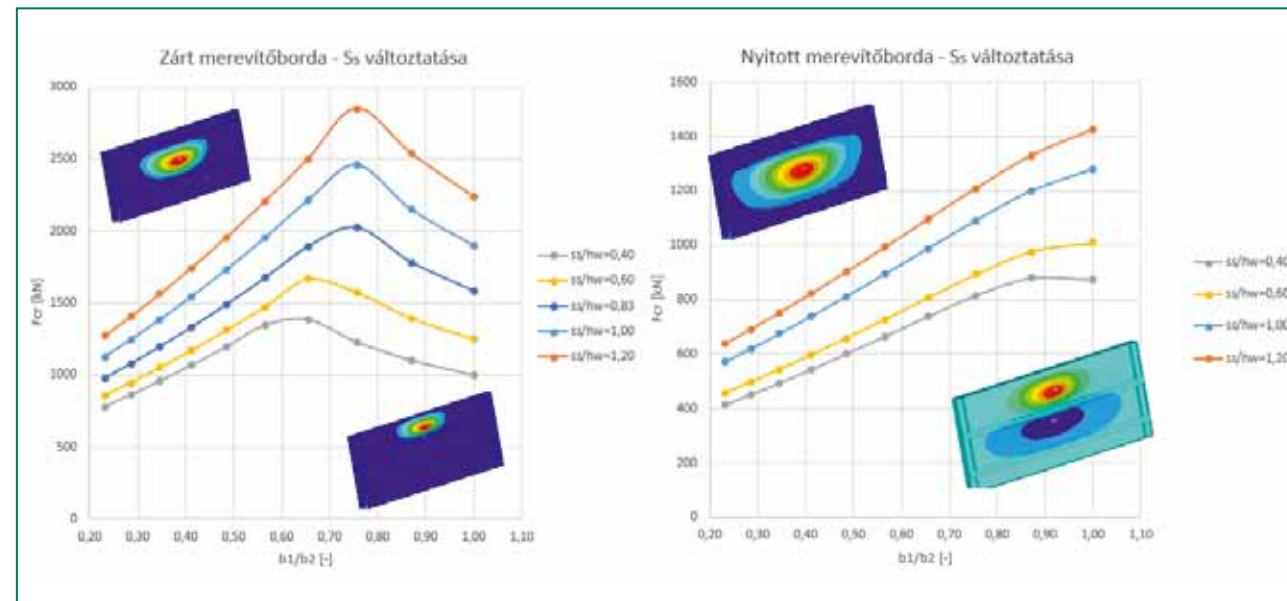
felső hosszmerítő helyzete az előzőhöz képest 50 mm-rel feljebb helyezkedik el, egy alapgeometriát pedig további 9 lépcsőben módosítottam. A **12. ábra** egy ilyen geometria módosítás minden második lépcsőjét mutatja be.

Minden változtatott paraméter esetében a b_I/b_2 arány függvényében ábrázoltam az F_{cr} kritikus erőt. A függvények jellegéből látszik, hogy ahogy a b_I/b_2 arány csökken, azaz a „felső” lemezmező merevsége megnő a magasságának csökkenése miatt, egy darabig nő a kritikus erő is, míg egy bizonyos pont után, ha tovább csökkentjük a b_I/b_2 arányt, az erő is elkezdi csökkenni. Ezen pont után a közbenső lemezmező beroppanása válik mértékadóvá.



12. ábra Merevítőborda pozíciójának változtatása egy alapmodellen belül

A **13. ábra** a különböző lemezmező-arányokkal rendelkező modellek kritikus erejének változását mutatja a terhelési hossz növelésének hatására zárt, illetve nyitott bordás esetben. Jól látható, hogy zárt bordás esetben kis erőbevezetési hosszánál kisebb b_1/b_2 arány esetén válik a közbenső lemezrész beroppanása mértékadóvá ($b_1/b_2 \sim 0.65$ érték alatt a közbenső lemezmező megy tönkre), majd a hossz növelésével a maximumpont is eltolódik

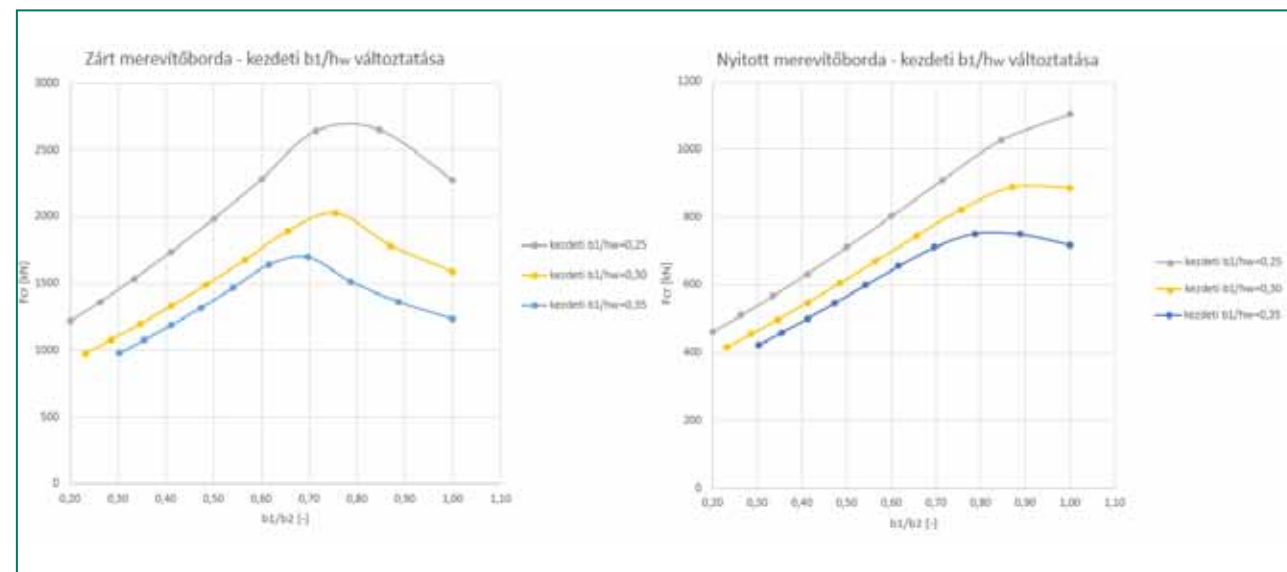


13. ábra Erőbevezetési hossz változtatása – kritikus erő a lemezmezők arányának függvényében

A görbe maximumpontjának helye változik annak függvényében is, hogy a kiinduló modellen kezdetben milyen távolságra van az erőbevezetéshez legközelebb lévő merevítőborda. A **14. ábra** mutatja, hogy olyan kiindulási modell esetén, ahol az első borda először a gerincmagasság 35%-ában van definiálva, kisebb b_1/b_2 arány esetén válik

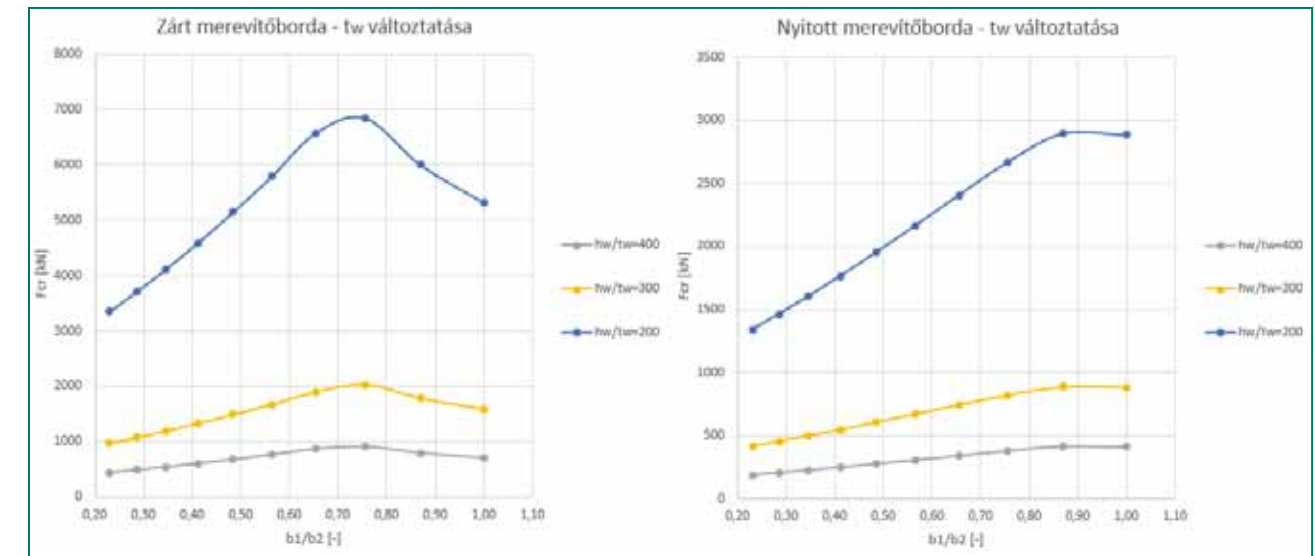
mértékadóvá a közbenső lemezrész beroppanása, mint kisebb kezdeti b_1/h_w arányok esetén.

Zárt bordák esetében $b_1/b_2 \sim 0.70-0.75$, nyitott bordáknál pedig $b_1/b_2 \sim 1.00-0.90$ alatti arány alatt következett be a közbenső lemezrész beroppanása.



14. ábra Kezdeti b_1/h_w arány változtatása – kritikus erő a lemezmezők arányának függvényében

A gerinclemez vastagságának növelése nem változtatta a függvény maximumának helyét, zárt bordás esetben ismét $b_1/b_2 \sim 0.75$, nyitott bordás esetben pedig $b_1/b_2 \sim 0.90$ alatti arányok esetében horpadt be a közbenső lemezmező, amit a **15. ábra** mutat.



15. ábra Gerinclemez-vastagság változtatása – kritikus erő a lemezmezők arányának függvényében

A fenti grafikonok alapján elmondható, hogy abban az esetben, ha a közbenső lemezmező horpad be, a kritikus erőt lényegesen befolyásoló geometriai paraméterek a t_w gerinclemez vastagság, az s_s erőbevezetési hossz (ami egy feltételezett 45°-os erőterjedés miatt függ a b_1 felső lemezmező mérettől is), és a b_2 közbenső lemezmező magassága. Ennek tudatában a kritikus erőt meghatározó analitikus képletet az felső lemezmező beroppanását leíró (7) összefüggésből kiindulva próbáltam meghatározni, azzal a különbséggel, hogy a képletben a b_1 helyére a b_2 közbenső lemezmező magasságát helyettesítettem. A kiindulási képlet tehát:

$$F_{cr, közbenső} = 0.9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{b_2} \quad (13)$$

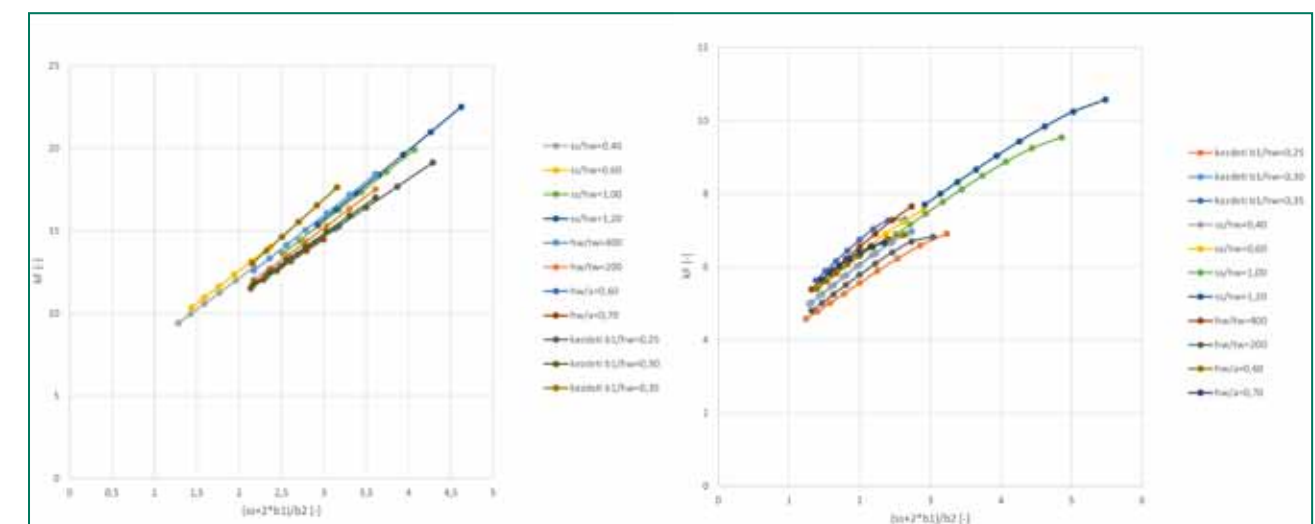
amelyből, mivel a kritikus erő az analízisek

végeredményeként ismert, visszaosztással meghatároztam azt a k_F tényezőt, ami a kívánt kritikus erőt szolgáltatja.

Ezek után a különböző modellekhez tartozó k_F értékeket az $\frac{s_s + 2 \cdot b_1}{b_2}$ dimenzió nélküli arányszám függvényében írtam fel.

A **16. ábra** mutatja a zárt, illetve nyitott merevítőbordával felépített modellek esetén az azonos koordináta-rendszerben ábrázolt függvényeket.

Látható, hogy a k_F tényező értéke közelítőleg lineárisan függ az $\frac{s_s + 2 \cdot b_1}{b_2}$ aránytól.



16. ábra k_F tényező a közbenső lemezmezőre jutó erőbevezetési hossz és a lemezmagasság hányadosának függvényében (bal oldalt zárt; jobb oldalt nyitott merevítőbordák esetén)

Ahhoz, hogy minden általam vizsgált esetben a biztonság javára közelítsen az analitikus képlet, az egyenes-seregéből a legkisebb k_F tényezőt szolgáltatató egyenes egyenletét közelítettem, ami zárt, illetve nyílt bordára a (14) és (15) egyenlet szerint alakult.

$$k_{F,zárt} = 3.6 \cdot \frac{s_s + 2 \cdot b_1}{b_2} + 3.7 \quad (14)$$

$$k_{F,nyitott} = 1.2 \cdot \frac{s_s + 2 \cdot b_1}{b_2} + 3.0 \quad (15)$$

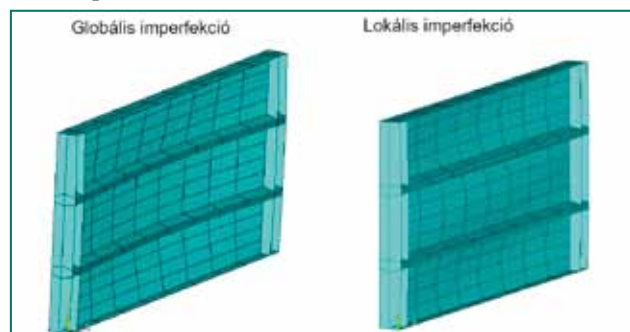
A képletek alkalmazhatóságának meghatározásához azt kell megvizsgálni, hogy a b_1/b_2 arány függvényében ábrázolt F_{cr} értékek által meghatározott függvényeknek hol van a maximumpontja. Zárt merevítőbordás modellek esetében a maximum $b_1/b_2 = 0.75-0.70$ aránynál, nyitott hossz-bordáknál pedig $b_1/b_2 = 1.00-0.90$ aránynál volt jellemző, így elméletileg ennél kisebb lemezmező-aránnyal rendelkező kialakítások esetén a közbenső lemezmezőhöz tartozó k_F értékekkel lehetne számítani. A gyakorlatban azonban célszerűbb lehet előírni, hogy minden esetben ki legyen számítva a „jobb” és „bal” oldali ág képlete szerinti ellenállás, melynek minimuma jól fogja közelíteni a kritikus erőt.

$$F_{cr} = \min(F_{cr,felső}, F_{cr,közbenső}) \quad (16)$$

4.5. Beroppanási ellenállás (határerő) meghatározása

Az Eurocode szerinti csökkentő tényezőt a relatív karcsúság függvényében megadott görbe pontosságának vizsgálatához 50-50 modell paraméteres GMNI analízist hajtottam végre olyan esetekre, ahol a „felső” ($b_1/b_2=1.0$), illetve „közbenső” ($b_1/b_2<1.0$) lemezmező tönkremenetele mértékadó. Az 50 modellen belül mindkét esetben fele-fele arányban alkalmaztam nyitott, illetve zárt merevítőbordával rendelkező modelleket.

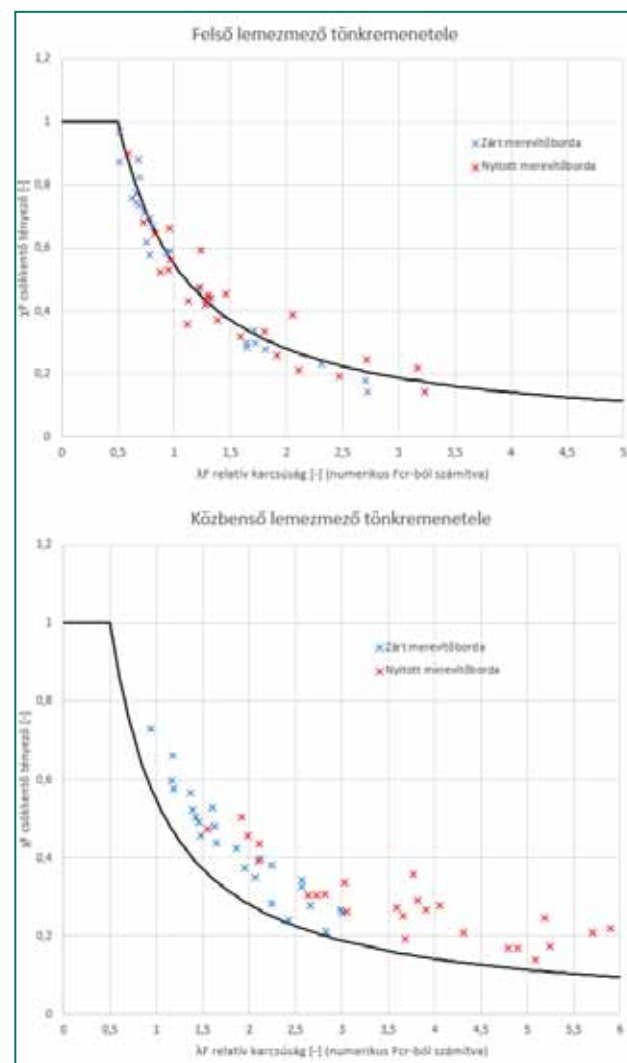
Az analízishez először végeelemes hálóérzékenység-vizsgálatot, majd imperfekcióérzékenység-vizsgálatot hajtottam végre. Az imperfekciók helyes megválasztása a modellezési folyamat egyik legfontosabb lépése, ugyanis az alkalmazott imperfekció típusától és nagyságától függően a beroppanási ellenállás is változik. Az imperfekciók előjelének (azaz irányultságának) hatását úgy vizsgáltam (tekintettel arra, valós kísérleti eredmények nem álltak rendelkezésre több merevítőbordás kialakítás esetére), hogy azt az imperfekció-kombinációt fogadtam el mértékadónak, amely azonos kialakítás és terhelés (de más irányú imperfekció) esetén a legkisebb beroppanási ellenállást adta. A 17. ábra a zárt bordás modellen definiált mértékadó imperfekció-kombináció felskálázott alakját mutatja globális, illetve lokális imperfekciók esetén.



17. ábra Mértékadó imperfekció-kombináció zárt bordás modellen

A numerikus számítások eredményeit először úgy ábrázoltam, hogy a relatív karcsúságot a modellek LBA számításából kapott „pontos” F_{cr} értékből számítottam, ezután a „felső” és „közbenső” lemezmező-tönkremenetekhez tartozó analitikus képletekből számított kritikus erővel is kiszámítottam a karcsúsági értékeket.

A 18. ábra a zárt és nyitott bordás modellek eredményeit mutatja, ha a karcsúságot a modell LB analíziséből számítjuk. Az ábra felső diagramján azok a modellek szerepelnek, ahol a „felső” lemezmező roppan be, míg alul a „közbenső” mező tönkremenetelének eredményei láthatók.

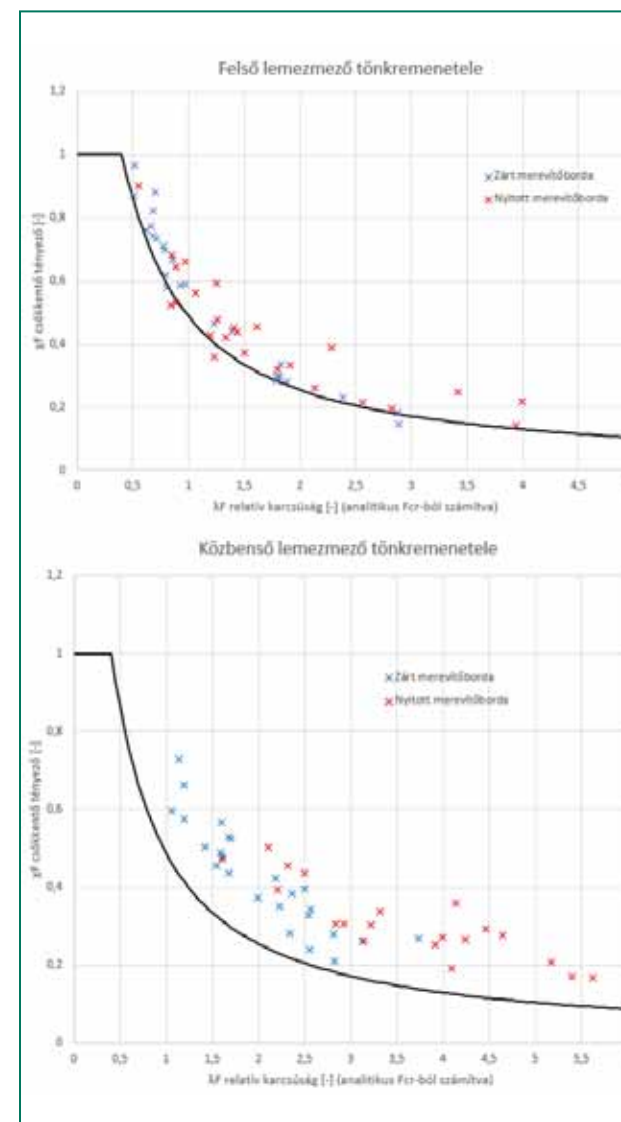


18. ábra Paraméteres modellek eredményei lemezkarcsúság függvényében – numerikus kritikus erőből számítva ($\alpha_{F0}=0.75$, $\bar{\lambda}_{F0} = 0.50$)

Látható, hogy míg a „felső” lemezmező tönkremeneteléhez tartozó eredmények, bár jól követik a grafikon jellegét, többnyire a görbe alá kerültek, míg a „közbenső” mező beroppanásához társuló csökkentő tényezők jóval a görbe fölött helyezkednek el. Ennek oka, hogy azokban az esetekben, ahol a „közbenső” mező megy tönkre, jelentős posztkritikus tartalék tapasztalható a teherbírásban. Mivel ilyenkor jellemzően $b_1/b_2 < 0.75$, ill. < 1.0 , a „közbenső” merevített lemezmező b_2/t_w karcsúsága megnő az eredeti, $b_1/b_2=1.0$ arányú kialakításhoz képest, így a lemezarányok olyanná válnak, hogy $\sigma_{cr} < f_y$ lesz.

A numerikus eredményekből arra következtettem, hogy a tönkremenetel helye függ a lemezmezők karcsúságtól: a „közbenső” lemez tönkremenetelének vizsgálatára létrehozott modelleknél ($b_1/b_2 < 1.0$) a t_w gerincvastagság növelésével változatlan b_1/b_2 arány mellett a „felső” lemezmező tönkremenetele vált ismét mértékadóvá, annak ellenére, hogy a saját alak szerint a „közbenső” lemezmező roppan be. Ahhoz tehát, hogy a közbenső lemezmező menjen tönkre, a $b_1/b_2 < 0.75$ (zárt bordák) ill. $b_1/b_2 < 1.0$ (nyitott bordák) feltétel mellett az is szükséges, hogy a merevített lemez karcsú legyen.

A következőkben a csökkentő tényezős görbét eredetileg leíró egyenletet módosítottam úgy, hogy a görbe az általam meghatározott pontokra illeszkedjen anélkül, hogy a biztonság kárára tenne becslést. Az (5) egyenlet szerinti α_{F0} és $\bar{\lambda}_{F0}$ tényezőket az eredeti, $\alpha_{F0}=0.75$ és $\bar{\lambda}_{F0} = 0.5$ értékük helyett $\alpha_{F0}=0.90$ és $\bar{\lambda}_{F0} = 0.4$ értékekkel vettem figyelembe, az ily módon újrakalibrált görbe alkalmazásával az eredményeim a görbe felett helyezkednek el, amit a 19. ábra mutat. A görbét az analitikus módszerrel számolt F_{cr} szerinti eredményekhez kalibráltam.



19. ábra Analitikus kritikus erőből számított karcsúság szerint ábrázolt eredményekhez kalibrált csökkentő tényezős görbe ($\alpha_{F0}=0.90$, $\bar{\lambda}_{F0} = 0.40$)

Ezek után a GMNI eredményeket összevetettem több, szakirodalomban található modellek adta eredménnyel, valamint az EN-1993-1-5 [1] jelenlegi eljárásával is arra az esetre, ha a „felső” lemezmező roppan be. Mivel a GMNI analízissel számított eredmény az ellenállás karakterisztikus értékének tekinthető, így az Eurocode 3-szerinti modell esetén a karakterisztikus értékkel vettem össze a numerikus eredményt. A többi eljárás esetében parciális biztonsági tényező nincs értelmezve, így az azokkal számított ellenállásokat a beroppanási teherbírás karakterisztikus értékeként vettem figyelembe.

Az eredményeket összefoglaló 2. táblázat alapján elmondható, hogy az EN-1993-1-5 [1] szerinti eljárással az eredmények több mint harmada, 36%-a túl lett becsülve, az eredmények átlagos eltérése -1%, (amelyet a túlbecsült értékek „javítanak”), a biztonság oldalán maradt közelítések átlagos eltérése -21%-ra adódott. Az eredmények szórása 33%.

	túlbecslések esetszáma [%]	átlagos eltérés [%]	szórás [%]
Roberts-Rockey - kis t_w	50%	+15%	51%
Roberts-Rockey - nagy t_w	98%	+250%	142%
Ungermann	0%	-39%	14%
Lagerqvist	22%	-8% (-13%)	14%
EN-1993-1-5	36%	-1% (-21%)	33%

2. táblázat Analitikus módszerek összevetése a numerikus eredményekkel

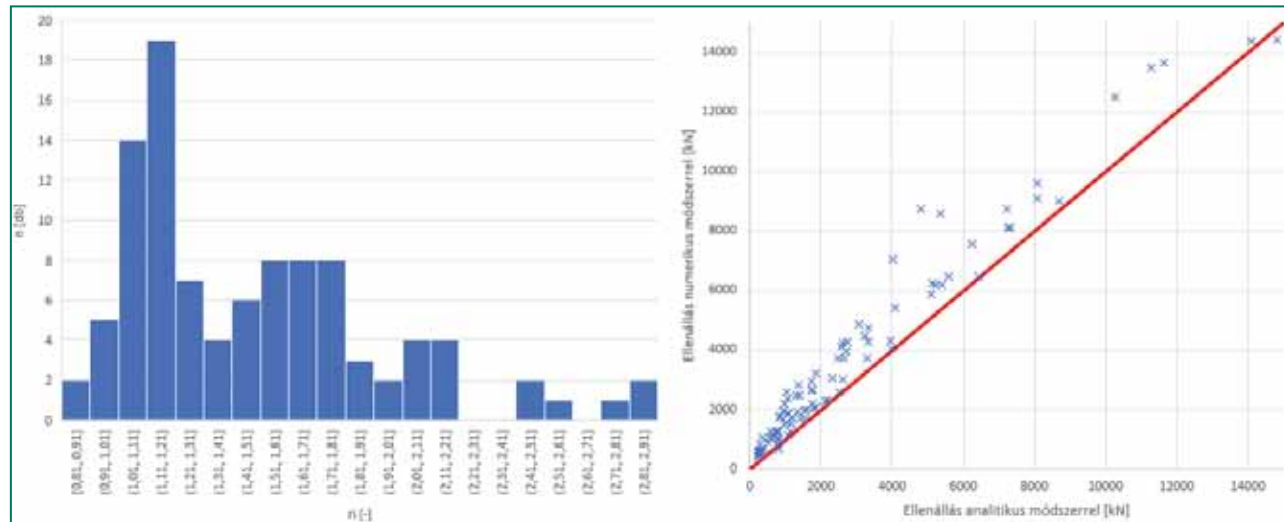
Érdekes, hogy az Eurocode-féle eljárás alapját képező Lagerqvist-féle módszer pontosabb eredményt adott, jóval kisebb szórással és eltéréssel. Az ellentmondás oka, hogy míg az eredeti, Lagerqvist-féle összefüggéseknél a kritikus erőt $h_w=b_1$ felső lemezmező magassággal számoltam a valódi gerincmagasság helyett (tekintettel arra, hogy az eljárás nem vonatkozik merevítőbordákkal rendelkező gerinclemez szerkezetekre), addig az Eurocode 3-féle modell a merevített lemezekhez kidolgozott összefüggésében döntően a teljes h_w gerincmagasságtól teszi függővé a kritikus erő nagyságát a merevített lemezmező nagysága (b_1) helyett. Ebből szintén arra következtettem, hogy az F_{cr} -t adó eredeti összefüggések módosítása szükséges volt a pontosabb közelítés érdekében.

5. Statisztikai kiértékelés

Végül statisztikai elemzés keretein belül összevetettem az analitikus módszerrel meghatározott karcsúságok alapján ábrázolt numerikus eredményeket a módosított „horpadási görbe” eredményeivel, mely során meghatároztam az egyes adathalmazokra („felső - közbenső” mező adatai, teljes adathalmaz) az adatok átlagát, szórását, szórástényezőjét, valamint két, az EN1990 [7] által ajánlott módszerrel kiszámítottam az ellenállás-modellhez rendelhető parciális tényezőket.

Az „egyetlen változó statisztikai értékelése” módszerével meghatározott γ_{Rd} parciális tényezők minden esetben 1.0 alatti értékre jöttek ki. Ebből arra lehet következtetni, hogy az újrakalibrált görbe biztonság oldalán tett közelítést ad az általam vizsgált numerikus számítások eredményeire. A közbenső lemezmezőhöz tartozó részadatokhoz rendelhető tényező kisebb, mint a felső mezőhöz tartozó, ennek oka a már fent említett posztkritikus tartalék, ami miatt a kísérleti eredmények jóval a görbe felett helyezkednek el.

A **20. ábra** bal oldala a teljes adathalmazra vonatkoztatott numerikus és az analitikus módszer adta ellenállások (r_f) arányának eloszlását mutatja, míg jobb oldalon az analitikus módszerrel számított ellenállásértékek numerikus eredményektől való eltérése látható.



20. ábra Teljes adatsor statisztikai kiértékelése

6. Összefoglalás

Diplomamunkámban két, illetve három hosszboardával merevített gerinclemez tartók beroppanási jelenségét vizsgáltam paraméteres végeelemes modellek alkalmazásával. Megvizsgáltam a jelenlegi Eurocode-féle eljárás alkalmazhatóságát, valamint a szakirodalom alapján módosított összefüggések numerikus eredményektől való eltérését. A kritikus erő részletesebb számításához kidolgoztam egy zárt-, és nyitott bordára alkalmazható összefüggést, ha a mértékadó tönkremeneteli mód a két merevítőborda által közrefogott lemezmező behorpadása. A határerő minél jobb közelítésének érdekében numerikus eredményeimhez kalibráltam a csökkentő tényezős görbét, majd statisztikai kiértékelés keretein belül megvizsgáltam az ellenállás-módel szükséges parciális tényezőjét.

Hivatkozások

- [1] EN1993-1-5:2005, Eurocode3: Design of steel structures, Part 1-5: Plated Structural elements, 2006
- [2] Roberts, T. M. and Rockey, K. C. (1979). A mechanism solution for predicting the collapse loads of slender plate girders when subjected to in-plane patch loading, Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2
- [3] Lagerqvist, O. and Johansson, B. (1996). Resistance of I-girders to Concentrated loads, Journal of Construction Steel Research
- [4] Kövesdi Balázs - Patch loading resistance of slender plate girders with longitudinal stiffeners, JCSR, 2017.
- [5] M. Seitz, Tragverhalten längsversteifter Blechträger unter quergerichteter Krafteinleitung. Doctoral thesis, Universität Stuttgart, Mitteilung des Instituts für Konstruktion und Entwurf Nr.2005-2, 2005 (in German)
- [6] Álló László: Hosszbordával merevített acél szekrény keresztmetszetű tartó beroppanási vizsgálata; MSc diplomamunka, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék, 2012.
- [7] EN 1990 (2002) (English): Eurocode - Basis of structural design

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Dr. Kövesdi Balázsnak, aki rengeteg hasznos tanáccsal segítette diplomamunkám elkészítését, és akinek MTA-BME Lendület Új generációs acélhidak kutatócsoportjának kutatási témáihoz kapcsolódott a diplomamunkám témája. Köszönöm továbbá külsős konzulensem, Álló László folyamatos rendelkezésre állását, valamint Lányi Csaba barátom segítségét.

Közúti munkaterületek védelme a Magyar Közútnál

Bortei-Doku Shaun

üzemeltetési-fenntartási mérnök
Magyar Közút Nonprofit Zrt.
Üzemeletési és fenntartási osztály
FMF 1. helyezett



Bevezetés

A Magyar Közútnál 2000 óta 19 munkavállalónkat vesztettük el munkavégzés közben. A folyamatos szakmai erőfeszítések és technológiai fejlesztések dacára a mai napig rendszeresen fordulnak elő olyan közlekedési incidensek, amelyek a közúton kialakított munkaterületeinket, illetve az ott dolgozó kollégáinkat veszélyeztetik. Ezért vált minden eddignél fontosabbá megoldást találni, a gépjárművezetőket megszólítani és figyelmüket felhívni erre a problémára annak érdekében, hogy úgy viselkedjenek a közúti munkaterületek környezetében, ahogyan az tőlük elvárható, hogy kollégáink biztonságban tudják mindennapi feladatukat ellátni.

A Magyar Közút a CEDR (Conference of European Directors of Roads – Európai Közútkezelők Konferenciája) hasznélvezője évente több kutatási projektnek, melyeknek eredményeit és megállapításait saját hatáskörben kamatoztathatja. Egyike ezen kutatásoknak az IRIS mozaikszóval illetett kutatás (Incursion Reduction to Increase Safety - Behajtás Csökkentése a Biztonság Növeléséért), amelyet 2016-ban hívott életre a CEDR, és amelynek zárójelentése 2019 decemberére készült el. A kutatás 46 oldalon, komplexen vizsgálta a közúti munkaterületek témakörét a kiépítés ütemezésétől kezdve, a kialakítás forgalomtechnikáján át, egészen az üzemeltető szakmunkások képzéséig. Előadásomban azt vizsgáltam, mely eredményeket tudja a Magyar Közút gyakorlatába integrálni, mely területeken kell felülvizsgálni a már kialakult eljárásrendet, és mely irányok határozhatják meg a jövő fejlesztéseit.

Emberi tényezők szerepe a balesetekben

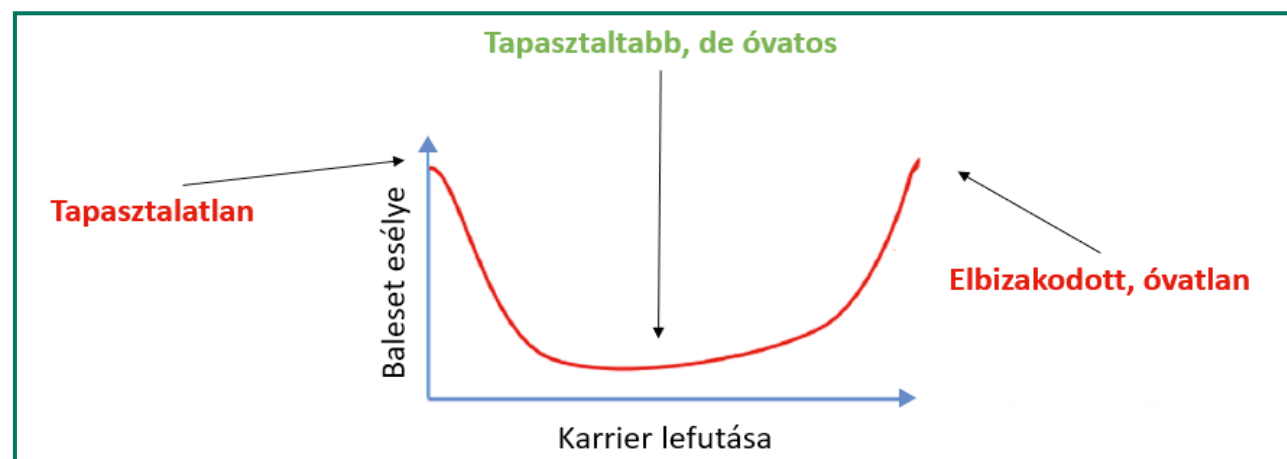
Az IRIS először az emberi tényezőkkel foglalkozik: az érintettek (gépkocsivezetők és útüzemeltető szakmunkások) minden olyan kognitív pszichológiai és egyéb fiziológiai tulajdonságával, amelyek a terelésekben bekövetkező balesetknél fontosak. Ilyenkor a gépkocsivezetők részéről tényező például a fizikai állapotuk vagy figyelmi szintjük, amivel kapcsolatban sajnos az közútkezelő teljesen tehetetlen.

Ha például egy gépkocsivezető ittasan, tudatmódosult állapotban vagy súlyos betegen száll be járművébe, vezetési képességei egyértelműen romlani fognak, ugyanakkor ez az ő döntése, ezt forgalomtechnikai eszközökkel kivédeni nem lehet. Hasonlóan, ha a volán mögött ülő személy figyelmét az út és útkörnyezet helyett telefonjára, utasára, vagy egyéb, a vezetés műveletéhez nem kapcsolódó dologra fordítja, a közútkezelő megint csak tehetetlen: egy a szélvédőn kinéző gépjárművezető figyelme irányítható, de aki nem arra néz, amerre megy, az nem fogja időben észrevenni az előtte felmerülő szituációt. Egy tényezőben azonban a közútkezelőnek szinte kizárólagos hatalma és felelőssége van: baleset következhet be akkor is, ha a gépkocsivezető bizonytalan.

Ha nem érti, amit lát, nem tudja megfejtetni, hogyan kellene neki az adott terelésben vagy csomópontban közlekednie. Erre vonatkozóan három alapelvet fogalmaz meg az IRIS: maradjon alacsonyan a kognitív terhelésük („ne kelljen ezer felé figyelniük”), ne érje őket meglepetés (ne bukkanjának elő váratlan elemek a terelésben), és ne zavarjuk össze őket (legyen egyértelmű,

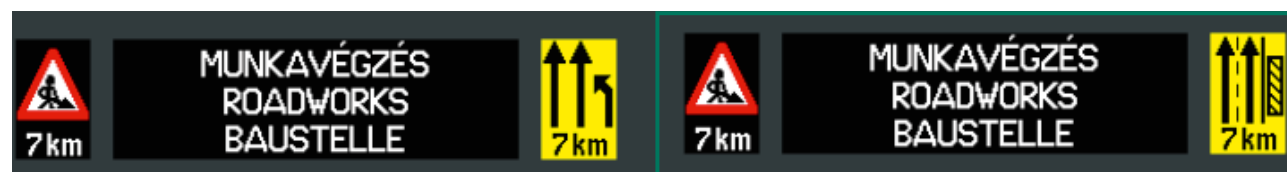
milyen viselkedést várunk el tőlük). Ezen elvek mentén érdekes lenne például felülvizsgálni az e-UT 04.05.14. sz. „Közutakon folyó munkák elkorlátozása és ideiglenes forgalomszabályozása” című UME-t.

Hiba lenne azonban kizárólag a gépkocsivezetők szerepét vizsgálni a munkaterületeken bekövetkező balesetek kapcsán. A közútkezelő is felelős a terelést kiépítő, és az abban dolgozó közútkezelő szakmunkások által, azonban sajnos itt sincs minden tényező felett hatalma. Míg a munkások gyakorlatlansága elméleti és gyakorlati oktatással, a határidős nyomások (tehát, hogy kapkodniuk kelljen) pedig megfelelő ütemezéssel kiküszöbölhetőek, addig egy fizikai munkás elbizakodottsága habitusból fakad, annak következményei csökkenthetők, de nem ártalmatlaníthatók.



1. ábra: „Kádgörbe”

Az IRIS jelentés érdekes megállapítása például az [1. ábrán] látható kádgörbe, amely annak kockázatát szemlélteti egy útüzemeltető szakmunkás karrierje során, hogy mekkora valószínűséggel szenved balesetet munkavégzés közben. Karrierje elején még tapasztalatlan, és bár élénken élnek benne az oktatáson elhangzottak, nagyobb veszélyben van, mint az a társa, aki emellett már van annyira tapasztalt, hogy tisztában van munkaköre kockázatával. Sajnos a rutin növekedésével (paradox módon) ismét növekszik a baleseti kockázat, mivel az egyre több tapasztalat teret enged az óvatlanságnak, elbizakodottságnak. Az életkor is hátrányára változtatja a fizikai munkás biztonságát: a romló látás és reflexek miatt is nagyobb veszélynek vannak kitéve, mint fiatalabb kollégáik.



2.a és 2.b ábra

Terelések kialakítása

A terelések kiépítésére roppant elmésen a 4C elvet fogalmazza meg a jelentés: az angol conspicuous (tehát feltűnő), clear (tehát érthető), consistent (tehát következetes) és credible (tehát hiteles) szavak által. A Magyar Közút terelései ennél már nem is lehetnének feltűnőbbek, forgalomtechnikai eszközeink, egyéni védőfelszereléseink mind a kor színvonalának megfelelőek, élénk narancs színűek és erős fényűek, akinek a figyelmét ezekkel nem tudjuk felkelteni, annak a figyelve már valószínűleg nem is felkelthető.

Az érthetőség kapcsán egy példa: Ha egy ideiglenes forgalmi rend következtében egy táblát érvényteleníteni kell, a jelenlegi gyakorlat a szalaggal áthúzás. Azonban ez sötétben, amikor a táblát a jármű fényszórója világítja meg, nem feltétlenül egyértelmű, tehát zavarhoz, és indirekte baleset-hoz vezethet. Sokkal jobb módszer a tábla letakarása, „lezsákolása”, ha az megoldható.

A következetesség terén sem lehetnek hiányosságaink.

Ha gyorsforgalmi úton, műszaki („leálló-”) sávon történő munkavégzést kell előjelezni, a hitelesség kerül veszélybe, ha a VJT-ken két különböző jelzések is megjelenhet ugyanarra a szituációra [2. ábra].

A bal oldali (helytelen) jelzések szerint 3 forgalmi sáv áll rendelkezésre, melyek közül a jobb szélső megszűnik, tehát itt a közlekedőnek sávváltási kötelessége van. A jobb oldali (helyes) jelzések ezzel szemben azt kommunikálja, hogy a forgalom zavartalanul halad a forgalmi sávokban, azonban a műszaki sávon akadályra kell számítani.

Jó gyakorlat kialakítása

A fizikai munkavállalók akkor tudják feladatukat magas színvonalon, szakértelemmel és biztonságban végezni, ha az alkalmazott gépek használatára, módszerek végrehajtására és terelések kiépítésére teljeskörű oktatásban részesülnek. Ezért fontos minden közútkezelő számára, hogy dolgozóit minél jobb anyagokból oktassa.

Több társaságnál használt oktatófilmsorozatot közvetlenül a rendszerváltás utáni években forgattak, mely sem a kor színvonalának nem felelnek meg, sem a ma alkalmazott technikákat nem tükrözik hűen. Emiatt az oktatás, a módszertani átadás főleg élőszóban, később munkavégzés közben történik. Ezért Társaságunknál kezdeményeztem egy olyan országos oktatófilmsorozatot elkészítését, amely tematikailag a cég teljes tevékenységi körét lefedi. A nagyszabású projekt koncepcióanyaga elkészült, és a vezetőség támogatását élvez. A tényleges forgatási munka az előkészítés fázisában van.

Fontos eleme továbbá az oktatási folyamatnak az elméleti elsajátítás utáni elmélyítő gyakorlás, ehhez azonban a legbiztonságosabb környezetként forgalommentes útszakaszok tudnak szolgálni. Ennek érdekében javasolható a már átadott, de a forgalom számára még nem megnyitott szakaszok használata (pl.: az MKIF Zrt. kezelésében található az M44-es még át nem adott, 900m-es szakasza, ahol a leállósáv nélküli keresztszeten kialakított terelések gyakorolhatók), vagy a kezelők együttműködése a ZalaZone-nal, ahol a teljes autópálya keresztmetszet (2x2 sáv műszaki sávval) rendelkezésre áll oktatási célra.



3. ábra

Terelések kiépítése

Nem csak az adott terelés kialakítása fontos, de a tényleges kiépítés művelete is: tehát például az, hogyan állunk be a sávba, ahol forgalom zajlik, vagy, hogy az adott forgalomtechnikai eszközöket hogyan helyezzük ott el. De kialakítástól függetlenül elmondható, hogy a kiépítés akkor a legbiztonságosabb, ha az adott útszakaszon nem zajlik forgalom. Ehhez azonban teljes pályazárat kellene alkalmazni, ami jelentős torlódások kialakulásához vezetne, és csak súlyos forgalmi akadály vagy baleset esetén alkalmazott módszer.

Jó kompromisszumot kínál az ún. „gördülő pályazár”, amelyet Az Egyesült Államokban vagy akár az Egyesült Királyságban előszeretettel alkalmaznak, de még szigetszentmiklósi mérnökségünkön is bevett gyakorlat. A módszer lényege, hogy a forgalommentesítendő szakaszt megelőző bejárat ponton egy kékvillogós jármű felveszi a forgalom tempóját, majd a forgalmi folyamat előtt kígyózó pályát leírva fokozatosan lecsökkenti azt kb. 60 km/h-ra. Ez lehetőséget ad arra, hogy a forgalommentesítendő szakaszon 2-3 percre ténylegesen megszűnjön a forgalom, de a feltartott forgalmi folyamat sem fékeződik állóra, így a hullámfrontterjedés jelenségét, és ezáltal az utóértes baleseteket is meg lehet előzni. A Magyar Közútnak jelenleg a baleseti elhárításban résztvevő járművein van kék villogó, azonban a megkülönböztető jelzés ezeken kizárólag a baleseti helyszín gyorsforgalmi úti megközelítése közben használható. Folyamatban van azonban egy olyan módosítás, amely lehetővé tenné a kék villogó használatát a gyorsforgalmi úti baleseti helyszínek alsóbbrendű úton történő megközelítése közben, vagy baleset-megelőzés céljára, ezáltal lehetőséget adva a gördülő pályazár alkalmazására is.

Másik fontos lépés a terelések kiépítésének biztonságosabbá tételében az automatizáció fokának növelése.

A Magyar Közút mindig lépést tart a forgalomtechnika fejlődésével, és több rendszer beszerezhetőségét vizsgálja, beszerzését végzi. 2022 nyarán forgalomba állítottunk a Nissen „Drop and pick” önlerakó előjelző rendszeréből 4 darabot [3. ábra], illetve vizsgáljuk az X-Cone 2.0 automata kúpozórendszer beszerzését is [4. ábra].



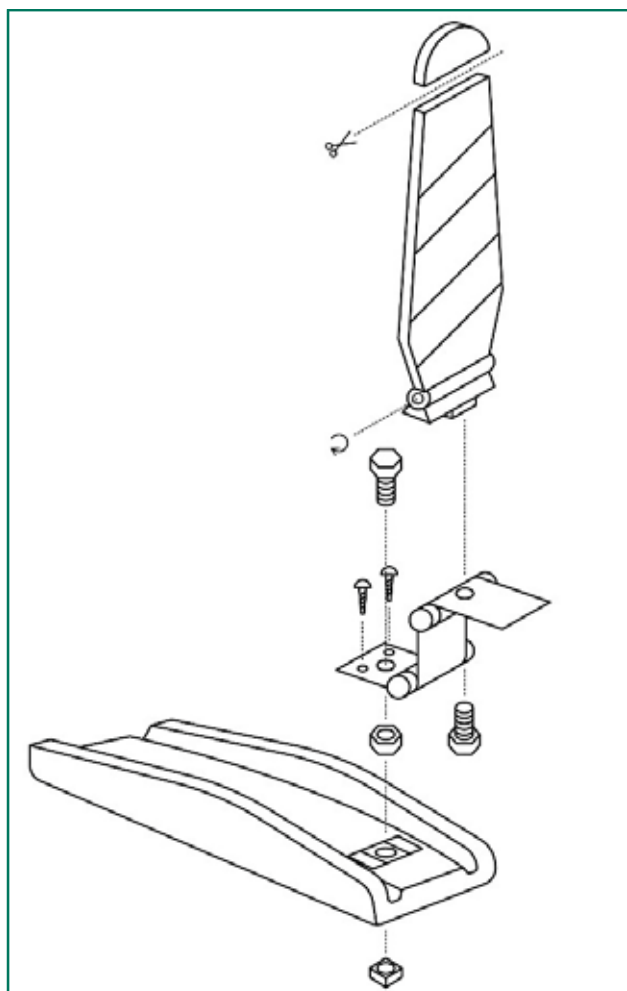
4. ábra

Gépjárművezetők figyelmének felkeltése

A már kiépített terelés esetében fontos, hogy az azt megközelítő gépkocsivezetők észrevegyék, hogy a megszokottól eltérő forgalmi rend következik, melyben a viselkedésük megváltoztatására is szükség lesz. Erre potenciális megoldásként listázza az IRIS a mobil rázóbordákat (műanyag szegmensekből álló, feltekerhető, vagy egybeöntött keresztborda), melyek alkalmazásában a Közútnak van némi gyakorlata, de az országos bevezetés vizsgálata jelenleg még folyik.

Sebességcsillapítás a terelésben

Szigetszentmiklósi mérnökségünk üzemeltet két olyan mobil VJT berendezést, amelyet a TMA-s teherautók hátulján helyezünk el, és amelyekhez kamerás, sebességmérő berendezés is tartozik. A terelésbe lépő járművek körében elkövetett gyorsítás mértékében a VJT jelzésképe dinamikusan változtatható, és mozgó jelzésképek megjelenítésére is lehetőség van.



5. ábra

A terelések területén kihelyezett sebességkorlátozó táblák terén azonban ismét felelőssége van a közútkezelőnek: meg kell különböztetni azokat a sebességkorlátozásokat, amelyekre a terelés geometriája miatt van szükség, és azokat, amelyek a fizikai munkavállalókat védik. Ez utóbbi kategóriába eső korlátozásokat csak akkor szabad érvénybe léptetni, ha tényleges munkavégzés folyik. Ha ezek kinn maradnak az úton fölöslegesen, a korábban említett hitelessége romlik a közút kezelőjének, így fontos ezek érvénytelenítése, még akkor is, ha alvállalkozó kezeli azokat.

Rugós iránytábla – egy Közutas találmány

Társaságunk kezdte alkalmazni azt az eszközt, amely egy „nagy klemmfix” és egy bommerpánt házítása által áll elő [5. ábra].

A kialakítás lehetővé teszi, hogy egy tehergépkocsi áthajtson fölötté úgy, hogy a jelzőfűl lehajlik, majd ha a gépkocsi áthaladt, újra feláll. Ennek köszönhetően – ha csupán 2 ilyen elemet iktatunk a TMA-t védő 1:20-as kúpozásba – a kúpsor kialakítható a TMA védelmében, ami után a TMA-s teherautó áthajt a kúpozás felett, és az ezáltal mögé kerül. A kiépítés során így egyetlen útüzemeltető szakmunkásnak sem kell a TMA védelmén kívül dolgoznia. A Magyar Közút az első beszerzési körben 312 darabot vásárolt az eszközökből, a „gyerekbetegségek” kiküszöbölése után pedig folyamatban van további 164 db eszköz beszerzése is.

Hogyan tovább?

Az IRIS jelentés gondolatainak összevetése a Magyar Közút gyakorlatával mindenképpen érdekes eredményre vezetett, még ha néhány ponton már eleve jól jártunk el, némely más pontokban pedig még meg is haladtuk a vizsgálat iránymutatását.

A biztonság irányába történő elmozdulás főbb lépései az alábbiakban foglalhatók össze:

- az e-UT 04.05.14. sz. UME felülvizsgálata a gépjárművezetők pszichológiájának szempontjából,
- fontos felszámolni a következtetlen és hiteltelen gyakorlatokat,
- érvényteleníteni kell munkaidőn kívül a munkavégzőket védő sebességkorlátozásokat,
- nagyszabású, átfogó oktatási programot kell indítani filmsorozattal és gyakorlati lehetőséggel,
- gördülő pályazár alkalmazására lehetőséget, és abban rutint kell szerezni,
- növelni kell a terelésépítésben az automatizációs fokot,
- folytatni kell a rugós iránytáblák beszerzését.

Integrált hídszerkezet hídfőjének tervezése

Varga Olivér

geotechnikai tervező
Geoplan Kft.
varga.oliver@geoplan.hu



Absztrakt

Integrált hidak tervezése során különösen nagy jelentőséggel bír a talaj-szerkezet kölcsönhatás megfelelő modellezése. Jelen cikkben diplomamunkám tapasztalatait foglalom össze e témában.

A dolgozatban tervezett hídkialakítás egy lehetséges alternatívát kínál a gyorsforgalmi utak aluljáróira.

A hídszerkezet koncepcióját hazai és külföldi szakirodalmi adatok felhasználásával, erőtani szempontokat is vizsgálva terveztem meg. A megalkotott konstrukció alapján az AxisVM szoftverben felépítettem a szerkezet komplex tartószerkezeti modelljét.

Az alapozási szerkezetek optimalizálása érdekében 3D végelelemes geotechnikai modellezést végeztem, mely során figyelembe tudtam venni az építésütemezés hatását, vizsgálhattam az igénybevételeket, a konszolidációt, továbbá a számítás eredményéből elő tudtam állítani a tartószerkezeti modellbe bevezető ágyazási tényezők értékeit. A geotechnikai modellezés eredményeit felhasználva optimalizáltam a tartószerkezeti modellt.

Az eredmények alapján belátható, hogy a szerkezet komplex optimalizálásával gazdaságosabb kialakítás érhető el, mint a hagyományos, analitikus számításokat felhasználó tervezés esetében. Érdemes tehát végelelemes geotechnikai modellezést is készíteni, ami alapján optimalizálható a szerkezet, ezáltal az igénybevételek és egyúttal a költségek is csökkenthetők.

1. Bevezetés

A közelmúlt nagy autópálya, autópálya építési időszakában felmerült az igény, hogy az aluljárókat egy nyílással valósítsák meg, hiszen a közbelső támaszok elhagyása nagyban egyszerűsíti mind a kivitelezést, mind az üzemeltetést.

A dolgozat témája egy integrált hídszerkezet alépítményének a tervezése, az M1 autópályának a nyomvonalán, annak 2 x 3 sávú bővítése kapcsán. A tervezett autópálya aluljáró egy nyílással készül, bemutatva ennek, illetve az integrált hidak számos előnyét. Hazánkban még kevés a tapasztalat ilyen szerkezetekkel kapcsolatban, azonban akad példa hasonló hidak építésére, továbbá Egyetemünkön, a Széchenyi István Egyetemen folytatnak kutatásokat a témában, melybe volt lehetőségem bekapcsolódni.

A hazai tapasztalathiány miatt mondhatni, a dolgozat kutatás jellegű tervezés. A BSc szakdolgozatomban [1] is hasonló témával foglalkoztam, így e tapasztalatokat felhasználva, illetve továbbfejlesztve végzettem jelen hídszerkezet alépítményének a tervezését.

Az integrált hidak alépítmény tervezése nagy jártasságot igényel a szerkezetépítési és a geotechnikai szakterületen egyaránt, hiszen kulcsfontosságú a talaj és a szerkezet kölcsönhatásának vizsgálata, illetve ennek precíz modellezése, figyelembevétele a tartószerkezeti modellben.

2. Integrált hidak

A hídépítési gyakorlatban a felszerkezet-alépmény kapcsolatának szempontjából három kategória különíthető el [2]:

- *Hagyományos híd*, amely saruval és dilatációs szerkezettel rendelkezik
- *Félig-integrált híd*, amelynél valamilyen igénybevétel komponens nem adódik át a felszerkezetről az alépményre
- *Integrált híd*, ahol teljes a folytonosság a felszerkezet és az alépmény között

Az integrált kialakítás számos előnnyel jár. Egyrészt elhagyhatóak a fajlagosan drága és nagy fenntartási igényű saruk és dilatációs szerkezetek, ezáltal egyszerűsödik az építés és olcsóbb lesz a híd fenntartása. Továbbá a sarokmerev kapcsolatnak köszönhetően a felszerkezet mezőnyomatékai kisebbek lesznek, ezáltal annak költségei is csökkenthetők. Jellemzően szükség van kiékelésre, vagy íves kialakítású tartókra, amellyel ugyanakkor esztétikus megjelenés érhető el. Érdemes megemlíteni a számos előny mellett a kialakítás hátrányait is, amik elsősorban nem szerkezeti jellegűek, hanem inkább geotechnikai problémák. Különösen fontos tehát ilyen szerkezetek tervezésekor a hidász-mérnökök és a geotechnikusok együttműködése, közös munkája az optimális, biztonságos szerkezet megtervezéséhez.

3. Kialakítási változatok, konstrukciók

A továbbiakban részletesen csak az integrált szerkezeteket tárgyalom. Az INTAB+ nemzetközi kutatásban [3] két változatot különítenek el:

- Integrált híd (bridge with integral abutment)
- Félig-integrált híd (bridge with semi-integral abutment)

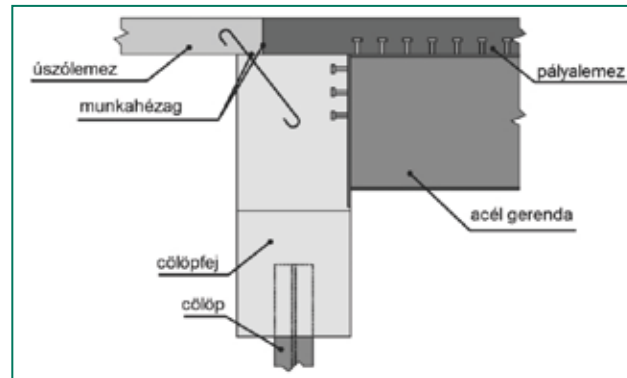
A két változat kialakítását mutatják az **1. és 2. számú ábrák**, ezek hasonlítanak abban, hogy a hídfőnél dilatáció nélkül készülnek, továbbá kialakíthatók két- vagy többtámaszú statikai rendszerben. Integrált híd esetén a híderendák és a hídfő sarokmereven kapcsolódik egymáshoz, míg félig-integrált híd esetén a végkereszttartó alatt hosszirányú alakváltozást megengedő sarukat építenek be. [4]



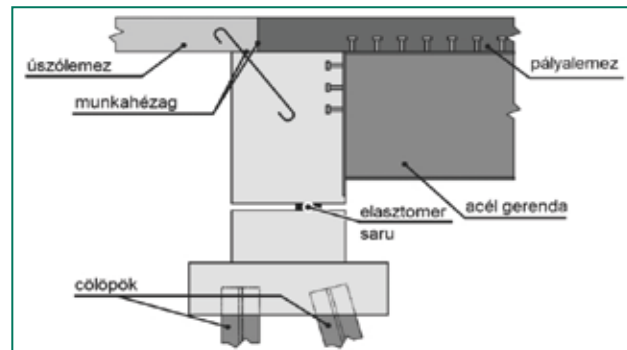
3. ábra: Befogott öszvértartós híd [5]

Az integrált hidak méretezésénél két tervezési elv követhető a hídfők tekintetében [3]:

- Kis befogási merevségű hídfők jellemzően egysoros, hajlékony cölöpalapozással.
- Nagy befogási merevségű hídfők többsoros, merev cölöpalapozással.



1. ábra: Integrált hídfő koncepcionális kialakítása [4]



2. ábra: Félig-integrált hídfő koncepcionális kialakítása [4]

Pál és tsai. [5] a gyorsforgalmi utak feletti hidak típus szerkezeit mutatják be cikkükben, ezek között felfedezhetőek integrált hídszerkezetek is. A befogott öszvértartós hidak esetén (**3-4. ábra**) előnyként emelik ki a szerzők a gyors építést és a kis önsúlyú főtartókat, továbbá megjegyzik, hogy saruk és dilatációs szerkezet nélkül építhetők, illetve nagy áthidalásokra alkalmasak. Egysoros cölöpalapozás esetén 45 m felett csak megfontolásokkal alkalmazható, többsoros kialakítás esetén a befogás miatti drága alépményt jelölik meg hátrányként.



4. ábra: Befogott öszvértartós híd [5]

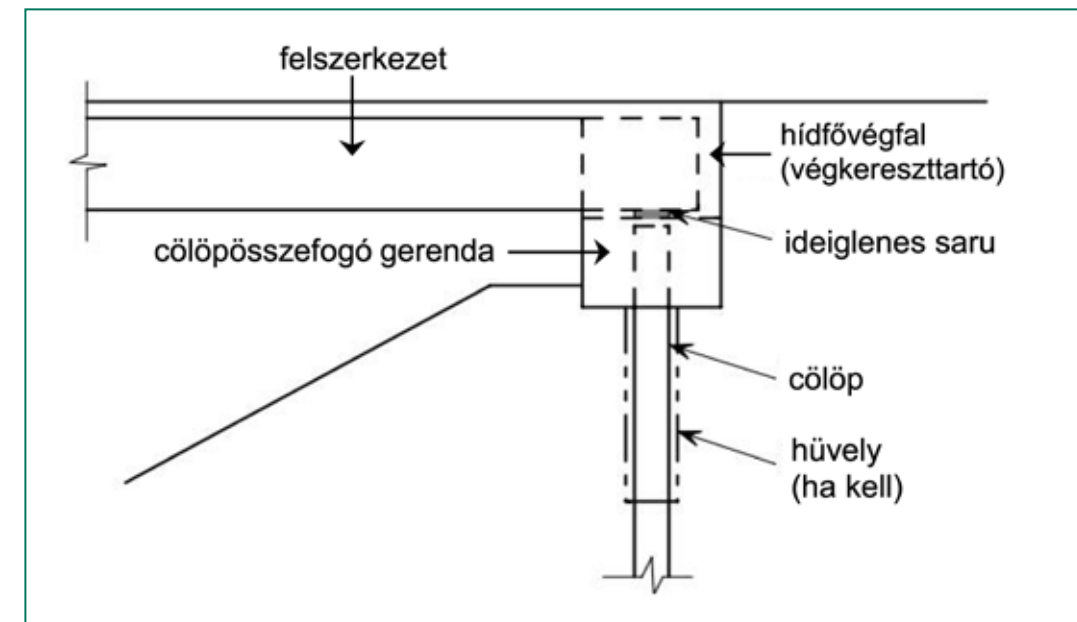
Öszvérszerkezetű hidak tervezési tapasztalatai [6] című publikációjukban a szerzők megjegyezték, hogy ezt a típust jelentősebb fesztávolságok esetén alkalmazták (20-50 m), ugyanis ez esetben gazdaságos alternatívát jelent. Az öszvér felszerkezet önsúlya jelentősen kisebb lehet, akár 30-60%-kal, mint a vasbetoné, ezáltal nem csak a felszerkezet, de az alépmény geometriai méretei is csökkenthetők és így anyagfelhasználása is mérséklődik. További előny a vasbetonnal szemben, hogy több darabban is szállíthatók az acél főtartók. Ezekkel magyarázható, hogy ha integrált hídról beszélünk, akkor szinte mindig öszvér felszerkezet kerül kialakításra.

A **5-6. ábra** az integrált hidak lehetséges elvi kialakításait mutatják. A 5. ábra az egyesült királyságbeli gyakorlatra jellemző. Figyelemfelkeltő, hogy a cölöp felső részén egy annál nagyobb átmérőjű cső helyezkedik el. Ennek szerepe, hogy megengedje a cölöp vízszintes irányú mozgását, tulajdonképpen ez egy dilatációs szerkezetnek tekinthető, azzal az előnnyel, hogy nincs kitéve

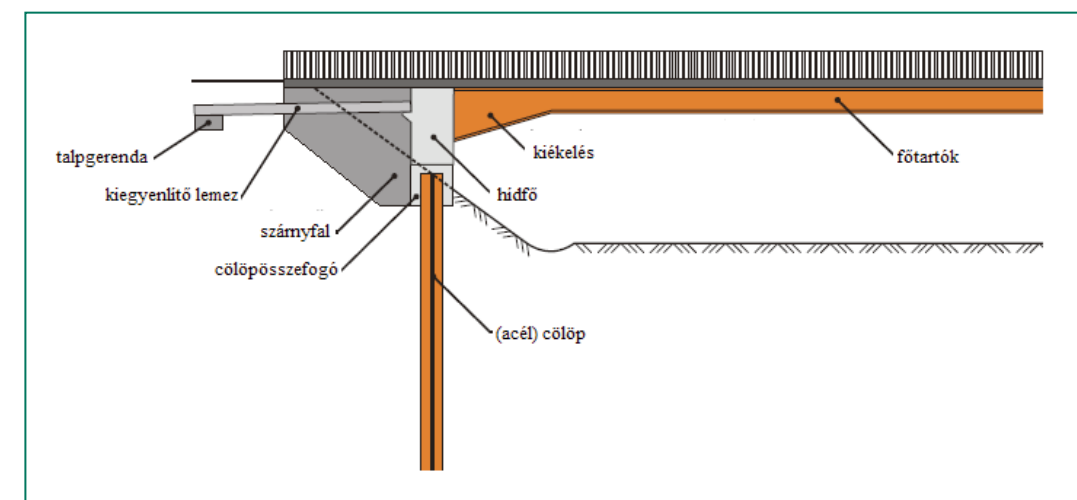
közvetlen a dinamikus forgalmi és a környezeti (víz, fagyás, sólé) hatásoknak. [7]

További elvi kialakítása látható a **6. ábrán**. Ez egy tipikus megoldás: öszvér felszerkezet, kiékelte híderenda, alacsony hídfőfal és egysoros cölöpalapozás. Mindkét esetben látható a szerkezet egyszerűsége, ezzel együtt anyagtakarékossága és könnyű kivitelezhetősége.

Az integrált szerkezetek a nemzetközi gyakorlatban bevéáltak, ezért rendszeresen alkalmazzák ezeket, külföldön jelentős tapasztalatokkal és sokféle konstrukcióval rendelkeznek. Ezzel szemben hazánkban még kevés a tapasztalat, ha sikerül megtalálni a gyakorlat számára is optimális szerkezetet, akkor az integrált hidak alkalmazása jelentős mértékben megnövekedhet a közeljövőben. Érdemes megjegyezni, hogy az Egyesült Államokban és néhány európai országban az üzemeltetők irányelveket dolgoztak ki meglévő hidak integrált hídfőssé való átalakításához, a kedvező tapasztalatok miatt. [8]



5. ábra: Integrált hídfő alapmegoldása előtöltéssel [7]



6. ábra: Integrált híd tipikus kialakítása [3]

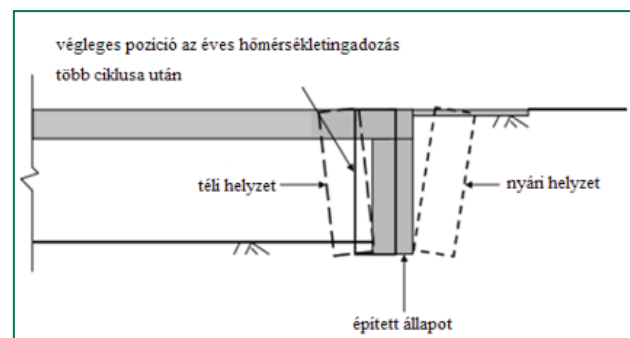
4. Integrált hidak jellegzetességei, talaj-szerkezet kölcsönhatás

Az integrált hidak lényege, hogy a hídfők, és alkalmazásuk esetén a közbső pillérek is nyomatékbíróan kapcsolódnak a felszerkezethez, és a dilatációs mozgások (hőtágulásból, zsugorodásból, vízszintes hasznos terhekből, földrengésből) a háttöltésben játszódnak le. A dilatációmentes hidak kialakításához a következő ajánlásokat teszik [9]:

- Mindenképpen szükséges kiegyenlítő lemez a híd végéhez, amit csuklósnan kell lekötni a hídfőhöz.
- A kiegyenlítő lemez végénél célszerű talpgerendát alkalmazni, hogy a burkolat dilatáció stabil alátámasztást kapjon.
- Alacsony hídfőfalat célszerű alkalmazni, egy sor karcsú cölöppel. A cölöpöket mereven be kell fogni a hídfőfalba.
- A kellő hajlékonyság érdekében, merev talajban, célszerű a cölöpök felső szakaszán előfűrt lyukat kialakítani, amely bizonyos mértékig megengedi a cölöpök vízszintes elmozdulását.
- Célszerű a szimmetrikus kialakításra és 30 foknál kisebb hídfőferdeségre törekedni, mert különben a külpontos és/vagy ferde földnyomásból csavaróhatás alakulhat ki a hídon.
- A hídgerendák rögzítéséhez saruszámolyok helyett csapos kapcsolat javasolt és a hídfőfal vasalását át kell vezetni az acél gerendákon.

Ilyen kialakítás esetén a felszerkezetet érő hőmérsékleti hatásokból adódó hosszváltozások a háttöltésekben földnyomás-növekményeket okoznak. Felmelegedéskor a kialakuló passzív földnyomás rendkívül nagy terhelést okozhat a hídfőfalakon és a cölöpökön, valamint a sarokmerv kapcsolat miatt akár a felszerkezeten is. Az integrált hidak tervezése során tehát külön figyelmet kell fordítani a háttöltés-hídfőfal, és a cölöp-altalaj közötti kölcsönhatás vizsgálatára. [10]

Integrált hidak esetében a hídfők és felszerkezet merev kapcsolata miatt a dilatációs mozgások átkerülnek a háttöltésbe, mivel az integrált kialakítás ezeket nem megszünteti, hanem áthelyezi. A hídfő elmozdulásai a 7. ábrán alapján foglalhatók össze. Télen a felszerkezet összehúzódásakor az aktív földék lecsúszik és a talaj követi a hídfőt, míg a nyári hőtágulásnál a talaj nem tud teljesen visszarendeződni az eredeti helyzetébe. Ezt az ismétlődő jelenséget hívja az angol szakirodalom „ratchetingnek”. Beton anyagú felszerkezeteknél az éves hőingásból származó mozgásokhoz hozzáadódik a zsugorodásból származó rövidülés is. [11]

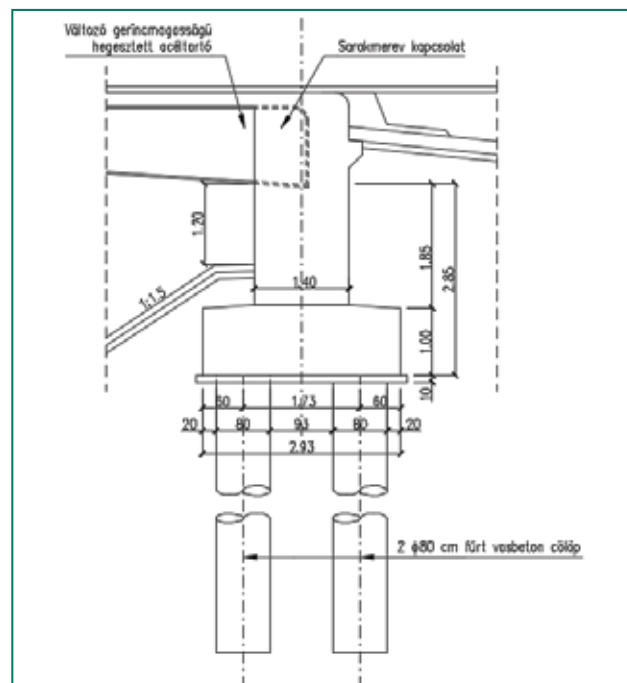


7. ábra: A hídfő elmozdulásai [11]

Integrált hidak esetén kiemelten fontos szerepe van a kiegyenlítő lemeznek, hiszen a süllyedések nem csak a forgalmi terhekből és az altalaj összenyomódásából adódnak, hanem a hídszerkezet vízszintes hőmozgásából is. A diplomamunkámban a kérdéskört részletesen elemeztem, illetve kidolgoztam egy ajánlást a kiegyenlítő lemezek hosszára vonatkozóan, ahol figyelembe vettem, hogy az lemez vége az aktív földéken kívülre essen, továbbá szerkezet geometriai méreteinek összefüggésében közöltem határértékeket, hiszen az aktív földék csak bizonyos elmozdulás után tud kialakulni.

5. Alépitmény tervezése

A tervezést a szabad nyílás meghatározásával kezdtem. Egy 2x3 sávú autópálya keresztmetszeti méreteit és úrszelvényét vettem figyelembe. A hídfő kialakítási lehetőségeit is vizsgáltam, különböző szempontok szerint:



8. ábra: Alkalmazott hídfőkonstrukció

- kivitelezhetőség,
- felhasznált anyagmennyiség,
- gazdaságosság,
- építésütemezés,
- erőtanai szempontok.

10 féle variációt vizsgálva kiválasztottam az optimális kialakítást. Az alkalmazott konstrukciót szemlélteti a 8. ábra. A híd alapozása két sor 80 centiméter átmérőjű fűrt vasbeton cölöpalapozás, melyek eltolva helyezkednek el. A cölöpöket 1 m vastagságú összefogó gerenda kapcsolja össze, amelyből indul a felmenő hídfő szerkezet, ennek a vastagsága 1.4 m.

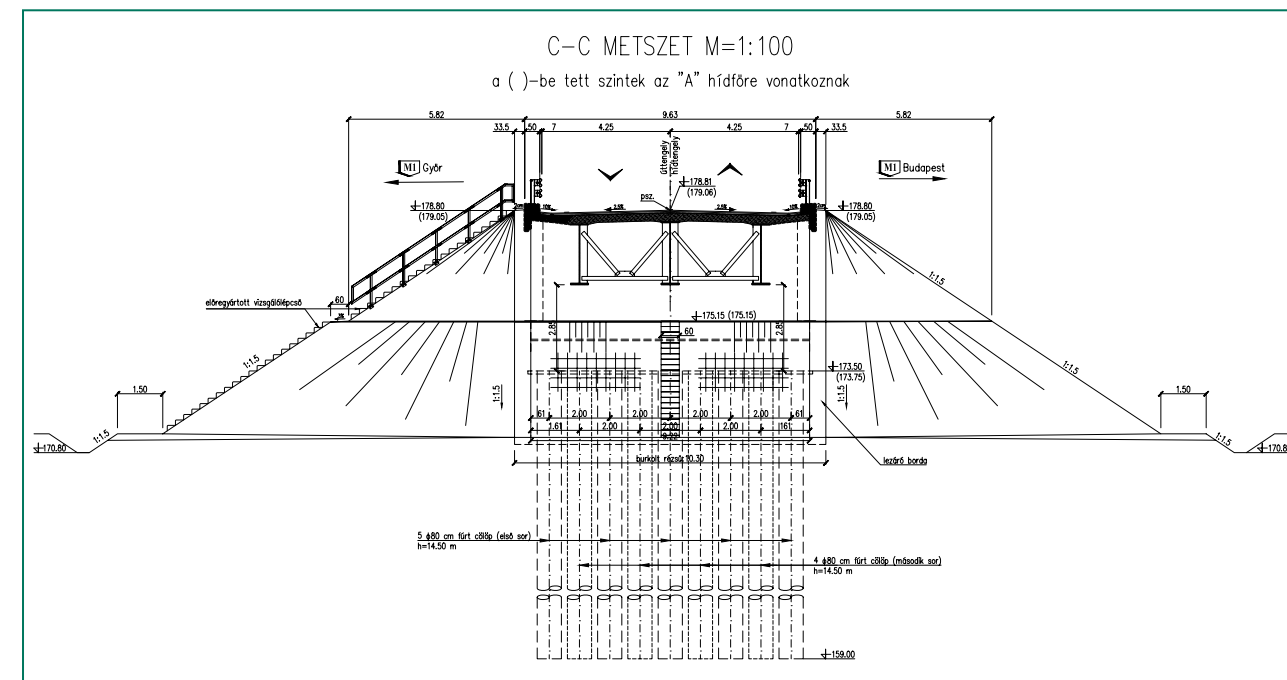
A diplomamunkámban tervezett híd az M1-es autópályán található, annak bővítése kapcsán, 2 x 3 sávú kialakítást figyelembe véve. A szerkezet végállapotban 50.40 m támaszközü integrált híd, kerethíd. A befogott öszvér felszerkezet az alépitményekkel együtt keretszerkezetként hordja a terheket. A híd három

főtartós, amelyek változó magasságú gerinclemezes acélgerendák. A hídgerendákkal együtdolgozó vasbeton pályalemez kiékelte, a főtartók felett 30 cm, mezőben 25 cm a konzolok pedig változó magasságúak.

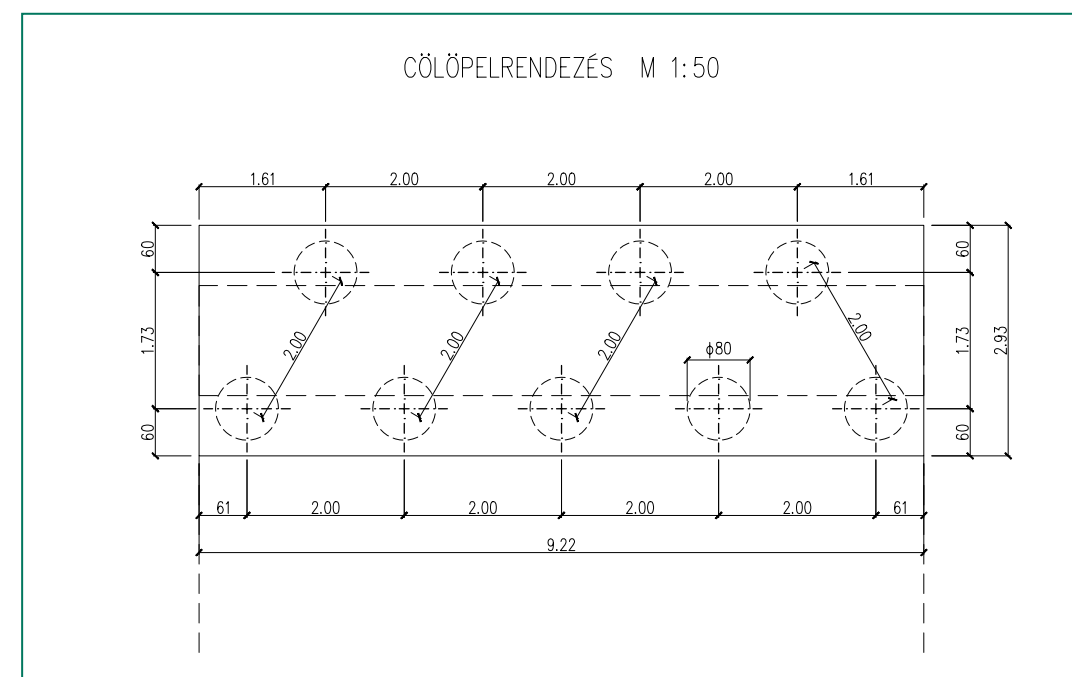
A dolgozat témája az alépitményi szerkezetek tervezése, így nem tárgya a felszerkezet méretezése, azonban fontos megjegyezni, hogy ennek merevsége befolyásolja

az alépitményi igénybevételeket, elmozdulásokat. A pályalemez vastagságát, továbbá a főtartók kiosztását és méreteit, hasonló fesztávolságú a hazai gyakorlatban megvalósult példák alapján vettem fel.

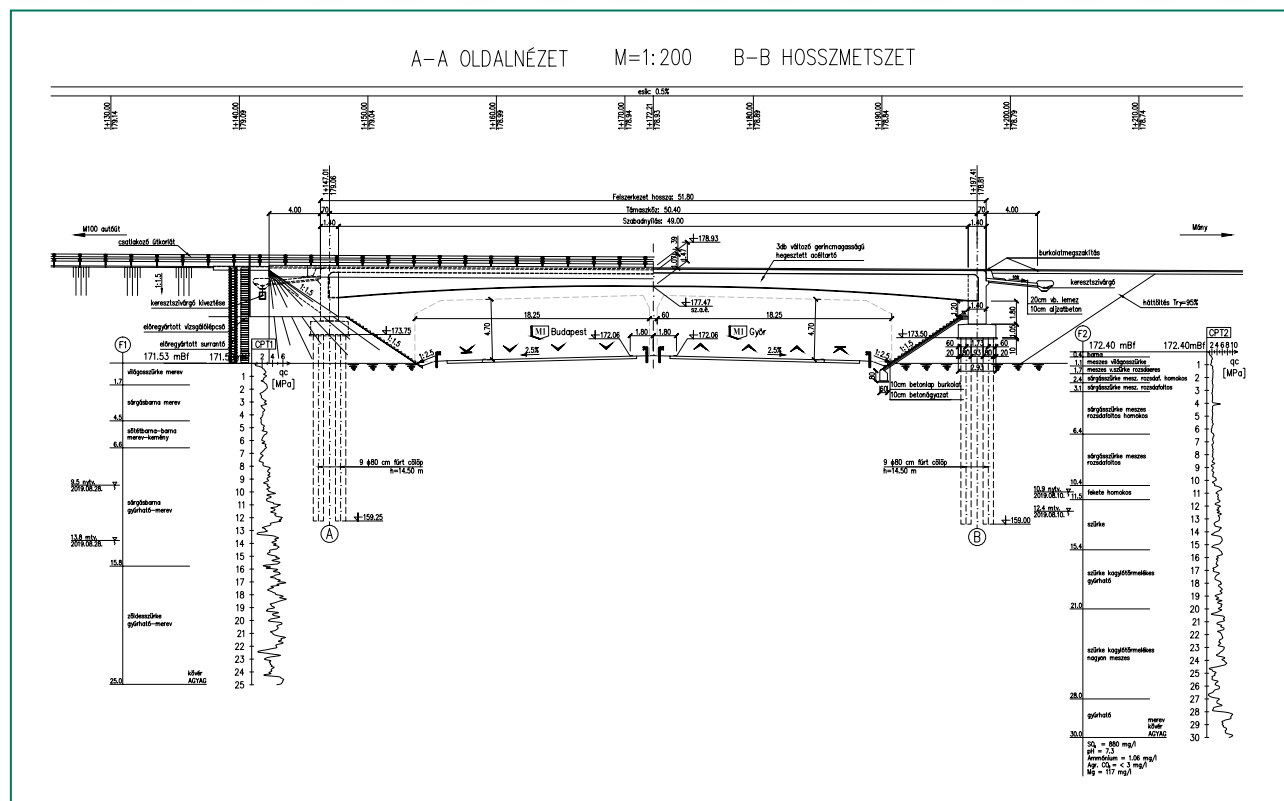
A szerkezet geometriai kialakítása és méretei a következő (9-11.) ábrákon látható.



9. ábra: Hídfő nézet



10. ábra: Cölöpök elrendezése

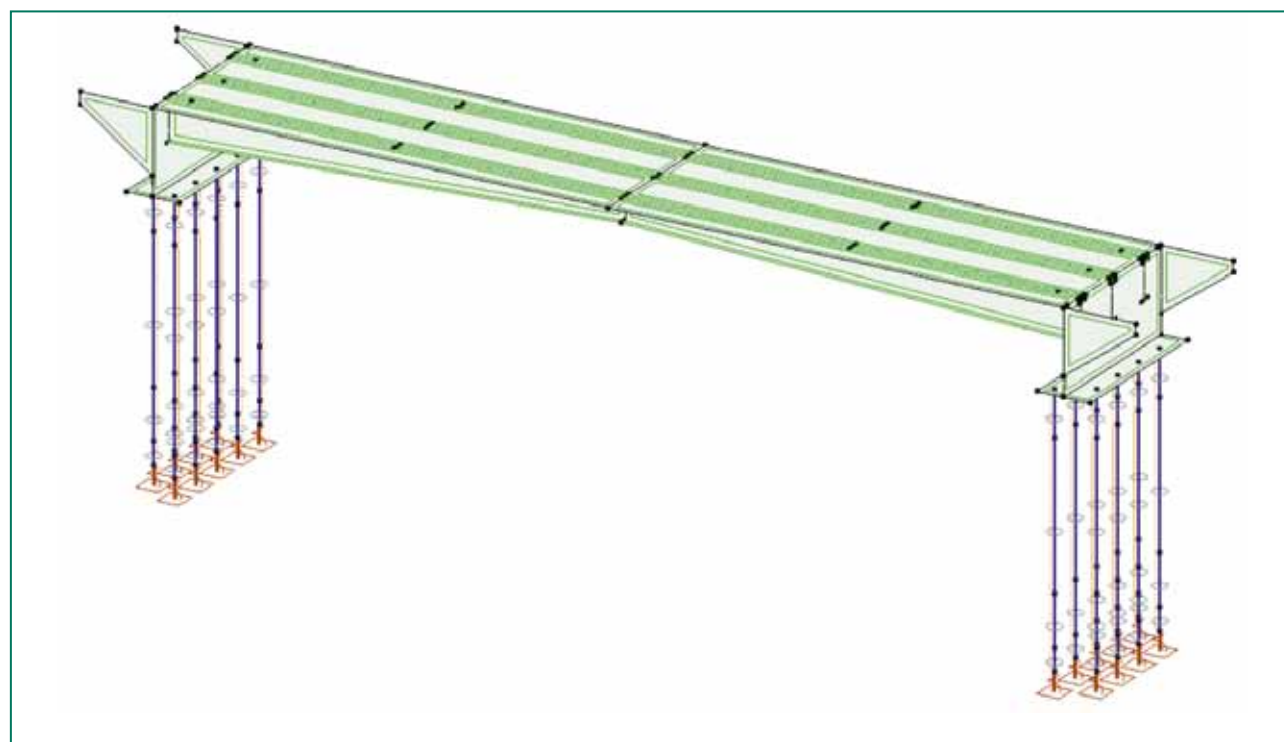


11. ábra: Oldalnézeti – Hosszmetszet

A statikai tervezéshez alkalmazott előírás a hatályos utógépi műszaki előírás. A gépi számításokat az AxisVM általános célú statikai programmal készítettem el.

A számításokhoz egy komplex modellt készítettem, a felszerkezetet és az alépítményt együtt modelleztem

(12. ábra). A modellben a cölöpök rúdszerkezetek, melyeket rugalmas ágyazással támasztottam meg. A hídfő, cölöpösszefogó, szárnyfalak, pályalemez és a főtartók pedig héjelemként kerültek modellezésre.



12. ábra: A modell hálózati ábrája

A végelelemes modellben a cölöpök megtámasztási viszonyait rugalmasan ágyazott elemként, az altalaj rétegződése alapján vettem figyelembe. Az AxisVM szoftver a Winkler-féle rugalmas ágyazás elvén alapuló modellt alkalmazza, háromirányú rugóval kifejezhető az alapozási szerkezet és az altalaj együttes viselkedése. Kiindulásnak a rugóállandókat, ágyazási tényezőket a talajvizsgálatok és egyéb összefüggések alapján számítottam, ezeket az értékeket 3D végelelemes geotechnikai modellezés után felülvizsgáltam, pontosítottam.

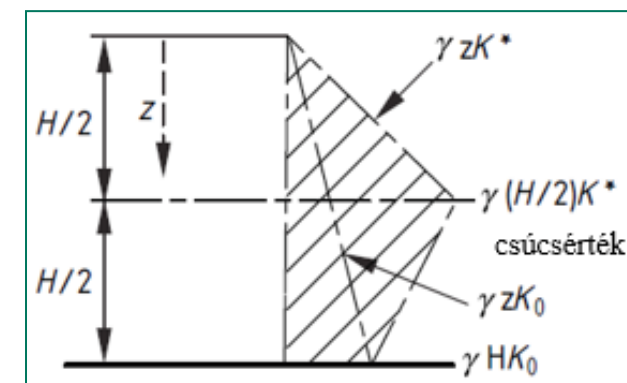
A vízszintes megtámasztást az egyes talajrétegek összenyomódási modulusa (E_s) alapján – a tervezési gyakorlatot követve – a következő összefüggés [12] szerint vettem fel:

$$k_h = E_s$$

A függőleges megtámasztást a fajlagos talp-, illetve palástellenállások és a mobilizálódáshoz szükséges elmozdulások alapján vettem figyelembe.

Ezt az elmozdulást a cölöpátmérő arányában szokás megállapítani, talp esetén ez az érték az átmérő tizede ($0.1 \cdot D$), míg palástellenállásnál annak 2%-a ($0.02 \cdot D$). [13]

A teherfelvételt a hatályos utógépi műszaki előírás, közúti hidak tervezésének (KHT) kötetek alapján készítettem, ebből a földnyomást emelném ki. Az integrált hidak hídfői mögött kialakuló földnyomások a tapasztalatok alapján nem jellemezhetőek a szokványos (nyugalmi, aktív, passzív) földnyomás eloszlásokkal a ciklikus hőmozgásnak köszönhetően. Ezért a földnyomást az angol szakirodalom a PD 6694-1 [14] ajánlása alapján (13. ábra) vettem figyelembe. A földnyomások értékeit 3D végelelemes geotechnikai modellezéssel is vizsgáltam.



13. ábra: Integrált hídfők mögött kialakuló földnyomás [14]

Az utógépi műszaki előírás szerint a földrengés hatásait 50 méternél nagyobb nyílású hidak esetében kell figyelembe venni. Az általam tervezett híd is ebbe a kategóriába tartozik, ezért szükséges a földrengésvizsgálatot elvégezni, amelyet a modális válaszspektrum-analízis eljárást alkalmazva készítettem.

A statikus terhekre számolt talajmerevségek eltérőek lehetnek a dinamikus hatások esetében. A cölöpök vízszintes irányú támaszmerevségeit növeltem, ugyanis a földrengés esetén létrejövő fajlagos alakváltozások nagyon kicsik és ezen az alakváltozási szinten a talaj merevebben viselkedik.

A földrengés hatásának figyelembevételével keletkezett igénybevételek nem jelentősek a teherbírási határállapottal összehasonlítva, így a szerkezet tervezésénél nem ezek lesznek a mértékadóak. Érdemes azonban megjegyezni, hogy a mozgások, illetve az igénybevételek alakulását nagymértékben befolyásolja a megtámasztások felvétele.

Az első számítások a kiindulásként felvett rugóállandókkal lineáris futtatással készültek, melynek eredményei összefoglalva a következők. A terhek hatására a hídfő bedől a pálya felé, az alsó része pedig a háttöltés felé fordul. A cölöpösszefogó is bedől, ezáltal az első sor cölöp nagyobb nyomó igénybevételt kap majd, illetve a cölöpöket hajlítja is ez a mozgás, így a felső részen jelentős nyomatéki igénybevételek mutatkoztak.

6. Geotechnikai tervezés

Az alapozás optimalizálása érdekében végelelemes geotechnikai modellezést végeztem, amely alapján a tartószerkezeti modellben a támaszok rugóállandóit, ágyazási tényezőit lehet pontosítani és összehasonlíthatók a mozgások, igénybevételek az Axis modell eredményeivel. Továbbá a modell segítségével meghatározható a töltéssüllyedés, a tényleges földnyomások, az állékonysággal szembeni biztonság, illetve az építésütemezés hatása, amely hatások a szerkezeti végelelemes programmal nem vizsgálhatók.

A teherbírási határállapot vizsgálata több száz kombináció figyelembevételével történt. Ezek közül kiválasztottam az alépítmény szempontjából a mértékadókat és ezekkel terheltem le a geotechnikai végelelemes modellt.

A tervezett műtárgy környezetében a talaj- és talajvízviszonyok megismerésére 2 db gépi fúrás és 2 db CPT szondázás készült. A feltárások teljes hosszában szinte kivétel nélkül kötött agyagtalajok jelentektek, amelyek talajfizikai jellemzői a mélységgel javulnak.

7. 3D végelelemes modellezés

Számításaimat a műtárgy környezetében készített feltárások adatai alapján végeztem Plaxis 3D végelelemes geotechnikai szoftverrel. A modellezéshez a felkeményedő anyagmodellt (Hardening Soil – HS) használtam. Ez a talajmodell képes az előterheltség és a tehermentesülés-újratelhelési jelenségek figyelembevételére, továbbá megadható a talajokra jellemző, feszültségintéztől függő merevség. Számításaim bemenő karakterisztikus talajparamétereit a 1. táblázat tartalmazza.

A háttöltésre a HS Small anyagmodellt alkalmaztam, hiszen rendelkezésre állt ehhez kapcsolódó mérési adat. Hudacsek és társai [15] publikációjukban beszámolnak a háttöltésben a hullámterjedési sebesség mérésen alapuló G_0 mérésről, amely alapján a háttöltésre vonatkozó dinamikus talajparaméterek, a HSS anyagmodell input paraméterei felvehetők.

1. táblázat: Talajfizikai paraméterek

Paraméter	1	2	3	4	5	6	7	Töltéstest	Háttöltés
	Kövré agyag	Kövré agyag	Kövré agyag	Kövré agyag	Kövré agyag	Kövré agyag	Kövré agyag	Homok	Tömör homok
Anyagmodell*	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HSS	HSS
	UD-A	UD-A	UD-A	UD-A	UD-A	UD-A	UD-A	Drained	Drained
γ_{unsat} [kN/m ³]	19	19	19	19	20	20	20	20	20
γ_{sat} [kN/m ³]	20	20	20	20	21	21	21	20	20
e_{init} [-]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ [kPa]	8 200	7 100	10 500	7 300	9 300	9 100	5 100	36 000	48 000
E_{50}^{ref} [kPa]	12 300	10 700	15 800	11 000	14 000	13 700	7 700	36 000	48 000
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ [kPa]	61 500	53 500	79 000	55 000	70 000	68 500	38 500	108 000	144 000
m [-]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5
$\gamma_{0,7}$ [-]	-	-	-	-	-	-	-	$9 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$
G_0^{ref} [MPa]	-	-	-	-	-	-	-	160	170
c'_{ref} [kPa]	55	57	63	59	65	67	61	1	1
φ'_{ref} [deg]	23	24	27	24	27	27	25	34	37
ψ [deg]	-	-	-	-	-	-	-	4	7
k [m/s]	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	10^{-5}	10^{-5}

*UD-A – drénezetlen „A” típus, Drained – drénezett

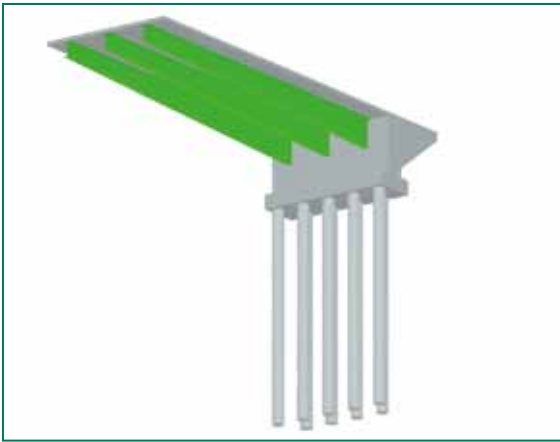
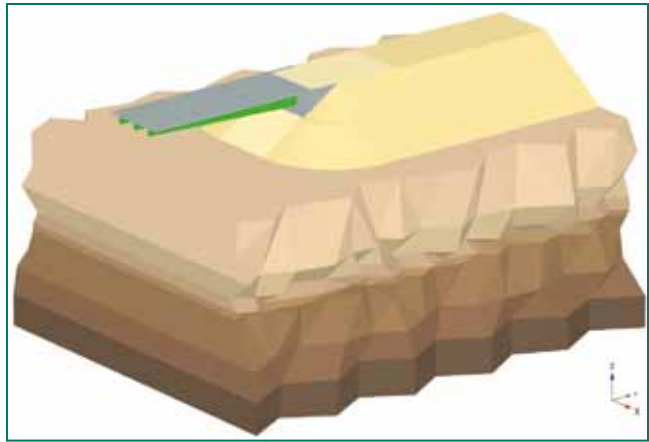
A hídszerkezetet és környezetét térbeli végeselemes szoftverrel modelleztem. A kezdeti állapot megadásakor definiáltam a rétegződést, amely után a töltés és a szerkezet építését modelleztem, majd az állandó terheket, és végül a végleges, üzemi állapotot vettem figyelembe. Az egyes fázisokat „consolidation” beállítással számítottam, ezáltal a konszolidációt is tudtam követni a számítás során, a fázisokhoz rendelt időtartam segítségével. A végleges állapotot (esetleges terhek és hatások) „plastic” beállítással és konszolidált állapotban számítottam, hiszen így alakul ki a legkedvezőtlenebb állapot a mozgások és igénybevételek szempontjából.

A program fázisonként számítja a talajban és a szerkezetekben fellépő feszültségeket és alakváltozásokat, figyelembe véve az építési időket és az organizáció szerinti konszolidációs szünetet.

A szerkezet és a talajkörnyezet modelljét mutatja a 14. ábra. A modellben a szerkezet felét szerepeltettem, ezzel a csomópontok száma és egyben a futásidő is csökkenthető, ilyen egyszerűsítés szimmetrikus szerkezetek ese-

tén alkalmazható. A modell hídtengetellyel párhuzamos méretét egyik oldalról a szerkezet szimmetriatengelye lehatárolja, a másik oldalon pedig a csatlakozó útpálya töltése helyezkedik el, így itt egy bizonyos távolság után nincs jelentős hatása a modell méret növelésének. Ezzel szemben viszont a modell hídtengetelyére merőleges mérete fontos, az elmozdulásokat nagyban befolyásolja. A modell növelésével az elmozdulások értékei is növekednek, illetve a modell mélysége – az alkalmazott talajmodellel – kihat a süllyedési értékek alakulására. Így belátható, hogy lényeges a megfelelő modell méret alkalmazása. Ezt a kérdéskört tovább vizsgálva szakirodalmi ajánlások alapján választottam meg a modell méreteit.

A modellezett hídszerkezetet az 15. ábra mutatja. A cölöpöket térfogati elemekkel, lineárisan rugalmas beton anyagmodellel és a palástfelületükre megadott „interface” elemekkel modelleztem. A cölöpök igénybevételeinek kinyerésére a szakirodalomban használatos „weak beam method” módszert alkalmaztam.



14 - 15. ábra: A szerkezet és a talajkörnyezet 3D Plaxis modellje (balra) és a modellezett hídszerkezet ábrája (jobbra)

A cölöpösszefogót és hídfőfalat is térfogati elemmel modelleztem, ezek tengelyében „plate” elemet hoztam létre, a cölöpökhöz hasonlóan itt is merevség csökkentést alkalmazva, illetve a szárnyfalakra és a pályalemezre is ugyanezt a beton anyagmodellt alkalmaztam. A pályalemez tengelyében is definiáltam „plate” elemet, amelynek segítségével figyelembe tudtam venni a zsugorodás, illetve a hőmérsékletváltozás hatását a szerkezetben.

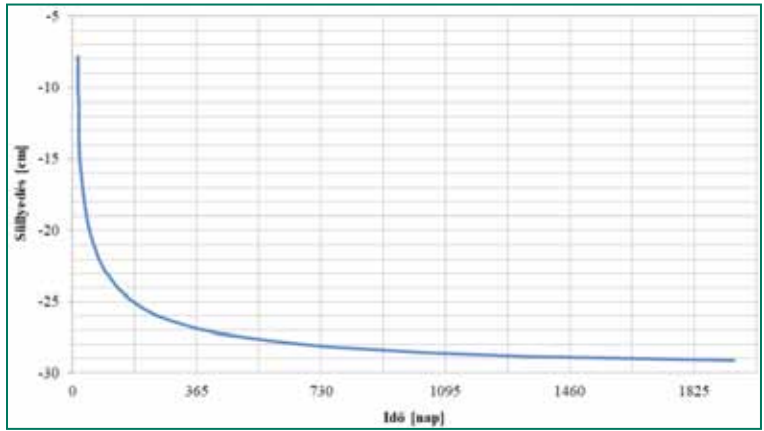
A főtartókat „plate” elemmel modelleztem, a felső öv a pályalemez alsó síkjában helyezkedik, illetve hosszirányban a modell peremétől a hídfőfalban elhelyezett „plate” -elemig tartanak.

„Interface” elemeket definiáltam a hídfő és a cölöpösszefogó talajjal érintkező részeire is, a cölöpökhöz hasonlóan, az egyes talajrétegek „ R_{inter} ” értékeit program által javasolt értékek alapján vettem fel.

töltést. Az előterhelő töltést a felépítés után 1 évig vettem figyelembe a számításnál. A szoros határidők miatt a hídépítésben ennél hosszabb időtartam nem jellemző, sőt ez is jelentős, azonban a talajrétegződés időben hosszan elhúzódó konszolidációja megkövetelte. Az építésütemezés – előterhelő töltés – hatását a dolgozatban tovább vizsgáltam. Megjegyezném, hogy a konszolidáció gyorsítható például szalagdrénrel, ám ez többletköltséget jelent. Ha van lehetőség előterhelő töltés építésére, alkalmazására, akkor ez lehet a leggazdaságosabb megoldás.

A konszolidációs kérdés további vizsgálatára a leterhelő töltés megépítési fázis után konszolidációs számítást futtattam, amelyben a program 5 kPa-os többlet pórusvíznyomás eléréséig számolt. A legnagyobb süllyedések ekkor 30 cm körüliek, amit több mint 5 év után ért el töltés. A süllyedések alakulását – a töltés tetején, a modellperemen elhelyezett pontban – az idő függvényében a 16. ábrán bemutatott diagram szemlélteti.

A diagramot elemezve megfigyelhető, hogy a süllyedések nagy része egy év után lezajlik, azonban ezután egy időben hosszan elhúzódó konszolidáció következik be, ami további 2-3 cm-es süllyedést eredményez. A görbe meredeksége is arra utal, hogy kezdetben viszonylag gyorsan süllyed a töltés, de a konszolidált állapotot csak lassan éri el és kis süllyedési növekményekkel. A diagram jól szemlélteti továbbá, hogy a kivitelezési gyakorlat által alkalmazott 1 cm/hónapos ökölszabály nem minden talajrétegződés esetén helyes következtetés. Jelen esetben a süllyedések 200-250 nap után kisebbek, mint havi 1 cm, azonban még további kb. 4 cm-es süllyedés várható, ami adott esetben üzemeltetési problémákat okozhat. Dr. Szepesházi Róbert [16] a kérdéskört részletesen elemezte és egy számpéldán keresztül bemutatta, hogy az 1 cm/hónapos kritérium általános használata helytelen, ez jelen tervezési feladatnál is megmutatkozik.



16. ábra: Süllyedések alakulása az idő függvényében

A konszolidációs szünet utáni süllyedéseket a **17. ábra** mutatja, megfigyelhető, hogy a töltés vége felé növekednek a süllyedések, itt eléri a 27 cm-es értéket. Jelen állapotban még jelentős (40 kPa) a többlet-pórusvíznyomás értéke.

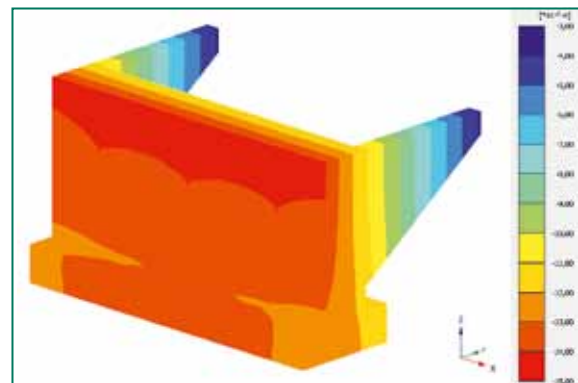
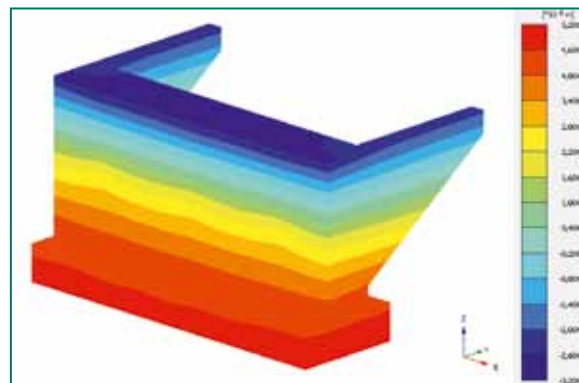
A szerkezet elkészültét követően a háttöltést is megépítik teljes magasságban, a töltés építés fázisában az elmozdulásokat a **18. ábra** mutatja. A töltés itt további 2 cm-t süllyed és a mozgáskép hasonló a leterhelő töltésnél bemutatotthoz. Az előterhelő töltés elbontása után a mozgásokat kinulláztam, hiszen az elbontás után egy megadott szintig szedik vissza a töltést és a felszerkezet szempontjából a további süllyedések érdekesek. A töltés teljes süllyedése a konszolidációs futtatásból látható, megközelítőleg 30 cm-es érték várható.

A számítások alapján a hídfő a felszerkezet építése után a szabad nyílás felé dől be és a töltés építése után kismértékben süllyed. A további állandó terhek (szegély, korlát, burkolat) figyelembevételével a szerkezet előre billenése és süllyedése nő. Az alépítmény és a talajkörnyezet elmozdulásait a **19. ábra** szemlélteti robbantott nézetben ábrázolva. A töltéssüllyedések kismértékben növekedtek, a szerkezet és a háttöltés között a hídfő környezetében 1 cm körüli süllyedéskülönbség alakult ki.

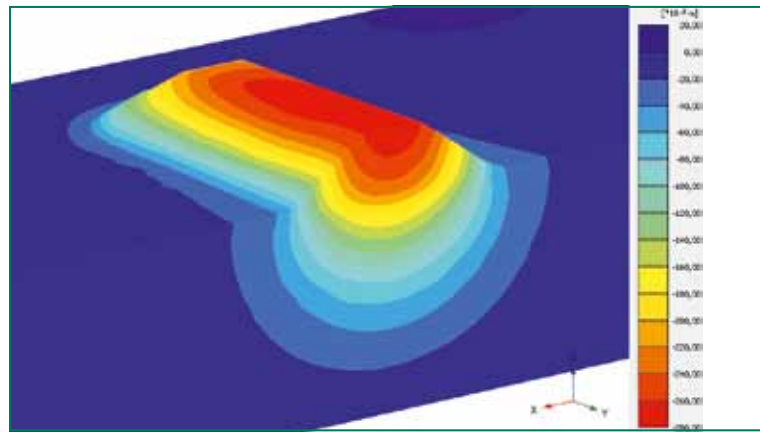
A hídfőfal tetején az elmozdulások értékei 11-14 mm körülire adódtak, amely szinte teljes egészében süllyedés, csak kismértékű vízszintes elmozdulás tapasztalható. A hídfő, cölöpösszefogó mozgásait kiemelve a **20 - 21. ábra** szemlélteti.

A cölöpök süllyedései az állandó terhek figyelembevételét követően meghaladják az 1 cm-es nagyságrendet, a süllyedések átlagos értéke 12 mm. A cölöpök vízszintes elmozdulásai a cölöpfejnél közel 5 mm, míg a cölöpcsúcsnál 1 mm körüli vízszintes mozgás mutatkozott.

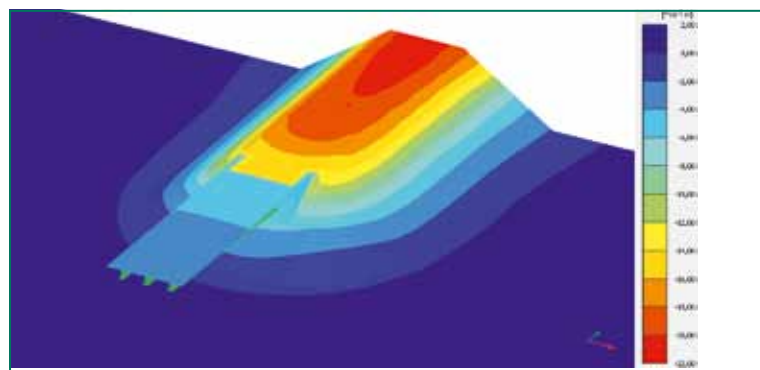
Az állandó terhek után konszolidációs fázis következett, amelyet az előzőhöz hasonlóan 5kPa-os többlet pórusvíznyomás eléréséig számított a szoftver. A számítás alapján a talajkörnyezet konszolidációja 4 év után zajlott le, a töltés legnagyobb elmozdulása ekkor 4.5 cm körüli, az alépítmény pedig további 2 cm-t süllyedt. A szerkezet és a töltéssüllyedés különbsége kis mértékben növekedett, azonban ezek még nem érik el a 1.5 cm-es értéket.



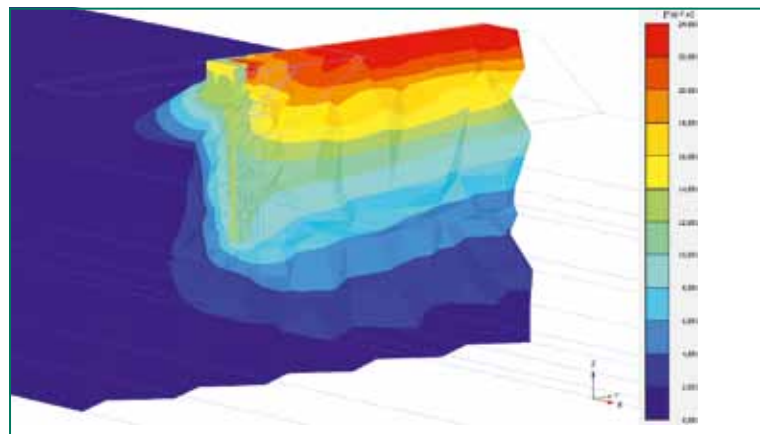
20 - 21. ábra: Az alépítmény süllyedési értékei (balra) és vízszintes mozgásai (jobbra) az állandó terhek figyelembevételét követően



17. ábra: Süllyedések alakulása a konszolidációs szünet után



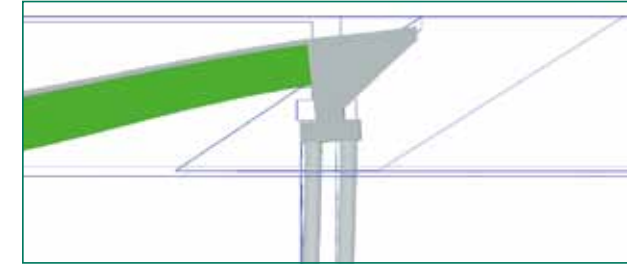
18. ábra: Elmozdulások a töltés megépítése után



19. ábra: Teljes elmozdulások az állandó terhek figyelembevételét követően

A hasznos terheket „plastic” számítási típussal vettem figyelembe és konszolidált állapotban, hiszen így alakulhatnak ki a legnagyobb elmozdulások és ezáltal a legjelentősebb igénybevételek, tehát ez a legkedvezőtlenebb állapot, ami a hídszerkezetet az élettartama alatt érheti.

A terhek hatására a szerkezet további 6-8 mm-t mozdul el, amely átlagosan 2 mm-es függőleges és 5-7 mm-es vízszintes komponensből tevődik össze. A hídfőfal a terhelések hatására jobban billen, a szerkezet mozgását a **22. ábra** szemlélteti, ahol az elmozdult alakot mutatom be felnagyított ábrázolásban. A cölöpök átlagos süllyedése a terhelések után 3.5 cm körüli, illetve a vízszintes elmozdulás is növekedett a cölöpfejnél már 8-9 mm-es érték volt tapasztalható.



22. ábra: A szerkezet mozgása a terhek hatására (nagyított nézet)

A szoftver segítségével a szerkezetek igénybevételei is vizsgálhatóak az egyes fázisokban. Az eredmények hasonlóan alakultak, mint a tartószerkezeti modellben.

Agyazási tényezők számítása

A modell eredményei alapján előállítottam a hídfőfal hátoldalán, a cölöpösszefogó alsó részén, illetve a hátoldalán felvehető ágyazási tényezőket és a cölöptalpak függőleges rugóállandóit, továbbá vizsgáltam, ellenőriztem a cölöpök oldalirányú megtámasztását. Ezek jelentős darabszáma bonyolította a számítás menetét.

Az ágyazási tényezőket a terhelések hatására keletkező normálfeszültségek és elmozdulások hányadosaként számítottam, ezek értékei a programból táblázatos formában kinyerhetők, az egyes csomópontokra vonatkozóan. Mivel a terhelés hatására kialakuló rugóállandókra volt szükségem, így két fázis eredményeit kellett elemezni az egyes kombinációk esetében, a normálfeszültségek és elmozdulás növekményeket kiszámítva. Ez közel sem egyszerű feladat, illetve a csomóponti mozgásokból ki kellett szűrni azokat, amikor a hídfőfal háttöltés irányába mozdul, hiszen ez esetben érvényesül annak megtámasztó hatása. Továbbá, mivel több teherkombinációt vettem figyelembe, így minden szerkezet ágyazási tényezőjét előállítottam az összes kombinációra vonatkozóan. Érzékelhető, hogy a bemutatott folyamat meglehetősen bonyolult és időigényes feladat. A kombinációk alapján meghatározott eredményekből egy átlagos értéket számítottam ki.

A cölöpök kiindulásként felvett oldalirányú rugóállandóinál a Plaxis modellből meghatároztam minden esetben merevebbnek mutatkoztak, ugyanakkor a cölöpök nyomatékai igénybevételei jó egyezést mutattak a geotechnikai és tartószerkezeti modellekben, ezért nem változtattam a kiindulásként felvett értékeken.

Érdemes megjegyezni, hogy az előállított ágyazási tényezők értékeit nagyban befolyásolják a talajkörnyezet nyírószilárdsági és alakváltozási paraméterei, az építésütemezés, illetve a szerkezet merevsége is, tehát nagy figyelmet kell fordítani ezek helyes modellezésére.

Az számítások alapján az átlagos ágyazási tényezők értékei:

- Hídfőfal hátoldalán: 3 500 kN/m/m²,
- Cölöpösszefogó hátoldalán: 20 300 kN/m/m,
- Cölöpösszefogó alsó síkján: 4 600 kN/m/m²,
- Cölöptalpon: 30 900 kN/m.

Az építési ütemezés a hídépítésben nagy jelentőséggel bír, hiszen befolyásolhatja a szerkezet megépítését követően kialakuló süllyedéseket, süllyedéskülönbségeket, illetve a szerkezeti igénybevételeket is, például negatív köpenysúrlódást idézhet elő.

A felépített modell segítségével vizsgáltam különböző építési ütemezések hatását is. Terjedelmi okokból az eredményeket itt nem, csak a dolgozatban mutattam be.

9. Optimalizált modellezési eredmények bemutatása

A **23. ábra** a tervezés menetét szemlélteti. Az alap modellből kiválasztottam az alépítmény szempontjából mértékadó teherkombinációkat, ezeket szerepeltettem a geotechnikai modellben, amely eredményei alapján előállítottam az egyes szerkezetet ágyazási tényezőit, ezeket felhasználva elkészítettem az optimalizált modellt.

Mivel a hídfő és a cölöpösszefogó esetében a támaszoknak csak nyomásra kell működniük, ezért nemlineáris számításokat futtattam. A számításokban figyelembe tudtam venni a beton húzófeszültségeinek a lekorlátozását is, ami fontos volt, hiszen ezek több helyen is meghaladták a határértéket. A vártak megfelelően a számítási eredmények mérsékeltebb igénybevételeket hoztak, amit a következőkben mutatok be. Megjegyzem, hogy a nemlineáris számításokhoz nagyon magas futásidő tartozik, jelen esetben a több mint 250 teherkombináció futásideje 26-28 óra.

A mozgások értékeit tekintve nem jelentős az eltérés az előző modellhez képest, vélhetően ez a beton anyagi nemlinearitásának köszönhető mozgás-növekményeket a hídfőn és a cölöpösszefogón alkalmazott megtámasztások korlátozták.



23. ábra: A tervezés menete

Cölöpök igénybevételei

A cölöpök legnagyobb normálerő igénybevételei kismértékben mérséklődtek, ez azzal magyarázható, hogy a cölöpösszefogón is figyelembe vettem függőleges megtámasztást. A rugalmas viselkedésnek köszönhetően az első sori cölöpök nagyobb nyomást kapnak, ám ez a rugalmas-képlékeny viselkedéssel mérséklődik, ezt mutatják az eredmények (24 - 25. ábra) is, hiszen egyenletes az eloszlás a két sor között, sőt a mértékadó erő a hátsó soron jelentkezett.

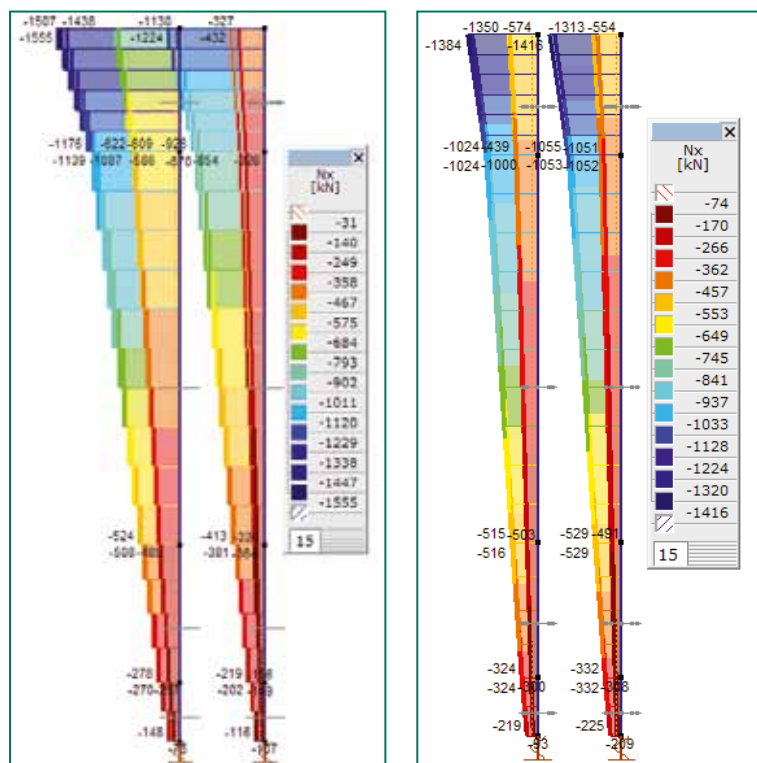
A cölöpök mértékadó nyomatéki igénybevételei a 26 - 27. ábrán láthatók. A cölöp-cölöpösszefogó kapcsolat egy kritikus része jelen szerkezetnek, hiszen itt jelentős nyomatéki igénybevételek adódnak a cölöpökre és a cél ezeknek a mérséklése.

Megfigyelhető, hogy a hídtengelekre merőleges komponensű nyomatéki igénybevétel-csúcsok jelentősen, 45-50%-kal csökkentek, továbbá látható az igénybevételek átrendeződése is. Ez a csökkenés egyrészt az ágyazási tényezők pontosításának köszönhető, másrészt pedig a beton anyagi nemlinearitásának, tehát kijelenthető, hogy jelen változtatásokkal sikerült optimalizálni cölöpalapozást, így gazdaságosabb szerkezet készülhet.

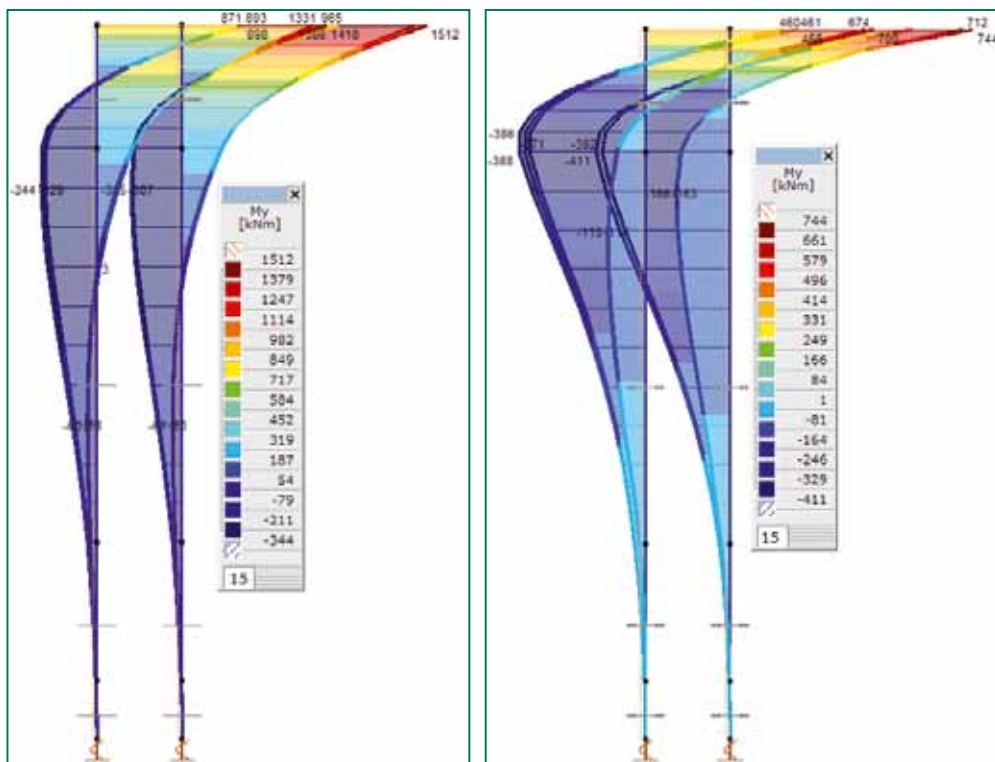
Aléptítményi szerkezetek igénybevételei

A cölöpösszefogó és a hídfőfal nyomatéki igénybevételeinél is jelentős csökkenés, átrendeződés tapasztalható az ágyazási tényezők pontosításának és a nemlineáris viselkedésnek köszönhetően. A hídfő esetében a lokálisan nagy nyomatéki igénybevételek értékei megközelítőleg 30-40%-kal mérséklődtek.

Az aléptítményi szerkezetek vasbeton tervezését, méretezését az optimalizált modellezési eredmények alapján készítettem el. A vasalás tervezése után a csomópontok méretezését is elvégeztem, továbbá ellenőriztem a szerkezetek repedéstágassági követelményeknek való megfelelőségét is.



24 - 25. ábra: Mértékadó normálerő (min.-max.) a cölöpökön, az alap (balra) és az optimalizált (jobb) modellre vonatkozóan



26 - 27. ábra: Mértékadó nyomaték (min.-max.) a cölöpökön, az alap (balra) és az optimalizált (jobb) modellre vonatkozóan

10. Gazdaságos tervezés

Az alap modell és az optimalizált modell igénybevételeit összehasonlítva érzékelhető, hogy a talaj-szerkezet kölcsönhatás pontos modellezése gazdaságos tervezéshez vezet.

A vasbeton tervezést elvégeztem az alap modellre kiterjedve is. A vártan megfelelően a szükséges betonacélmennyiségek nagyobbak, mint az optimalizált modellben. Az eredmények alapján elemeztem a két változat közötti alkalmazott betonacél tömegének az eltérését, természetesen minden esetben az alap modell által meghatározott vasalás volt a jelentősebb.

Az eredmények alapján érzékelhető a jelentős költségbeli különbség, a dolgozatban levezetett tervezés menete gazdaságos kialakításhoz vezet. Jelen projekt esetén a megtakarított összeg közel 4.4 millió forint, ami elég jelentős. Megjegyzném, hogy a geotechnikai modellezésből merül fel plusz költség, ami a helyszíni viszonyoktól, szerkezeti kialakítástól, bonyolultságtól függő összeg. Egy rutinos tervező csapat egy hasonló szintű modellezési munkát hozzávetőleg 1.0-1.5 millió forintos összegért készít el. További megtakarítás jelentkezik a dilatációs szerkezetek elhagyása és az üzemeltetés során szükséges karbantartások szükségtelenségével, illetve a pálya hibáinak javítási költségeiben, amelyek a szerkezet és a háttöltés közötti süllyedéskülönbség miatt jelentkeznek. A felszerkezet keresztmetszeti méretei az igénybevételek alakulása miatt kedvezőbbek, itt is költségcsökkenés tapasztalható.

11. Összefoglalás

Diplomamunkám célja gazdaságos, könnyen kivitelezhető integrált híd aléptítményének a tervezése volt. A közbelső támasz, illetve a saruk és dilatációk elhagyásával a költségek és a kivitelezés időtartama jelentősen lecsökken. A felszerkezet és a hídfő nyomatékbíró kapcsolatának köszönhetően pedig a felszerkezet nyomatékai kedvezőbbek.

A dolgozatban a témakörrel kapcsolatos hazai, illetve külföldi irodalmakat tanulmányoztam és fontosabb részeket bemutattam, illetve az irodalomkutatásból szerzett tapasztalatokat a tervezésnél felhasználtam.

Az aléptítmény tervezést részletekbe menően végeztem el, kiteríttem a szerkezet geometriai méreteinek meghatározására, vizsgáltam – különböző szempontok szerint – kialakítási változatokat, amelyek alapján kiválasztottam az általam legalkalmasabbnak tartott típust. A konstrukció, geometria meghatározása után felépítettem a szerkezet komplex tartószerkezeti modelljét az AxisVM szoftverben, amely leterhelését a hatályos útiügyi műszaki előírás alapján készítettem el.

Elvégeztem a szerkezet földrengésvizsgálatát is, amely alapján kijelenthető, hogy a méretezés szempontjából nem mértékadó, viszont mindenképpen szükséges a földrengés hatását vizsgálni; illetve a szabvány alapján ekkora feszítávolság esetén már figyelembe is kell venni ezt a hatást.

Hídszerkezet esetén a talaj-szerkezet kölcsönhatás megfelelő figyelembevétele kiemelt fontosságú, ezért ezt részletesen vizsgáltam. Plaxis 3D végelemes szoftver segítségével geotechnikai irányú modellezést készítettem. A program sokoldalúságának köszönhetően a modellben vizsgálni tudtam az építésütemezés hatását, töltéssüllyedést és a konszolidációt is. A modell fő célja az alapozás optimalizálása volt, ugyanis a geotechnikai modellezésből előállíthatók az egyes aléptítményi szerkezetek ágyazási tényezői, amelyek definiálhatók a komplex tartószerkezeti modellben. A geotechnikai tervezésből, modellezésből kitérően vizsgáltam az építési ütemezés hatását a szerkezeti igénybevételekre és az elmozdulásokra vonatkozóan; a főbb eredményeket a dolgozatban bemutattam és következtetéseket vontam le.

A geotechnikai modellezésből meghatározott rugóállandó értékeket felhasználva elkészítettem az optimalizált tartószerkezeti modellt, amelyben nemlineáris beton anyagmodellt alkalmaztam a szerkezet viselkedésének pontos leírása érdekében.

Az optimalizált modell gazdaságosságát külön fejezetben elemeztem, ahol az alap és az optimalizált tartószerkezeti modell által meghatározott vasalásokat hasonlítottam össze, a súlyt és költséget, mint szempontokat figyelembe véve.

Részletekre kiterjedő munkával elkészítettem egy egynyílású integrált híd aléptítményének a tervezését. Bemutattam, hogy precíz geotechnikai modellezés alapján optimalizálható a szerkezet, ezáltal az igénybevételek és egyúttal a költségek is csökkenthetők.

12. Irodalomjegyzék

- [1] Varga Olivér: Integrált híd aléptítményének tervezése, BSc Szakdolgozat, Győr, 2019
- [2] Laufer Imre: Integrált hídfők viselkedésének geotechnikai jellegzetességei, Geotechnika 2019, Velence, 2019. október
- [3] M. Feldmann, J. Naumes, D. Pak, M. Veljkovic, J. Eriksen, N. Popa, O. Hechler, G. Seidl: Economic and durable design of composite bridges with integral abutments (INTAB+). European Commission, EU, (2012) pp. 1-114.
- [4] dr. Szepesházi R., dr. Ray R., dr. Szilvágyi Zs.: Integrált hidak konstrukciós részletei az amerikai és német szakirodalom alapján. Hídfők szerkezetének optimalizálása, 3. munkarész, Tanulmány, Győr, 2018. július
- [5] Pál G., Hunyadi L., Dési A., Borzai T.: Befogott ösvérhidak tervezése, XIV. Acélszerkezeti Konferencia, Előadás gyűjtemény, pp. 32-40., 2017. május
- [6] Pál Gábor: Ösvér szerkezetű hidak tervezési tapasztalatai, Acélszerkezetek, 2011/1. szám, pp. 17-25., 2011
- [7] dr. Szepesházi R., dr. Ray R., dr. Koch E., dr. Szép J., Hudacsek P., Szilvágyi Zs., Wolf Á.: A hídfők fejlesztésének szükségessége és lehetőségei. Hídfők szerkezetének optimalizálása, 1. munkarész, Tanulmány, Győr, 2017. május
- [8] Xue, Junqing: Retrofit of Existing Bridges with Concept of Integral Abutment Bridge: Static and Dynamic Parametric Analysis, PhD thesis, University of Trento, Università IUAV di Venezia, 2013
- [9] Vasant C. Mistry: Integral Abutment and Jointless Bridges, Integral Abutment and Jointless Bridges (IAJB 2005), March 16-18, 2005, Baltimore, Maryland, pp. 3-11.
- [10] Diceli, M., Albhaisi, S.M.: Performance of abutment-backfill system under thermal variations in integral bridges built on clay, Engineering Structures 26 (2004) pp. 949-962, Elsevier
- [11] J.S. Horvath: Integral-Abutment Bridges: Geotechnical Problems and Solutions Using Geosynthetics and Ground Improvement, Integral Abutment and Jointless Bridges (IAJB 2005), 2005, pp. 281-291.
- [12] DIN 1054, Subsoil – Verification of the safety of earthworks and foundations. – Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2005
- [13] Szép János: Hídszerkezetek modellezése a talaj és a szerkezet kölcsönhatásának figyelembevételével, Doktori (PhD) értekezés, Győr, 2014
- [14] PD 6694-1: Recommendations for the design of structures subject to traffic loading to BS EN 1997-1:2004, ISBN 978 0 580 58910 2, May 2011
- [15] Hudacsek P., dr. Koch E., dr. Szepesházi R., dr. Wolf Á.: Egy félig integrált híd komplex 3D FEM modellezése és validálása, Geotechnika 2020 Herceghalom, 2020
- [16] dr. Szepesházi Róbert: Hídaléptítmények geotechnikai tervezésének fejlesztése különös tekintettel a korszerű geotechnikai számítógépes programok alkalmazásának lehetőségére, Győr, 200

ReBe aszfalt beépítést segítő eszköz lengyelországi tapasztalatai

Gajdán Zsófia

technológus
Colas Hungária Zrt.
Technológiai Igazgatóság



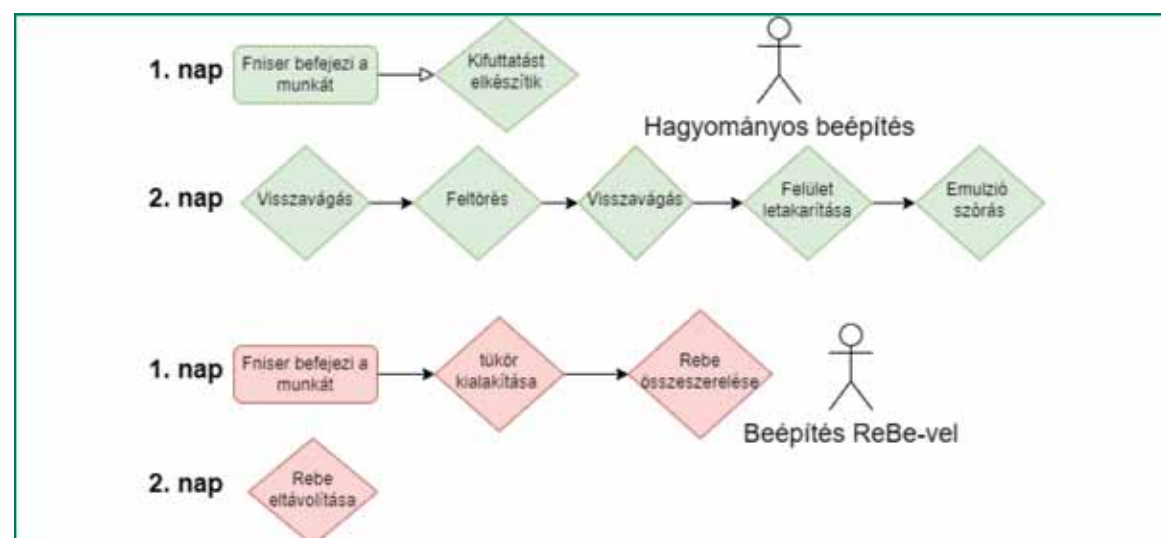
2021 novemberében a Colas Hungária Technológiai Igazgatóságát képviselve részt vettem a lengyelországi Zreszow-ban egy egész napos programon, amelynek célja a ReBe beépítést segítő eszköz megismerése volt. Cikkemben ezt a technológiai innovációt szeretném bemutatni, annak előnyeivel és hátrányaival együtt.

Aszfalt munkahézag kialakítás folyamata

Az aszfalt beépítése során a munkanap végén – vagy műszaki okokból – akár nap közben is előfordulhat, hogy munkahézagot kell kialakítani. Ilyenkor a befejező szakaszon kifuttatás szoktak készíteni a gépláncal,

amit a következő aszfaltozási napon vissza kell vágni. A visszavágás megkönnyítésére gyakori megoldás az „aláhómokolás”, hogy a visszavágandó szakasz tapadása gyenge és könnyen visszabontható legyen, azonban ezt nem mindig alkalmazzák. A visszavágást követően el kell bontani a kifuttatást, majd letisztítani a megmaradó felületet, arra emulziót szórni, majd ezt követően kezdődhet meg ismét az aszfaltozás.

Ezt a folyamatot rövidítheti le a ReBe beépítést segítő eszköz. Ennek az elemenként összeépíthető rámpaszerű eszköznek a segítségével egy függőleges falú csatlakozást képzünk, melyet a továbbépítés során nem kell visszavágni, csupán eltávolítani és lehet folytatni a beépítést.



1. ábra A munkahézag kialakítása

Műszaki adatok

Az eszköz 4-10 cm-es vastagságú aszfalt rétegek építéséhez használható, 1-2 cm magasságú elemekből lehet összerakni. Kétféle szélességben, 0,5 méteres és 1 méteres darabokban kapható, és ebből összerakható a tetszőleges burkolatszélesség. Az elemei egymáshoz a fém kapcsokkal rögzíthetők. A helyszíni tapasztalataim alapján elég erősek voltak a rögzítések ahhoz, hogy a beépítés során a henger súlya alatt nem mozdultak el.

A ReBe „rámpa” anyaga úgy lett megtervezve, olyan műanyagból, ami ellenáll az útépités során előforduló olyan káros anyagok roncsoló hatásának, mint a benzin és a gázolaj. Az ék alakú kialakítás azért fontos, hogy a beépítés során az építési forgalom tudja használni azt, míg egy városi felújítás során, a beépített szakasz ideiglenesen is átadható legyen a gépjármű forgalomnak. Különböző szögek alakíthatók ki, és a tulajdonos elmondása szerint a helyi műszaki egyetemen vizsgálatokat végeztek rajta, hogy ellenőrizzék a biztonságos használati sebességeket, és a ReBe mindenhol megfelelt.



1. kép ReBe elemek (forrás: Krzysztof Prybylski)

Beépítés

Az S19 Rzeszow melletti gyorsforgalmi útépitése projekten személyesen tekintettünk meg a beépítési technológiát.

Egy szervízút aszfaltozását végezték 4 cm-es vastagságban, amit a bemutató kedvéért egy munkahézag kialakításával megszakítottak.

Miután az aszfalt elfogyott a finiser puttányából, a munkagép elhagyta a helyszínt, és a brigád 20-25 cm aszfaltot oldalirányban a burkolat mellé lapátolt, és kialakította az egyenes munkahézagot, amelyhez a ReBe eszközt csatlakoztatták. Az eszköz nagy előnye, hogy tömege nagyon könnyű, az egy méteres darabot – de még az összekapcsolt 1,5-2 méterest is – egy ember is elbírja. Ezt követően a felületre odaillesztették kézzel, jó szorosan az elterített aszfalt mellé, majd az oldalra kilapátolt aszfalttal a beépített burkolat és az eszköz közötti hézagokat kitöltötték. Eközben rögzítették magát az eszközt szögek segítségével, amiket a műanyagban erre a célra kialakított lyukakba kellett beverni. A fogadófelületen emiatt pontokban sérülés keletkezik, azonban ennek mérete elhanyagolható a visszavágás okozta sérülésekhez képest.



2. kép Szervízút aszfaltozás Lengyelország S19 (saját fénykép)



3. kép ReBe beépítése (saját fénykép)

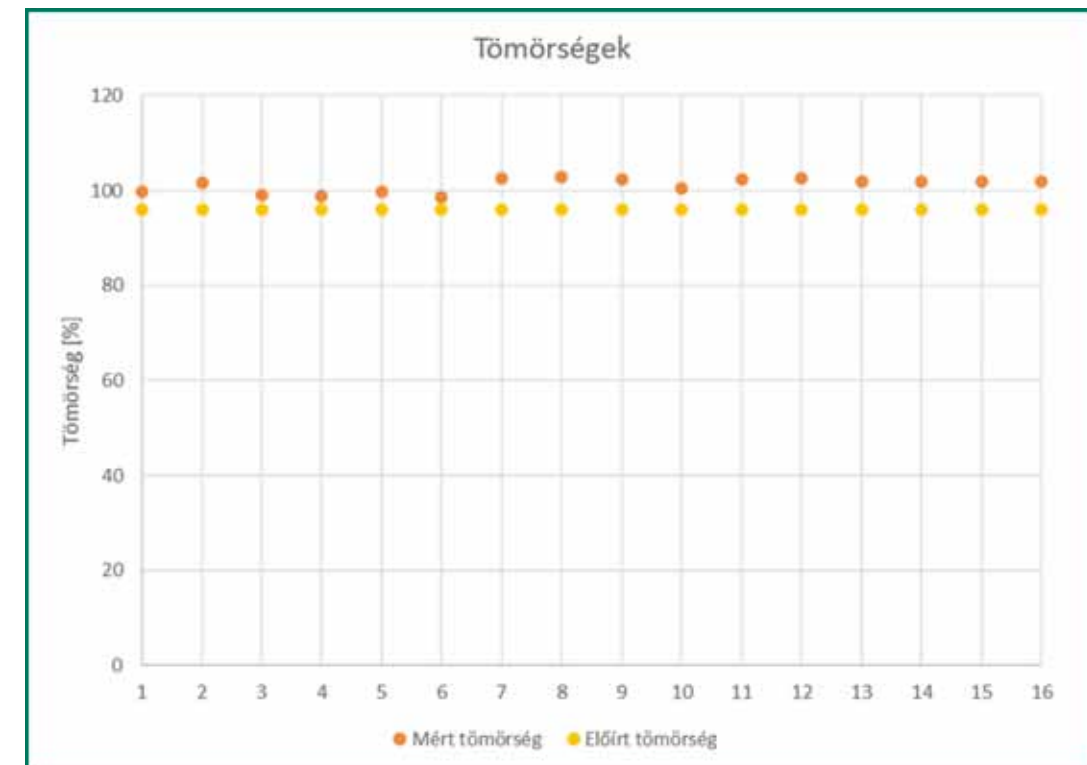


4. kép Tömörésmérés a ReBe csatlakozástól 1 m távolságra (saját fénykép)

A rögzítést követően megkezdődött a hengerlés. A henger könnyedén és probléma nélkül mozgott az eszközön. A hengerjáratok között a munkások, a maradék aszfaltot belapátolták az utolsó szakaszra, a terv szerinti vastagság elérése érdekében.

A henger az aszfaltfelület teljes hosszát tudta tömöríteni. A hengerlést követően a lengyel kollégák izotópos tömörségmérővel ellenőrizték a tömörségeket 30-40 cm, illetve 1 méter távolságra a csatlakozástól. Az eredmények minden esetben 99% körül voltak. Ezután a felületen a keresztirányú egyenletlenséget is ellenőrizték.

A lengyel laboratórium rendelkezésünkre bocsátotta a fúrt minták vizsgálati eredményeit, különböző vastagságú burkolatokra vonatkozóan a projekten, ezek mind megfeleltek a terv szerint előírt tömörségnek.



1. grafikon Lengyel tömörségmérés eredmények a ReBe csatlakozások térségében (forrás: Colas Polska)

A vastagsági eredmények minden esetben teljesítették a követelményeket. A tervezettnél nagyobb vastagságokra feltehetőleg technológiai okokból volt szükség bizonyos helyeken.

Minta sorszáma	Mért vastagság [mm]	Előírt vastagság [mm]
1	93	90
2	103	90
3	85	90
4	90	90
5	88	80
6	75	80
7	105	90
8	98	90
9	87	90
10	88	90

1. táblázat Lengyel vastagságmérés eredmények ReBe csatlakozások környezetében (forrás: Colas Polska)

Eltávolítás

A friss beépítést követően megtekintettünk egy olyan szakaszt is, ahol előző nap történt az aszfaltozás, és a jelenlétünkben távolították el a megtámasztást.



5. kép ReBe eszköz kopóréteghez építve (saját fénykép)

Itt egy kopóréteg beépítéséhez használták. Az eltávolítás egyszerű művelet, akár egyedül is elvégezhető. A gyártó készített a ReBe-hez egy T alakú célszerszámot, amit a kialakított keresztirányú kis részbe kell beleilleszteni, ott elfordítani, és kiemelhető az eszköz, a leütött szögekkel együtt a burkolatból.

Az eltávolítást követően résekbe ragadt aszfalt maradt a felületen, amit egy seprű segítségével könnyedén eltávolítottak, nem ragadt a fogadófelülethez. A 4 cm vastag rétegek esetében a megfelelő csatlakozás és felületi érdesség elérése érdekében, a ReBe felülete bordázott és egy annak megfelelő, negatív mintázatú felületet ad. A beépítés minőségének javulása – a megszokott levágásos módszerhez képest – abban rejlik, hogy nem egy sík, egyenes, hézagmentes felület alakul ki. A kis vastagságnál még ez a bordázás erősíti a beépítés minőségének javulását. A takarítást követően a burkolaton semmilyen repedés vagy törés nem keletkezett, egy kifejezetten szép felületet kaptunk.



6. kép Eszköz eltávolítása után a kialakult barázdált csatlakozó felület (saját fénykép)



7. kép Frissen eltávolított eszköz utáni felület (saját fénykép)



8. kép Korábban elkészült munkahézag ReBe eszköz segítségével (saját fénykép)

A korábbi beépítés eltávolítását követően megnéztünk egy keresztirányú, korábban ReBe segítségével készített csatlakozást is, ami a főpályában épült. A továbbépítéshez az elindulás finiserrel ugyanúgy történik, mint egy levágás esetén. Bitumenes szalagot tettek a csatlakozásba, és a finiser a szokásos módon folytatta a beépítést, tehát itt nincs különbség a megszokott technológiához képest.

A 8. képen látható a csatlakozás, amely kifejezetten jónak mondható. Gyakorlatilag volt olyan szakasza, ahol alig látszott a keresztcsatlakozás kialakítása.

Friss beépítés eltávolítása

Utolsó technológiai művelet, amit megnéztünk, az egy órával korábban, a részvételünkkel történt beépítésnél lévő megtámasztás eltávolítása, és a továbbépítés kezdete volt. Itt már nem volt teljeskörűen hibamentes a keresztcsatlakozás kialakítása. A függőleges fal néhány szakaszon letört az eltávolítás során. Ennek oka, a friss, még meleg aszfalthoz nagyon hozzátapadt az eszköz. Mivel korábban az egy napos beépítés során láttuk, hogy hasonló probléma akkor nem fordult elő, ebből azt a tanulságot mindenképpen le lehet vonni, hogy frissen nem érdemes eltávolítani a ReBe-t, hanem csak az aszfalt lehűlését követően.



9. kép Friss, meleg burkolat mellől eltávolított eszköz után maradt letörés (saját fénykép)

Előnyök

Az eszköz használatának legegységesebb előnye, hogy csökkenti a nem hasznosan beépített (beépített, majd eltávolított) aszfalt mennyiségét a visszavágás alkalmazásához képest. Egy mintaprojekt esetén 2*7,25 m széles burkolaton következő a rétegréteg: 9 cm alapréteg, 7 cm kötőréteg, 4 cm kopóréteg. Az alap- és a kötőréteg ütemezett aszfaltozási napjainak száma egy 6 km hosszú szakaszon 42 nap. Egy 1 méter hosszúságú visszavágás esetén az alaprétegen összesen 22 m³, a kötőrétegen 17 m³ aszfalt takarítható meg a ReBe használatával.

A lengyel kollégák arról is beszámoltak, hogy náluk többször jelentkeztek minőségi problémák a fogadóréteg átvágása miatt, ami ezzel a technológiával elkerülhetővé vált, a probléma megszűnt. Ezen kívül az érdes függőleges felülethez csatlakozó továbbépítés is mindenképpen minőségi javulást jelent, a levágott teljesen síkfelülettel szemben. Ami még jelentős előny lehet, a rendkívül egyszerű és gyors telepítési technológia, amit könnyű a beépítő kollégáknak megtanulni. Sokkal gyorsabb és kevesebb plusz munkát igényel, mint a levágás, és összességében két emberrel megoldható az eltávolítása is, mivel a szerkezet valóban könnyű és könnyen mozgatható. Városi környezetben kifejezetten hasznos a folyamatosan változó ideiglenes terelések kiépítése esetén, hogy a ReBe alkalmazásával átadható a forgalomnak egy-egy szakasz és könnyen járható a gépjárművek számára.

Hátrányok

Az eszköz élettartama – a gyártó szerint – várhatóan 365 munkanapnyi használat. Ez ugye 365 alkalom, de hogy ennyi hengerlést, illetve építési forgalmat valóban kibír-e, azt beépítési tapasztalat híján jelenleg nem tudjuk egyértelműen megmondani. Hogy megéri-e az árát, ahhoz érdemes kiszámolni az adott projekteken a levágásból származó eltávolított aszfaltmennyiség értékét. Ezen kívül a beépítési technológia pontos elsajátítása elengedhetetlen, mivel láttuk, hogy a friss beépítés során előfordulhatnak problémák.

Összefoglaló

Összességében elmondható, hogy a ReBe eszköz használata jelentősen leegyszerűsítheti a napi aszfaltozási munkák befejezését, azonban a gazdasági megfontolásokat is figyelembe kell venni és mérlegelni, hogy megéri-e a cégeknek ez a beruházás. Azonban szokták mondani, „sok kicsi sokra megy”. Az ehhez hasonló egyszerű, de innovatív technológiákra nagy szükség van iparágunk fejlődéséhez és a környezetünk védelméhez. Amennyiben a gyártó szerinti élettartamot valóban teljesíteni tudja a ReBe eszköz, akkor ez alatt az idő alatt jelentős mennyiségű aszfalt takarítható meg a nagyprojekteknél.

Pannon Egyetem az útépipítőipari innovációkban – útkereszteződéshez értünk?

Szerző: Dr. Kovács András, Dr. Varga Csilla

Dr. Kovács András

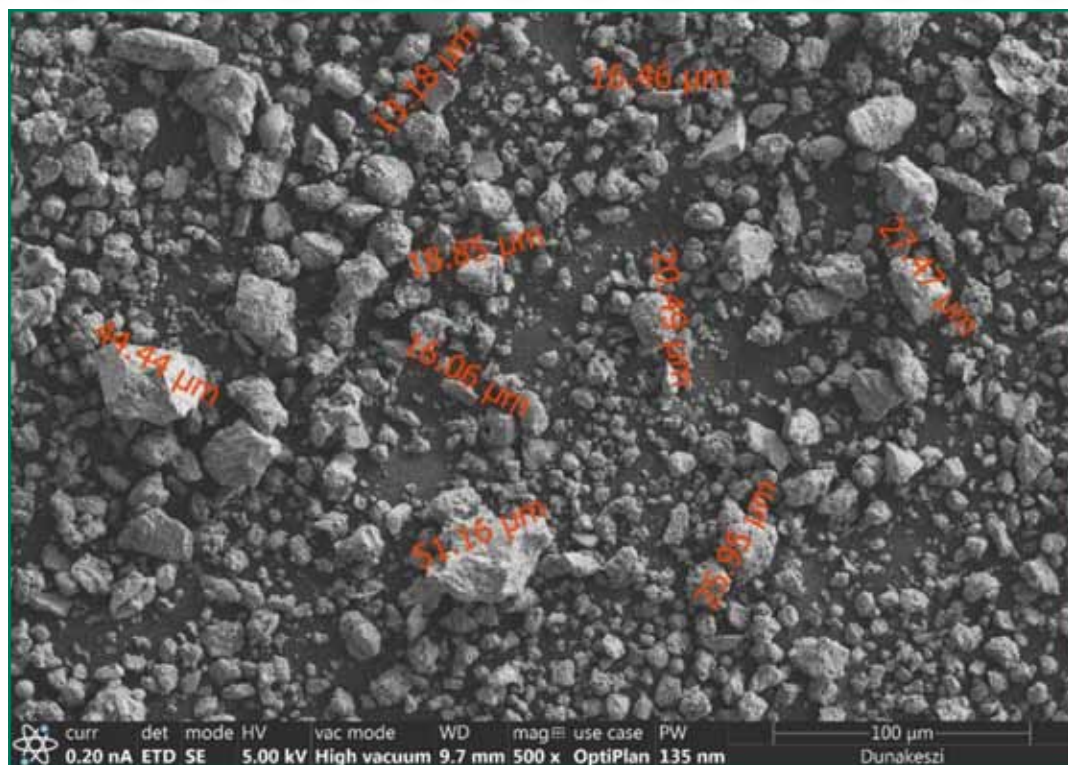


Adjunktus
Pannon Egyetem
Anyagmérnöki Intézeti Tanszék

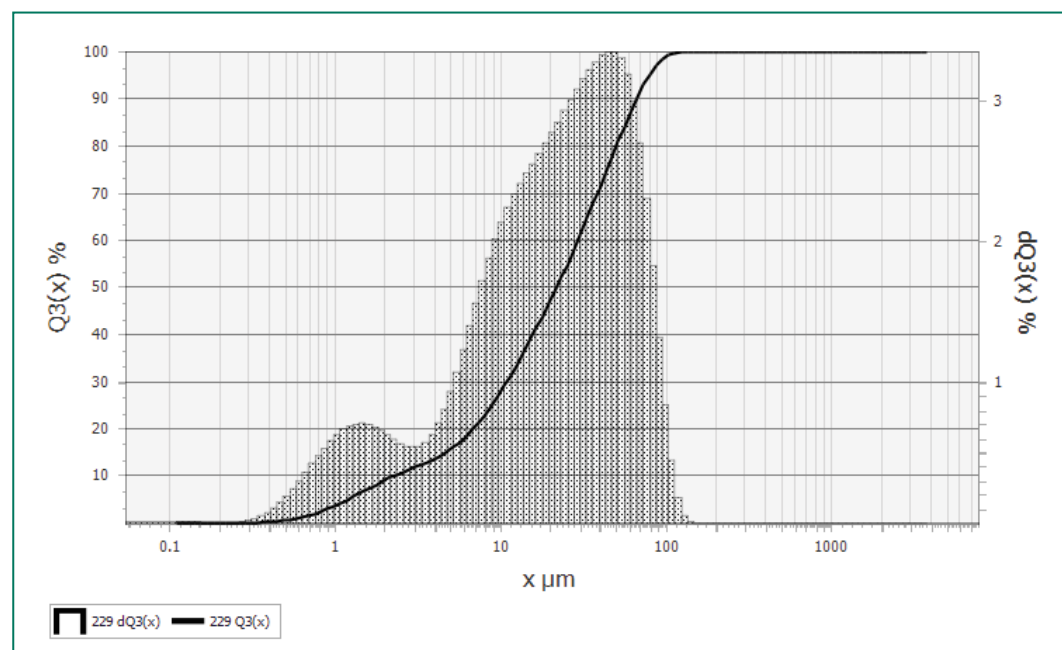
Napjainkban a globális gazdasági rendszer átalakulása, a válságok, a járványok és a háborúk következtében újabb és újabb kihívásokkal kell megküzdenie az építőipar, különösen a nagy mennyiségekkel dolgozó útépipítőipar szereplőinek. A területet összetett módon a nyersanyagok, a gyártástechnológiák energiaigénye miatt, illetve megrendelői oldalról is nagy kihívások terhelik. Többek közt a nagy mennyiségben felhasznált cement gyártásakor a cementklinkert ~1500 °C hőmérsékletre szükséges hevíteni, mely főként földgázzal, olajjal és szénpor tüzeléssel lehetséges. Jelenleg mindegyik energiahordozó költsége ugrásszerűen emelkedett. Ehhez hozzászámítjuk az elérhetőség korlátozását, akkor már gyártástervezési nehézségekkel is szembesülhetünk, melyek a teljes ellátási lánc biztonságát veszélyeztethetik. A másik fő iparági kitétség az olajiparban keresendő, ahol az esetleges termelési mennyiségek csökkenésével a bitumengyártás költsége, elérhető mennyisége és ellátásbiztonsága is veszélyben lehet. Ezen túl a megfelelő mennyiségben, minőségben és költségek mellett rendelkezésre álló alap- és nyersanyagok meglétekor is jelentkezik az alkalmazott technológiák jelentős energiaigénye. Itt főként a földgáz és villamos energia elérhetősége korlátoz. A kerülőutak elzárását jelenti a villamosenergia árak közvetlen kapcsolata a gázárakkal. Megrendelői oldalról pedig a megakadt fejlesztési, felújítási pályázatok miatt csökkenhet az iparág megrendelésállománya, melyre megoldást jelenthet a termékportfólió diverzifikálása a jelen körülmények között is nagy hozzáadott érték mellett értékesíthető termékekkel. Az Európai Unió területén tapasztalható trendeket vizsgálva e terület lehet a körkörös gazdasági elveknek megfelelő újrahasznosított anyagrendszerek újszerű alkalmazása. Összefoglalva a nagy energiaigényű folyamatok, illetve a nagy energia- és nyersanyagigényű

források (olajipar, cementipar) válságos helyzete miatt, a hagyományos eljárások mellett, az új, eddig még a konjunktúra miatt ki nem aknázott lehetőségek irányába szükséges fordulnunk.

A fent bemutatott helyzet alkalmas ad az iparágban évtizedek óta jelenlévő egyik probléma lehetőséggé alakítására. A közüzalék előállítás során különböző nagy szilikát-, illetve karbonát tartalmú kőzeteket használnak fel, melyeket különböző szemcseméret szerint szeparálnak. Azonban az őrlések következtében keletkezik egy nagy finomságú szemcseméret frakció, amely nem forgatható vissza a technológiába, emellett ha továbbjut a technológiában, az a végtermék minőségét jelentősen rontja. E frakciót a bányák sem kívánják visszafogadni, így gyakorlatilag mindkét fél szabadulni igyekszik tőle. Az évek során felmerült, hogy az agráriumban lehetne hasznosítani, ahol hasonlóan nagy mennyiségekkel dolgoznak, azonban az agrár szakemberek egyértelműen tiltakoztak az ilyen típusú felhasználás ellen, mert a talaj tulajdonságait jelentősen rontaná, kihelyezése pedig erős portorheléssel járna. Természetesen felmerült kötőanyagipari felhasználása is, melyben nagy fajlagos felülete jelent problémát. Emiatt cementkiegészítőanyagként alkalmazva olyannyira eltolja a víz-cement tényezőt, hogy megközelítőleg bedolgozhatatlanná válik az anyagrendszer. Így gyakorlatilag e porhulladék kezelésére kizárólag a deponálás jelent megoldást. Azonban ki kell emelni, hogy mennyiségek tekintetében évi akár 300 000 tonnáról is beszélhetünk, melyet az országban található számos lerakóban igyekeznek elhelyezni. Itt következik két újabb nehézség, a tárolók telítettsége, illetve ennek költsége, mely ekkora mennyiségnél több milliárd forintot is jelenthet. Sajnos további költségnövekedés várható az egyre szigorodó környezetvédelmi szabályozások miatt.



1. ábra Az útépitőiparban keletkező finom por elektronmikroszkópos felvétele



2. ábra Az útépitőiparban keletkező finom por szemcseméretanalízis eredménye

A másik anyagrendszer, mely még ennél is nagyobb problémát jelent mérnök társainknak, a műanyag hulladék. Hazánkban évi 1,8 millió tonna keletkezik belőle, melynek több részénél megoldható az újrahasznosítás, azonban számtalan olyan hulladékfrakció jelenik meg, melyek szennyezettségük, kevertségük miatt jelenleg ily módon nem kezelhetők. Fontos hangsúlyozni, hogy az ismételt hőkezelések következtében az anyagrendszerek tulajdonságai romlanak a polimer szerkezetben bekövetkező károsodások miatt, így a különböző adalékszerek alkalmazása és fejlesztése alapvető. Egy másik nem

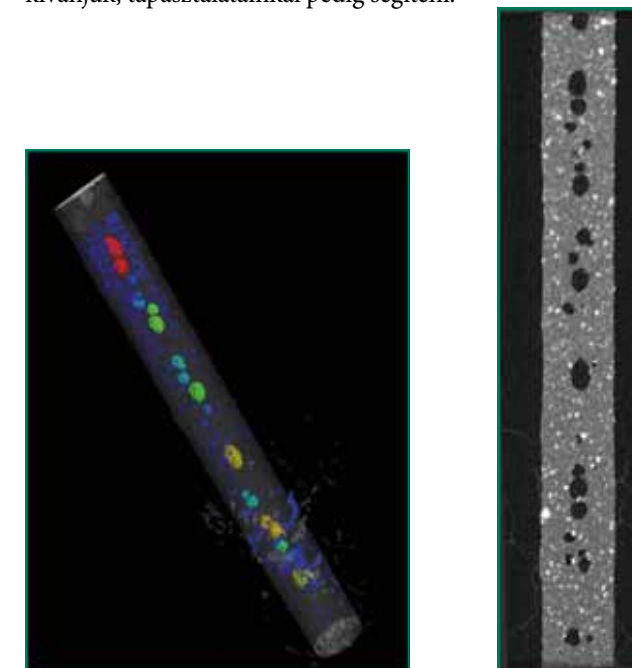
triviálisnak tekinthető kérdés a mennyiségek nagyságrendje. Egy tökéletlen példán bemutatva, jelenleg kiváló újrahasznosított fogkefék, tollak kaphatók a piacon, ha viszont többszáz ezer tonna nagyságrendben gondolkodunk, akkor ez a kontinens lakosságának elégséges lenne évekig. Természetesen ekkora igény nincs, főleg esetleg rosszabb minőségű hulladékfrakció felhasználásakor. Erre jelenthet kiváló alternatívát egy jelenleg induló szakterület, az építőipari célú műanyag újrahasznosítás. Azonban ennek technológiai háttere egyelőre nem áll rendelkezésre, így óriási a potenciál a fejlesztők előtt.



3. ábra Az útépitőipari por és műanyag hulladék felhasználásával készült különböző színű kompozit minták, melyek felülete tetszőlegesen megválasztható

A felvázolt nehézségeket és lehetőségeket összevetve kirajzolódik egy határterületen megbúvó új lehetőség, melynek során a problémás hulladéporokat és műanyag hulladékfrakciókat társítva egy új, nagy mennyiségben rendelkezésre álló, építőipari célokra reálisan alkalmazható anyagrendszer hozható létre. A Pannon Egyetem laboratóriumaiban a felhasznált anyagok beható vizsgálata után részletesen tanulmányoztuk a kompozitok előállíthatóságát, illetve a különböző összetételek tulajdonságokra gyakorolt hatását. Ennek során megállapítottuk, hogy alapvetően fontos a két anyagrendszer közötti kompatibilitás biztosítása, hogy valóban egy előnyös tulajdonságokkal rendelkező társítás jöjjön létre. Enélkül a két fázis közötti adhéziós kötés nem alakul ki megfelelő mértékben, így azok felhasználhatósága kétséggé válik. Gyakorlatilag nem működik együtt a két fázis. A megfelelő kompatibilitás eléréséhez minden társítás esetén egyedi adalékrendszer alkalmazása szükséges. Ez esetben is, mint korábban számos problémásan társítható rendszerrel, a saját fejlesztésű, szabadalommal védett adalékrendszerünket alkalmazzuk a kompozitok előállításához. Nagyon előnyös tulajdonságként kiemelhetjük, hogy e mellett akár 80 tömegszázalékos portartalom is alkalmazhatónak bizonyult. Természetesen ez a szélső érték már bizonyos mértékben elmaradt a legjobb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező összetételektől. Felmerül viszont a kérdés, hogyha mindkét hulladékból óriási mennyiség áll rendelkezésre, szükséges-e a szélső értékek irányában elmozdulni, ugyanis mérési eredményeink szerint az 50-50 %-os összetételt tekinthetjük a legkedvezőbbnek, mind az anyagfelhasználás, mint a tulajdonságok szempontjából. Azaz megállapítottuk, hogy határ szakterületek együttműködése során felfedezett lehetőség reálisan, kedvező tulajdonságok mellett megvalósítható. A

különböző összetételek, adalékszerek alkalmazása igen széles tulajdonság tárházat eredményez, melyek reálisak. Emellett a nagy mennyiségben rendelkezésre álló hulladékból még előnyösebbé téve, a lehetséges felhasználási területek nagyon sokrétűek. Természetesen az, hogy a fejlesztés nem „csak” egy know-how jellegű ötlet, fémjelzi a szükséges méretnövelési út járhatóságát. Jelenleg nem érhető el olyan technológia, mellyel a bizonyítottan jó tulajdonságokkal rendelkező kompozit anyagrendszer száz- vagy ezer tonnás nagyságrendben gyártható lenne. E feladat megugrása képezi a fejlesztésben résztvevő vállalatok, szervezetek célját. Természetesen a célul kitűzött termék fejlesztése jelenleg a résztvevő vállalatok üzleti titkát képezi, azonban a fejlesztés megvalósítását követően az iparági résztvevőket tájékoztatni kívánjuk, tapasztalatainkat pedig segíteni.



4. ábra Az elkészült kompozit anyagrendszer röntgentomográfiás vizsgálata a homogenitási- és kompatibilitási tulajdonságok meghatározására

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy útkereszteződéshez érkezünk, melynél a jó irányba fordulva, jelen esetben a fejlesztések iránti nyitottsággal előre „menekülve” új, még a jelen körülmények között is gazdaságilag előnyös irányokba indulhatunk el. Nagy tapasztalatot jelent, hogy ilyen helyzetekben a szakterületek, iparágak közötti határterületen találhatók a kiugrási lehetőségek. Így a Pannon Egyetem az iparág számára egy valódi multidiszciplináris innovációs platformot jelenthet, ugyanis a körforgásos gazdasági irányok fejlesztőjeként a hulladékgazdálkodási fejlesztésektől kezdve, a cementipari-, műanyagipari-, foyamatirányítási-, mesterséges intelligencia fejlesztési stb. területeken túl ezek közgazdaságtani vetületeivel is egy helyen, aktívan foglalkozik (piackutatások, üzleti tervek, marketing). Ennek köszönhetően az útépitőiparban felmerülő igényeket komplex módon értelmezni képes, majd számos szakterületet lefedve számtalan szemszögből megvizsgálva fejleszteni tudja. Továbbá lehetőséget ad az ipari körülmények között, gyakorlatilag a frontvonalban, felmerülő problémák megoldási ötleteinek kipróbálására, melyekre nagyüzemi körülmények között a kísérletek kis mérettartománya miatt lehetőség és idő nem áll rendelkezésre.

Feltáráshálózat tervezése

Bakonyerdő Zrt. Bakonybéli Erdészetének területén
a Bécsi-árok és a Kőris-hegy környezetének feltáráshálózat terve

Szerző: Kelemen László, Dr. Péterfalvi József

Kelemen László



Soproni Egyetem
Erdőmérnöki kar

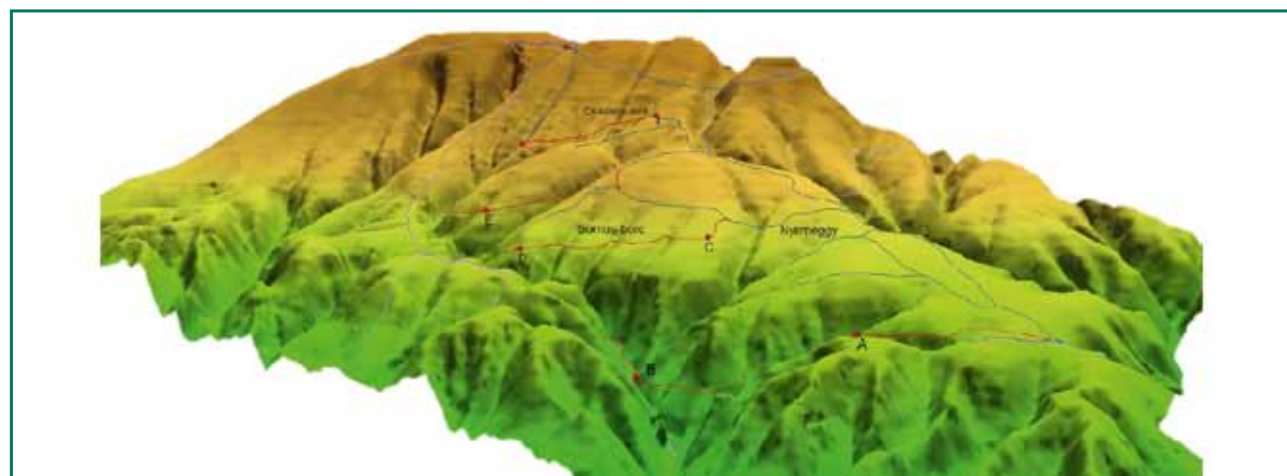
Bevezetés

Amennyiben egy adott erdőben védelmi, vagy gazdasági okból beavatkozás válik szükségessé, úgy alapvető célként fogalmazható meg a kezelés által okozott igénybevételek minimalizálása. Ennek eszköze az erdészeti feltáráshálózat, melyet legjobban a következő definíció ír le.

„Azon közlekedési és anyagmozgatási pályák hálózata, amely a természetközeli, többcélú erdőgazdálkodás feladatait szolgálja.” (Péterfalvi és mtsai., 2011)

Alábbiakban diplomamunkám bemutatásán keresztül szeretnék betekintést nyújtani az erdészeti feltáráshálózatok tervezésének folyamatába.

Munkám során a Magas-bakonyban található Bécsi-árok és Kőris-hegy környezetének feltáráshálózatát terveztem meg, a Bakonyerdő Zrt. Bakonybéli Erdészetének felkérésére.



1. ábra Bécsi-árok és a Kőris-hegy környezete

Terület általános jellemzése

A vizsgált terület 491 ha nagyságú. Vertikálisan a bükkös és a gyertyános-tölgyes klímarégióban helyezkedik el, felszínét a kimélyülő árkok, meredek oldalak és laposabb gerincek váltakozása jellemzi. A meredek oldalakon gyakran erodált talajfelszín és sziklakibúvások figyelhetők meg.

A vizsgált erdőállományokban átlagosan 502 m³/ha élőfakészlet van jelen, melynek nagysága is okot adott a jelenlegi feltáráshálózat felülvizsgálatára. A terület teljes egésze védett, legnagyobb részén védelmi rendeltetés mellett vágásos üzemű gazdálkodás zajlik.

területek elkerülésére és a mellékvölgyek megfelelő keresztezésére is.

A tervezett erdészeti utak nyomvonala az Erdészeti Utak Tervezési Irányelvei (EUTI) alapján, a mértékadó gépjármű és a becsült forgalom figyelembevételével lett meghatározva.

A fentiekben túl a megbízó gazdálkodói érdekeinek figyelembevétele miatt többek között olyan domborzati formák érintésére kellett törekedni, ahol időszakosan fordulót, vagy rakodót lehet kialakítani.

Az új nyomvonalak meghatározásához semleges vonalat kellett tervezni, hogy az igénybevételek csökkentése érdekében a tervezett út tengelyvonala minél inkább a terepszinthez illeszkedjen.

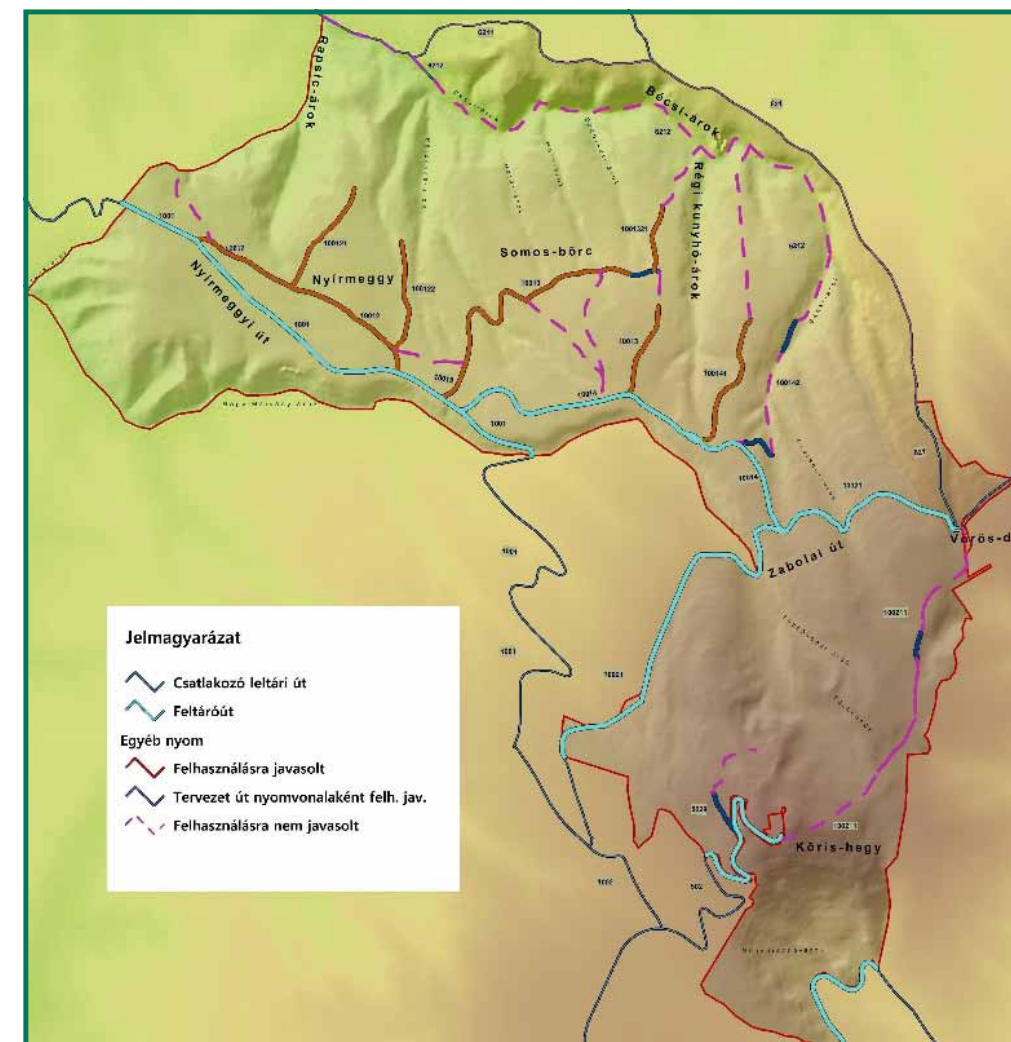
Tervezési alapelvek

Az erdei úthálózat-fejlesztés koncepcionális tervezésénél általánosságban megfogalmazható szempont, hogy a terület közel egyenletes feltárása a lehető legkisebb igénybevétel mellett legyen biztosított.

A terület speciális tulajdonságaiból adódóan a hálózattervezés során törekedni kellett a meredek oldalak feltárásának biztosítására, a fokozottan védett

Meglévő feltáráshálózat értékelése

A meglévő feltáráshálózatot jó állapotú feltárási utak és útnak nem minősíthető egyéb nyomok alkotják. Általánosan jellemző a vizsgált területre, hogy kevésbé meredek részein találhatóak a jó állapotú utak, míg meredek oldalú, mély árkokkal szabdaltsági részein csak erdészeti gépek által kijárt nyomok lelhetőek fel



2. ábra Meglévő feltáráshálózat

1. táblázat Meglévő feltáráshálózat összefoglalása a jelenlegi útkategóriák szerint

Jelenlegi útkategória	Feltárási út	Egyéb nyom	Összesítés
	m		
További felhasználásra nem javasolt	0	7 487	7 487
További felhasználásra javasolt	7 202	4 052	11 254
Összes	7 202	11 539	18 741

A területen fellelhető nyomvonalak közül a feltárási utakat (koronaszélesség: 5,00 m, burkolatszélesség: 3,50 m) jelenlegi formájukban felhasználhatók. Az egyéb nyomok közül további felhasználásra javasoltak azok, melyeknek helyszínrajzi és magassági vonalvezetése megfelelő. A meglévő hálózat jelenlegi állapotában nem teszi lehetővé a jövőben tervezett erdőgazdálkodáshoz szükséges területfeltárást. Ezért a további felhasználásra javasolt egyéb nyomok vonalán kiszállítóút (tervezési sebesség nélküli alsóbbrendű erdészeti út, melynek koronaszélessége 3,50-4,00 m) építése javasolt, valamint új útvonalak kialakítása szükséges.

Feltárási koncepció

A feltárási koncepció rögzíti a feltáráshálózat vonalait mentén a változó körülményeknek legjobban megfelelő feltárási eszközök sorozatát (Kosztka, 2000). A feltárási koncepciót az alkalmazott felhasználási technológiákhoz igazítottan terveztem meg. A vizsgálat során a kötélpályás közelítés lehetőségét nem vettem figyelembe, mivel a technológia alkalmazása a tapasztalatok alapján nem rentábilis. Emiatt a meredek oldalak feltárásnál is a csőrlős vonszolót tekintettem releváns közelítő eszköznek. A finomfeltárási vizsgálata alapján megállapításra került, hogy olyan völgyoldalak esetében szükséges erdészeti út építése a területfeltárási biztosítása érdekében, ahol az oldalesés meghaladja a 35%-ot, az oldalhossz pedig nagyobb 170 méternél.

A feladatmegoldás menete

Az előzetes információgyűjtést követően a terület és a meglévő feltáráshálózat felmérését végeztem el. Az állapotfelmérés során az útleltári útkategóriák felülvizsgálata, további felhasználásuk lehetősége és módja lett meghatározva.

A begyűjtött információk alapján a hálózatfejlesztés első ütemében ki lettek jelölve a tervezett nyomvonalakkal elérendő kardinális pontok. A pozitív kardinális pontok a domborzati viszonyok és stratégiai szempontok alapján lettek kitűzve.

A hálózatfejlesztés második ütemében az új nyomvonalak alapját képező semleges vonalak kétlépcsős tervezése következett. Első lépésként a TopoXmap térinformatikai programba importált domborzatmodell alapján lett meghatározva az adott semleges vonal. A második lépésben a semleges vonal terepi felkeresése és kitűzése következett, a meghatározott osztóköz és a hosszúság adatok alapján. A terepi méréseket Möller-féle zseblejtűzővel végeztem.

A domborzatmodell pontatlansága miatt többször ismételni kellett a fenti folyamatot a tervezési szempontoknak megfelelő végleges semleges vonal kialakítása érdekében.

A semleges vonal véglegesítéséhez a töréspontok EOV koordinátái lettek bemérve.

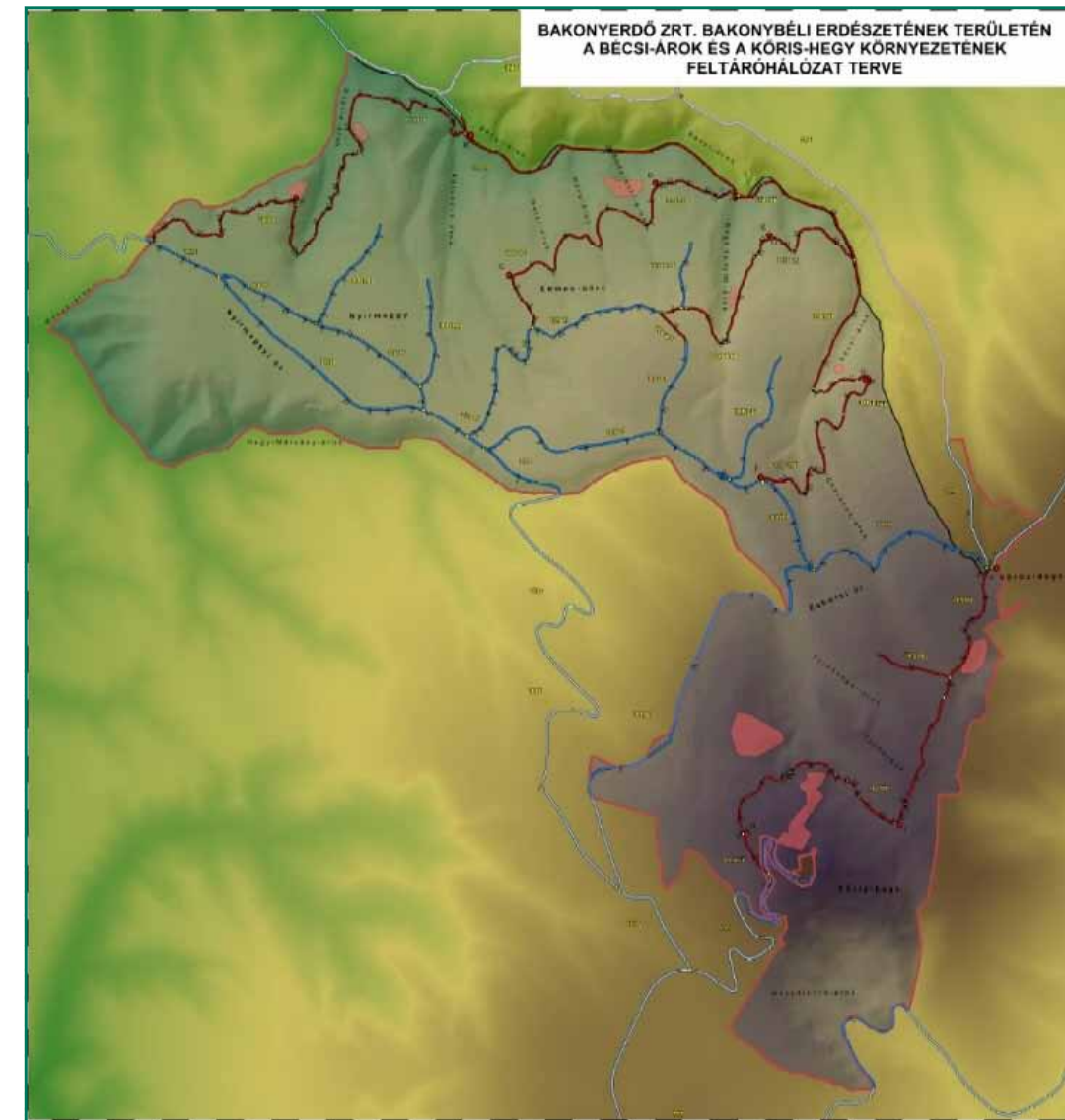
A terepi mérés során szükségessé vált a Csalános-árok kiszállítóút megvalósíthatóságának vizsgálata és a főbb árkok hidrológiai vizsgálata.



3. ábra Egyéb nyom és a II. osztályú feltárási út

A tervezett feltáráshálózat

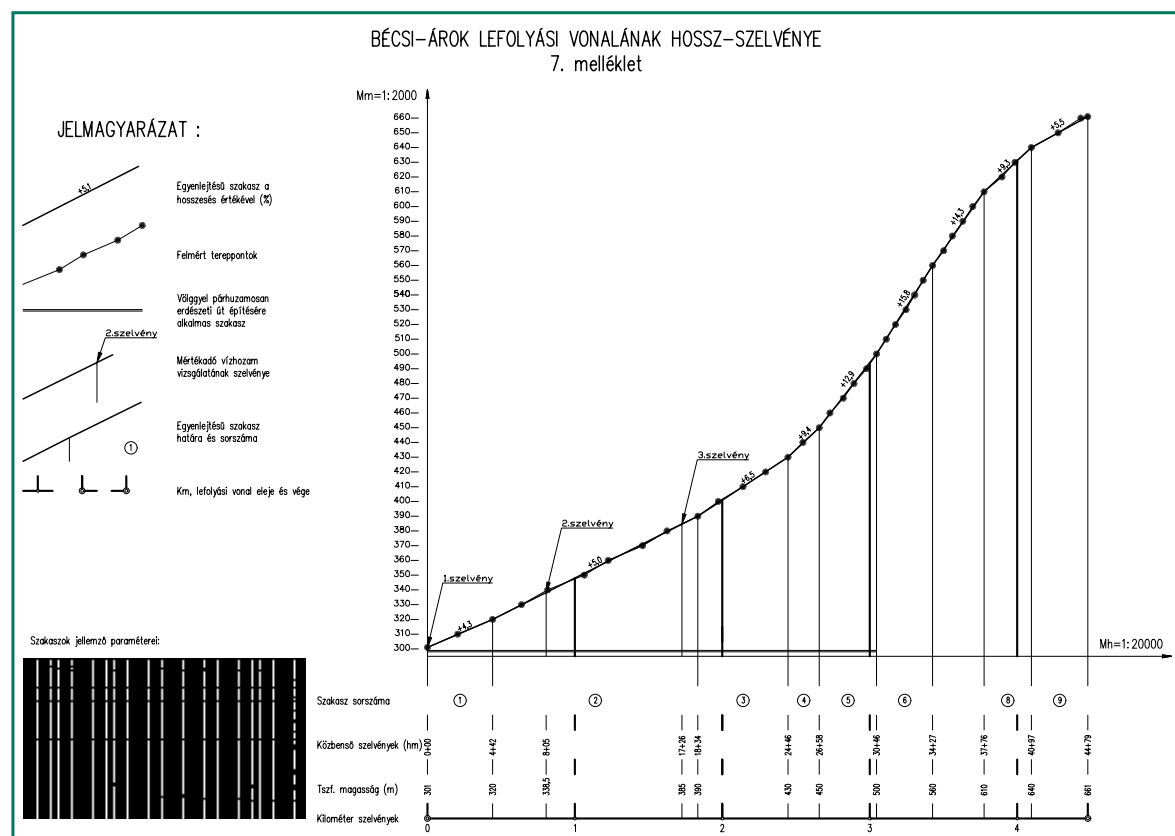
A tervezett erdészeti utak elhelyezésénél törekedtem a már meglévő, megfelelő helyszínrajzi és magassági vonalvezetésű egyéb nyomok felhasználására is, így 643 m hosszan használtam fel egyéb nyom nyomvonalát. Ezen szakaszok hosszát a 2. táblázatban feltüntetett tervezett erdészeti utak tartalmazzák.



4. ábra Tervezett feltáráshálózat

2. táblázat Tervezett feltáráshálózat útosztály szerint

	II. osztályú feltárási út	Kiszállítóút	Összesen
Meglévő erdészeti út	7 202	-	7 202
Meglévő egyéb nyom, amely fejlesztésre javasolt	-	4 052	4 052
Tervezett erdészeti út	2 146	8 711	10 857
	19,8%	80,2%	100,0%
Tervezett feltáráshálózat	9 348	12 763	22 111
	42,3%	57,7%	100,0%



5. ábra Bécsi-árok medervonalának hossz-szelvénye

A feltáráshálózat kialakításához elengedhetetlen a Bécsi-árokban való közlekedés biztosítása. Az időjárástól független közlekedés megteremtése érdekében a megfelelő hosszúsággal rendelkező mederfenékvonallal párhuzamosan, az oldalba kiemelve javasolt kiszállítóút létesítése. Az úttengely mederfenéktől való függőleges távolsága a mértékadó vízhozam ismeretében az adott kereszt-szelvényben határozható meg. Az említett tervezett út közelítő pontosságú rögzítéséhez a Bécsi-árokban keletkező mértékadó vízhozam vizsgálata vált szükségessé, melyre legalkalmasabbnak a racionális módszer bizonyult. Ez a módszer a jelenlegi időjárási viszonyok mellett elsősorban következtetések levonására alkalmas. A vizsgálat a Bécsi-árok

vízvezetés szempontjából kritikusnak vélt szelvényében készült. Pontosította az eredményt a lefolyási vonal hossz-szelvény szerinti vizsgálata, valamint a Kenessey-féle és a Markó-féle táblázat alapján kapott lefolyási tényezőkkel végzett számítások.

A feltáráshálózat tervezés szempontjából a kapott értékek alapján megállapítható, hogy már a Bécsi-árok felső szakaszában is nagy gondot kell fordítani a tervezett útvonal kiemelésére, valamint a töltés vízerózió elleni védelmére. Ezen felül megállapítható, hogy a vízvezetés az összes mellékvölgy és tervezett út keresztezésében megoldható töltésbe épített csőáteressel, tehát kishíd építése nem szükséges.



6. ábra Bécsi árok

Csalános-árok kiszállítóút kritikus fordulójának vizsgálata

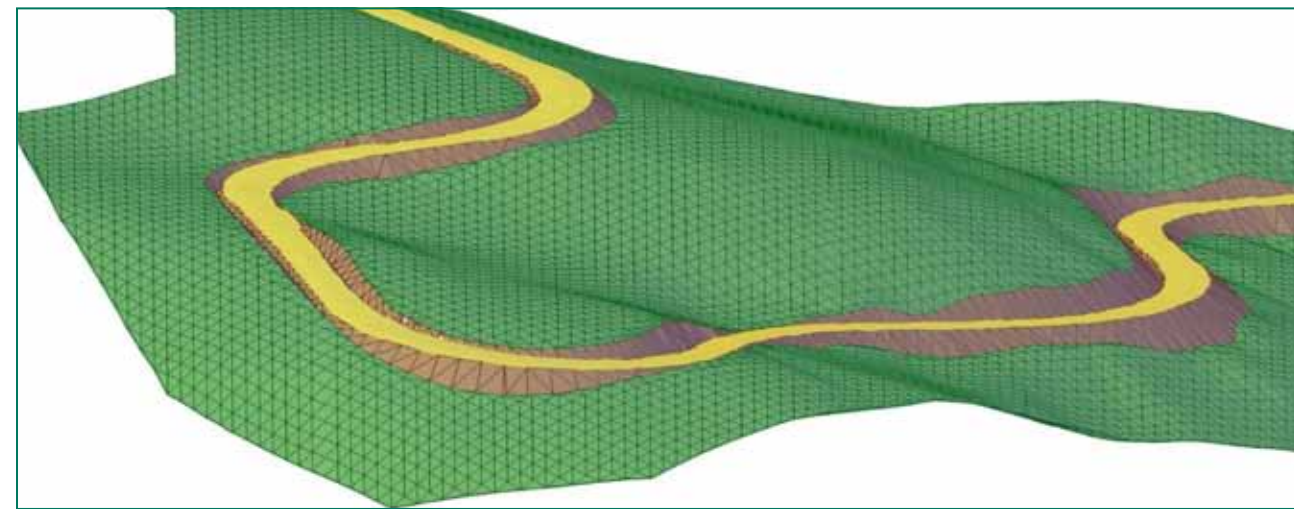
Az 100142T jelű Csalános-árok tervezett kiszállítóút vonalvezetésének tervezését jelentősen korlátozták az erősen szabdalt terepviszonyok. A lehetőségeket felmérve konzulenseimmel arra a következtetésre jutottunk, hogy hegyoldali forduló kialakítása szükséges.

A jelölt terület egy keskeny gerinc, melyen megkérdőjelezhető a pótkocsis tehergépkocsi paramétereire tervezett, kiszállítóút minőségű forduló megépítése. Ezért a vonalvezetés rögzítése érdekében megvizsgáltuk a tervezett út kritikus szakaszának vízszintes és magassági vonalvezetését.

A terv alapján megállapítható, hogy a kiegyenlített földtömegeloszlás mellett a kiszállítóútnak megfelelő helyszínrajzi és magassági vonalvezetéssel megépíthető a Csalános-árok kiszállítóút kritikusnak vélt speciális hegyoldali fordulója. A terv elkészítéséhez a Soproni Egyetem Földmérési, Térképészeti, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézetének közreműködésével fejlesztett maCADam úttervező programot és az AutoCAD mérnöki tervező szoftvert alkalmaztuk.

Összefoglalás

A 491,4 hektárnyi lehatárolt területet feltárási utak hossza 7202 m-ről 22 111 m-re növekedett, így feltárási mutatója 14,66 fm/ha-ról 44,99 m/ha-ra változott. A tervezett feltáráshálózat a jövőben épülő erdészeti utak alapjául szolgálhat.



7. ábra Csalános-árok kiszállítóút speciális hegyoldali fordulója

Felhasznált irodalom

- Digiterra Geoinformatikai Rendszerház Kft.: Digiterra Map Felhasználói Kézikönyve, Budapest
 KISFALUDI B. (2014): Erdészeti utak környezeti hatásai, Útügyi lapok, 2. (4)
 KOSZTKA M. (2000): Erdőfeltárási és természetközeli, többcélú, többtulajdonosú erdőgazdálkodás feltételei között, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron.
 KOSZTKA M. (2009): Erdészeti Útépítés, Erdészeti Utak Építése, Országos Erdészeti Egyesület, Budapest
 KOSZTKA M. – PÉTERFALVI J. (2001): Erdészeti Utak Tervezési Irányelvei, Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Budapest
 KOSZTKA M. – RÁCZ J. (2012): Erdészeti Útépítés, Erdészeti Úttervezés, Országos Erdészeti Egyesület, Budapest
 KUČSARA M. (1995): Erdészeti Vízgazdálkodástan Gyakorlati Útmutató, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron
 PÉTERFALVI J. (2011): Kutatási jelentés, NymE-ERFARÉT Nyugat-magyarországi Egyetem Erdő- és Fahasznosítási Tudásközpont Nonprofit Kft.
 O. SEDLAK (1993): Walderschliessung und Naturschutz, Österreichische Forstzeitung, 7. 10-12.

Tények és tévhitek a 3-as metró rekonstrukciójával kapcsolatban

Plicher Bálint



építésvezető
Swietelsky Magyarország Kft.

Bevezetés

Internetes fórumokon rengeteg tévhit kering azzal kapcsolatban, hogy miről is szól egy rekonstrukció. Elméleti szinten (tévesen) a lakosság nagy része sokkal könnyebb munkafolyamatokhoz társítja egy meglévő metróvonal felújítását, mint egy új építést, illetve a projekt összetettségét is komoly homály övezi.

A Budapest M3 metróvonal építése 1970-1990 között valósult meg, amely az alagútrendszeren felül összesen 20 állomás építését jelentette. A 20 állomás közül 13 felszínhez közeli, 7 pedig mélyépítésű kialakítású.

A vonal rekonstrukciója 2017-ben kezdődött, több építési szakaszra bontva. Az állomások alapterülete megközelíti a 200.000 négyzetmétert, melyekhez hozzáadódik a teljes alagútrendszer, illetve az azokból nyíló vonali- és állomási főszellőző helyiségcsoportok, melyek a vonal légmozgását biztosítják.

Hogy néz ki a rekonstrukció egy állomás szemszögéből?

A metróépítés egy rendkívül speciális ágazat az építőipari tevékenységeken belül. Egy állomás építési feladatai 30% építészeti és 70% elektromos-gépész (szakági) arányban oszlanak fel. Ez azt jelenti, hogy az utasforgalom által látott, érzékelt, és használatba vett területek mindössze 30%-át képzik a teljes állomás alapterületének, a maradék 70% üzemi helyiség (Lehel téri állomás alapterülete pl. ~11.000 m², melyből ~3000 m² utasforgalom által használt, ~8000 m² pedig üzemi helyiség). A tényleges mérnöki kihívások, és munkavégzések leginkább az utóbbi területekre esnek.

Minden állomáson találhatók polgárvédelmi helyiségek, melyek háborús konfliktus esetén a lakosság védelmét hivatottak ellátni. Ezeket a helyiségcsoportokat (mosdók, zuhanyzók, gépházak) a felújítás ideje alatt meg kell óvni. Tehát, ha egy légtechnikai elem vagy elektromos kábel polgárvédelmi helyiségbe van bekötve, akkor ezeknek a szerelvényeknek az építési területre eső részeit is meg kell védeni.

Állomásokon nem csak építészeti, hanem szerkezeti beavatkozást is kell végezni; lépcsők, födém szerkezetek, gépalapok kerülnek elbontásra, melyek helyére új felvonók, mozgólépcsők, légcsontrák és egyéb összetett szerkezetek épülnek, továbbá az állomásokra betörő talajvizet is meg kell szüntetni a vízszigetelések kijavításával.

Legegyszerűbben úgy lehetne összefoglalni, hogy **nem felújítás, hanem átépítés történik.** Ez a 30%.

A fentiek felül korszerűsíteni, és átépíteni kell a teljes gépészeti és elektromos rendszereket, hálózatokat. Ez a 70%.

Ami nem tartozik egy állomás hatáskörébe, az az alagúti pálya- és elektromos gépészeti rendszerek cseréje, amely szintén rendkívül összetett feladat. Erre Megrendelő külön Vállalkozót jelölt ki.

Miben különbözik egy meglévő metróvonal felújítása egy új építésétől?

Az alapvető Mérnöki feladatokhoz rengeteg többletmunka adódik. Az előkészítési feladatok több hónappal megtolják a kivitelezési időt. A leglényegesebb különbségek a következők:

Feladatok	Meglévő metró	Új metró
Épület feltérképezése: A kivitelezés megkezdése előtt mindig meg kell győződni róla, hogy az épület a rendelkezésre bocsátott tervek alapján épült. Pl.: könnyen lehet, hogy egy bontásra ítélt, ránézésre nem teherhordó falazat, mégis teherhordó szerepet tölt be. A tragédia megelőzése érdekében ez nagyon fontos eleme a folyamatnak.	✓	✗
Építési korszak megismerése: Az építési technológia rendkívül sokat változott és fejlődött 30-40 év távlatában. Sok olyan szerkezettel lehet találkozni, amelyek a mai követelményeknek már egyáltalán nem felelnek meg.	✓	✗
Szerkezetdiagnosztika: Elsősorban meglévő szerkezetek roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálata. Pl.: gépészeti rendszerek átvezetéséhez szükséges földmátfúrásoknál a betonban lévő vasak pontos pozícióinak a meghatározása, hogy vágás/fúrás során a födém teherbíró képességét a lehető legkisebb mértékben befolyásoljuk. Ennek fő kiváltó oka a bizonytalanság, illetve az előző kettő részfolyamat következménye.	✓	✗
Közlekedő szerelvények: Talán a legnagyobb hátráltató tényező. Úgy kell a munkavégzést megszervezni, hogy a vonatforgalmat ne akadályozza.	✓	✗
Időablakok: Az az időintervallum, amikor feszültség alá helyezik a pályát a vonatforgalom számára. Ez a pálya építésének előrehaladásával egyidejűleg állandóan változik. Feszültség alatt lévő pályán és környezetében munkát végezni tilos.	✓	✗
Rejtett hibák és költségek: Számítatlan olyan plusz munka adódik, amely a szerződéskötést megelőzően nem volt látható. Pl.: egy elbontott álmennyezet, vagy oldalfal burkolat mögött olyan tönkrement szerkezeteket lehetnek, melyek felújításáról nem rendelkezik a szerződés. A helyreállítást ilyenkor meg kell tervezni, továbbá kérvényezni kell az ebből adódó többletköltségek megtérítését, amely időigényes feladat. (1.kép)	✓	✗
Bontani kell: Ez egy egyértelmű munkafolyamat. Építés megkezdése előtt több hónapig bontások zajlanak.	✓	✗
Ideiglenes áramellátás: Olyan ideiglenes áramellátási rendszert kell kiépíteni, amely az építés ideje alatt biztosítja az állomás ellátását, továbbra elegendő áramot biztosít a vonatforgalom áthaladására. Ennek kiépítési ideje min. 1 hónap. Az áramellátási rendszerek bontásai csak ezt követően kezdődhetnek meg.	✓	✗
Meglévő rendszerek védelme: Ilyen megóvandó rendszerek lehetnek a különböző szakszolgálathoz tartozó elektromos szekrények, melyeket a bontási munkálatok előtt szintén be kell azonosítani, mert sérülés esetén komoly anyagi terheket rónak a Vállalkozóra.	✓	✗
Kábelazonosítások: Az állomásokon több ezer km hosszúságú kábelkötegek haladnak keresztül. Ezeknek a kábelnek egy részét el kell bontani, másik részét meg kell óvni, azaz mindegyiket egyenként be kell azonosítani, hogy honnan indul és mit táplál meg. Egy éppen feszültség alatt lévő, vagy megóvandó kábel átvágása halálos baleseten kívül komoly anyagi károkat is okozhat. (2. kép)	✓	✗
Földmunka: Természetesen meglévő metró esetén egyáltalán nem, vagy csak kis mértékben kell földmunkával számolni pl.: közműfelújítások esetén. Értelemszerűen itt a kivitelezési időtartam az új metró építésének oldalára billen.	✗	✓
Szerkezetépítés: Alapvetően új metró esetén lényegesen több szerkezetépítési feladat van, de meglévő esetén nem csak építéssel, hanem bontással is kell számolni.	✓	✓
Tervezési feladatok: Meglévő metró esetén nem csak építési, hanem bontási és üzemeltetéssel kapcsolatos terveket is kell készíteni.	✓	✓

1. táblázat – Meglévő felújítása és új metróvonal építése közötti főbb különbségek

Milyen egyéb munkavédelmi kihívások jelentkeznek a projekt során?

Munkavédelmi szempontokból az egyik legnagyobb kihívást az azbeszt jelenti. A 3-as metró építése ideje alatt előszeretettel alkalmazták kábelátvezetések vagy egyéb hézagok tömítésére, szigetelésére. Por és kötött állapotban is jelen van. Az azbeszt beazonosítását laborvizsgálatok teszik lehetővé. Amennyiben a mintavétel pozitív eredményt ad, úgy az érintett területen (másnéven zónában) addig tilos bármiféle munkavégzés,

ameddig a mentesítés nem történik meg. Ezeket a területeket hermetikusan elzárják az építési területektől.

Bontási munkálatok során megfelelő minőségű por-maszkot kell használni, mivel az azbeszten kívül grafitpor is lerakódott a felületekre, mely a vonat fékezéséből keletkezik. Építés ideje alatt nem működnek az állomás szellőztetését biztosító berendezések, ezért a levegő mozgását ideiglenes szellőzőberendezésekkel kell megoldani.

Szintén fontos, hogy az időablakok előtt le kell jelenteni a Központi Forgalmi Menetirányításnak (röviden: KFM), hogy

a vágányteret és az alagutat minden munkavállaló elhagyta és a pálya feszültség alá helyezhető. Ezt a helyi építésvezetésnek kell megtennie minden nap. Ez rendkívül nagy felelősség.

Organizáció

A munkavégzést úgy kell megszervezni, hogy az a buszpótlást, vagy az aluljáró utasforgalmát egyáltalán ne zavarja. Emiatt sok esetben felszínről történő betonozás kedvezőtlen, mivel nappal az aluljárón keresztülhúzott betoncsövet az utasok nem lépkedhetik át, éjszaka viszont csak külön zajhatárérték túllépési engedéllyel lehet munkát végezni, de többnyire számolni kell a lakossági panaszokkal, feljelentésekkel. Szintén körülményes a mélyépítésű állomásokra történő betoncső lejuttatása, tehát lényegében a kézi betonozás részesül előnyben, amely sokkal időigényesebb feladat, mint a mixer kocsiból történő betonozás.

Anyag be- és kiszállítás elsősorban dízel mozdonyokkal történik. Mivel a dízelmozdonyok száma erősen korlátozott, ezért egy állomás, egy hét alatt átlagosan kétszer tud szállítani. Ez főként a mélyépítésű állomások esetén igényel gondos szervezést, hiszen olyan mélyen helyezkednek el a felszín alatt, hogy a felszínre történő anyagmozgatások szinte lehetetlenek. Ilyenkor szállításig általában a peronszinten halmozódik a sít, vagy az építőanyag, melyek a munkavégzést korlátozzák.

Sok állomás nem rendelkezik gépleadó nyílásokkal, amelyek a felszínről történő gépleadást biztosítanák, ezért egy elszeparált területre berendezéseket csak további nem tervezett fal-vagy földémszakaszok kibontásával lehet beszállítani. (3.kép)

Munkák szervezése során minden építési tevékenységet úgy kell ütemezni, hogy elsősorban az áramellátási, és elektromos igények legyenek kiszolgálva, hiszen ez adja a rekonstrukció magját. Minden állomás műszaki átadási procedúrája üzempróbákkal kezdődik, melyek több hónapot vesznek igénybe, megbizonyosodva arról, hogy minden rendszer kifogástalanul működik, és átadható



2. kép: Azonosításra váró kábelköteg

az utasforgalom részére. Építésszerűen hiába van kész az állomás, ameddig az üzempróbák nem futnak le sikeresen, az állomás nem vehető használatba. Először az áramellátási (magasfeszültségű) hálózatokat tesztelik, melyek ha megfelelnek, követik a hagyományos elektromos rendszerek, végül beindíthatóak a gépészeti berendezések, illetve azok üzempróbái.

Minderre mennyi idő áll rendelkezésre?

Mélyépítésű állomások esetén a kivitelezés időtartama ~24 hónapra, míg a felszínhez közeli állomásoké ~8 hónapra lett előirányozva. Ezeket az időtartamokat nagyban befolyásolja a kivitelezés közben észlelt további műszaki hibák mennyisége.

Szerződésben meghatározott határidő a teljes vonal felújítására: 2023 tavasza.



1. kép: Rejtett szerkezeti hibák



3. kép: Gépleadó nyílás hiánya

A burkolatok fáradásos károsodásának elemzése autonóm tehergépkocsik esetén

Szerzők: Mohammad FAHAD, Richard NAGY

Mohammad FAHAD



Széchenyi István Egyetem
Építész-, Építő- és
Közlekedésmérnöki Kar

1. Bevezetés

Az autonóm teherautók autópályákon való használata számos módon befolyásolhatja a közlekedési infrastruktúrát az üzemanyag-hatékonyság és a közlekedésbiztonság javítása szempontjából. Vannak azonban kritikus hatások a útpályaszerkezet fáradásos károsodásával kapcsolatban. Megállapítható, hogy az autonóm teherautókat úgy programozzák, hogy a forgalmi sávot oldalirányú mozgás nélkül használják, ami a terhelések fokozott koncentrációját okozza a keréknyom alatt [1]. Másrészt az ember által vezetett tehergépkocsik a sávon belüli keresztirányú normál eloszlási mintázatot követik [2].

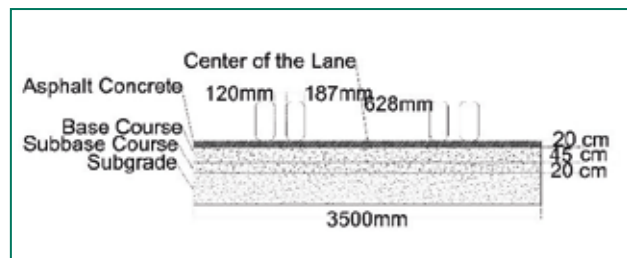
A fáradásos károsodás a rugalmas és merev burkolatokban jelentkező károsodások egyik fő formája [3]. A fáradási repedések a burkolatokban a burkolatokat érő halmozott forgalmi terhelés következtében keletkeznek [4-6]. Az aszfaltburkolatok fáradásos károsodása nagymértékben függ a hőmérséklet és a megfelelő feszültségi feszültség szintek változásától [7-9]. Mivel az ember által vezetett tehergépkocsik soha nem használják ki a sáv teljes szélességét, ezért a koncentrált terhelés ismétlődése a keréknyom keskeny szakaszán megnő. Ezért a terhelések nagyobb mértékű felhalmozódása ugyanazon a ponton fáradási repedések kialakulásához vezethet, ami az útpályaszerkezet idő előtti tönkremenetelét eredményezi. Ráadásul a fáradási repedések sokkal gyorsabban alakulnak ki az alacsonyabb burkolathőmérsékletű régiókban, téli éghajlati viszonyok között [8].

Gungor et al. [9] rugalmas burkolattervezési keretrendszert dolgozott ki Wander 2D néven az autonóm tehergépkocsik sávon belüli oldalirányú lefedettségének optimalizálására. Az ajánlott keretrendszert a Mechanistic-Empirical Pavement Design Guideline (MEPDG) alapján alkalmazták. A kutatás azzal zárult, hogy a MEPDG használható az autonóm tehergépkocsik oldalirányú vándorlási hatásainak meghatározására. Noorvand et al. [2] az ember által vezetett és autonóm tehergépkocsik különböző oldalirányú vándorlási módjai és a forgalom összetétele által okozott hatásokat vizsgálta. Az elemzést a MEPDG szoftverrel végezték. A kutatás arra a következtetésre jutott, hogy az autonóm tehergépkocsik (AT) minimálisan ajánlott aránya 50% a forgalom összetételében, egyenletes oldalirányú vándorlási mód esetén. Hadian és munkatársai [10] 3D-s végeelemes (FE) modellt használtak a fáradási repedések előrejelzésének vizsgálatára szintetikus aszfaltburkolatokban. A húzófeszültséget az útburkolat legalsó részén mérték. Ezenkívül az egymást követő burkolatrétegek közötti súrlódást is módosították, hogy mérjék annak hatását az alakváltozásra és a fáradásos repedésre. Megállapították, hogy az anyagrétegek rugalmassági modulusának növelése kis mértékben csökkentheti a húzófeszültséget, és a fáradási repedések a merevebb aszfaltbeton (AC) keverékekben jelentkeztek. Chen és munkatársai [11] 2D-s FE-modellt használtak az autonóm tehergépkocsik különböző oldalirányú vándorlási módjainak a meghatározására és a fáradási repedésekre gyakorolt hatásának értékelésére. A fáradási repedések meghatározásához a Palmgren-Miner lineáris károsodási hipotézist [11] használták

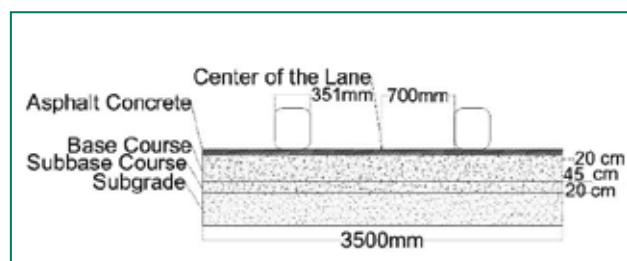
2. Kutatásmódszertan

E tanulmányban a modellező feltér egy 3,5 m széles sávú útburkolatot, de mivel a burkolat és a gumibroncsok helyzete szimmetrikus, az elemzés során csak a sáv szélességének felét, azaz 1,75 m modell szélességgel történik a vizsgálat. Két gumibroncstípus került vizsgálatra az útburkolatra ható terhelés nyomásának kifejtésére, mivel a terhelés eloszlása a gumibroncs alatt nem egyenletes [12].

A fáradásvizsgálathoz egy típus útszerkezet lett felhasználva, amely burkolatból, burkolat alpból, földmű felső részéből és altalajból állt.



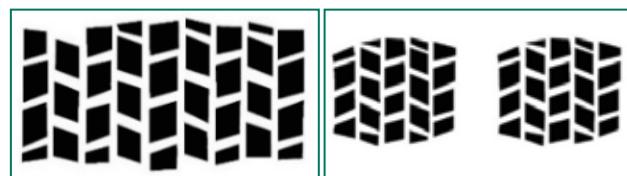
1. ábra - Kettős gumibroncs (iker) és az útszerkezet ábrázolása



2. ábra - Szuperszéles gumibroncs és az útszerkezet ábrázolása

2.1. Kerékterhelés és konfigurációk

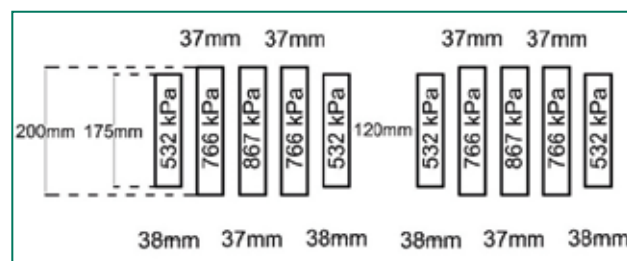
Az alkalmazott gumibroncstípusok a Michelin által kifejlesztett 455/55R22.5 méretű szuper széles alapbroncs és a Goodyear által kifejlesztett G159A-11R22.5 méretű hagyományos kettős gumibroncs (iker kerék). A két, eltérő érintkezési nyomással és oldalméretekkkel rendelkező gumibroncstípus használata előnyös lenne az érintkezési feszültségek elemzése során különböző vándorlási módok és sebességek esetén, amint azt a 3. és 4. ábra mutatja.



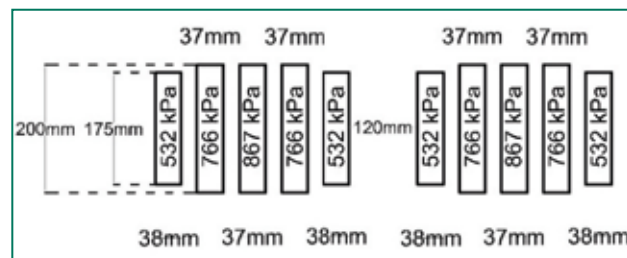
3. ábra - A szuper széles gumibroncs keréknyoma

4. ábra - A kettős gumibroncs (iker kerék) keréknyoma

Mivel bebizonyosodott, hogy a gumibroncsnyomás eloszlása a gumibroncs alatt nem egyenletes [14-16]. Ezért az adatok a [12]-ből kerültek felhasználásra és beépítésre ebbe a tanulmányba. Az egyes gumibroncs-konfigurációk keréknyomai az 5. és 6. ábrán láthatók.



5. ábra - A szimulációkban használt Goodyear G159A-11R22.5 kettős gumibroncs keréknyomának burkolatra kifejtett terhelési részletei



6. ábra - A szimulációkban használt Michelin 455/55R22.5 szuper széles gumibroncs keréknyomának burkolatra kifejtett terhelési részletei

2.2. Adatelőkészítés az ABAQUS-hoz

A validált burkolatanyag-paraméterek Cheng et al. [14]-ból származnak, és az 1. táblázatban láthatók.

1. Táblázat - Modellezéshez használt anyagtulajdonságok

Rétegtípus	Vastagság (cm)	Rugalmassági modulus (kPa)	Poisson szám
Aszfalt	20	950000	0.41
Burkolat alap	40	500000	0.35
Földmű felső rész	20	350000	0.35
Altalaj	-	60000	0.4

A 12 tonnánál nagyobb tömegű járművek esetében három különböző sebességet (5 km/h, 50 km/h és 80 km/h) feltételeztünk, amelyek részleteit a 2. táblázat tartalmazza.

2. Táblázat - A sebesség kiválasztásának kritériumai

Sebesség	Szenárió
5 km/h	Az autópályák forgalmi torlódásának/balesetének szimulációja
50 km/h	A nehéz tehergépjárművek sebességkorlátozása a városi utakon/az útépitési zónákban való áthaladásakor
80 km/h	A nehéz tehergépjárművek névleges sebessége a vidéki autópályákon

Az ABAQUS-ban használt terhelési idő a [15]-ben említett módszerrel lett kiszámítva, ahol a gumibroncsok nyomvonalának mérete és a szimulált autonóm teherautók 5 km/h, 50 km/h és 80 km/h sebessége alapján lett meghatározva a terhelés időtartama is. A nulla keresztirányú vándorlási és az egyenes keresztirányú vándorlási mód esetében is minden egyes lépésre ki lett számolva a terhelés és annak hatása. A nulla vándorlási mód két terhelési lépésből, míg az egyenes vándorlási mód összesen hat lépésből lett felépítve.

2.3. 3D-s végelelemes modell

Egy 3D-s modellt lett kialakítva, amelynek hosszanti és oldalsó méretei 1,75 m x 1,75 m. Mivel a kettős és az egykerekű gumibroncsok szimmetrikusak, ezért a végelelemes elemzésnél a burkolat szélességének fele lett figyelembe véve. A modell teljes mélysége 4,8 méter, amely magában foglalja az összes figyelembe vett burkolatréteget. Mindkét modell hálósűrűsége és elemmérete azonos, hogy az eredmények az összehasonlítás érdekében maximális pontosságúak maradjanak. A modell elemtípusa CPE8R. A modell összesen 25584 elemet tartalmaz, 120-as elemmérettel a nagyobb pontosság és a megfelelő számítási idő érdekében.

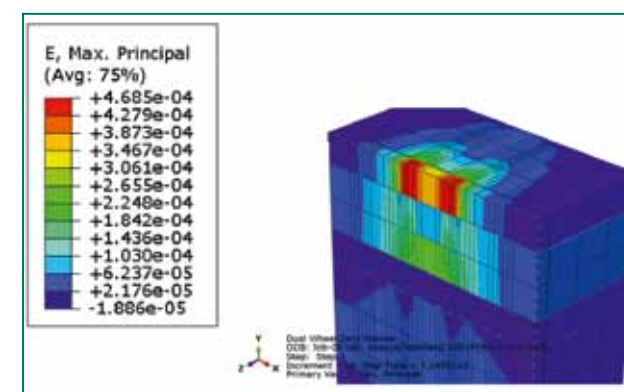
A 7. ábra mindkét modell hálójának kialakítását mutatja.

A rétegek kölcsönhatását a burkolaton belül normál felület-felület érintkezésként lett kialakítva. A peremfeltételek esetében a csomópontok a normál irányok mentén szabadon mozoghattak, de a rájuk merőleges vízszintes irányokban korlátozva voltak. A modell alján a mozgás mindhárom irányban korlátozott volt.

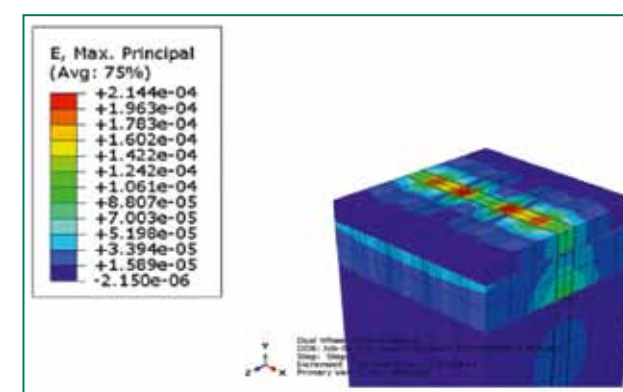
A 8. ábra a kettős gumibroncsra és a szuperszéles gumibroncsra vonatkozó terhelést és peremfeltételeket mutatja.

3. Eredmények és értelmezésük

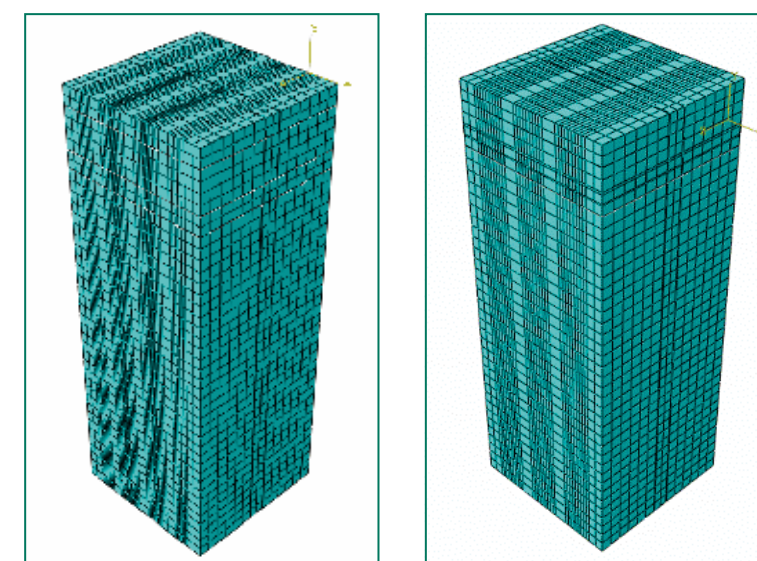
Az ABAQUS-ból származó szimulációs eredményeket 50 km/h sebességgel kerülnek bemutatásra, nulla keresztirányú vándorlási és egyenes keresztirányú vándorlási üzemmódok, kettős gumibroncs és szuperszéles gumibroncsok esetén. A szimuláció összesen 30 millió gumibroncs áthaladásra lett tervezve és elvégezve. Észrevehető különbség figyelhető meg a kettős gumibroncsra kapott szimulált alakváltozási értékek és a szuperszéles gumibroncs eredményei között. A 9. és 10. ábrán az látható ahogy a teherhatások egyenes eloszlása miként változik a kerékút mentén a széles gumibroncs esetében. Az aszfaltreteg alatti maximális alakváltozási értékek 45%-kal csökkennek egyenes vándorlás esetén.



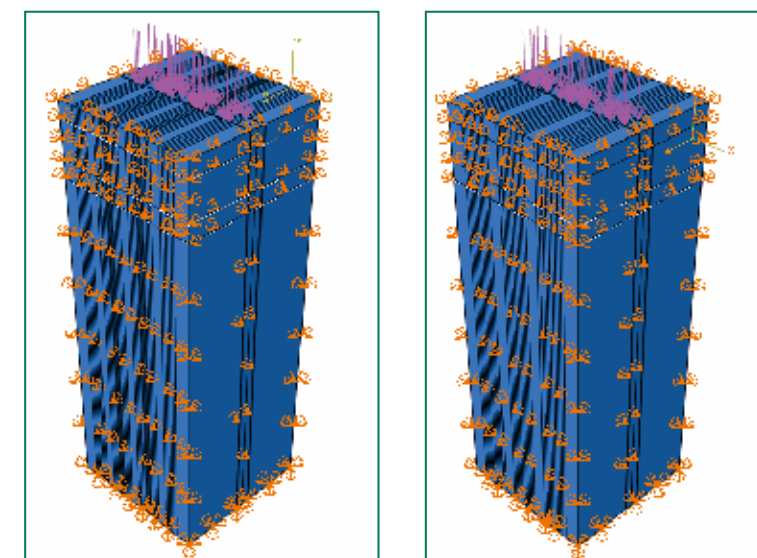
9. ábra - Szimulációs eredmények 50 km/h sebességgel, kettős gumibroncs, nulla keresztirányú bolyongás esetén



10. ábra - Szimulációs eredmények 50 km/h sebességgel, kettős gumibroncs, egyenes keresztirányú vándorlási esetén



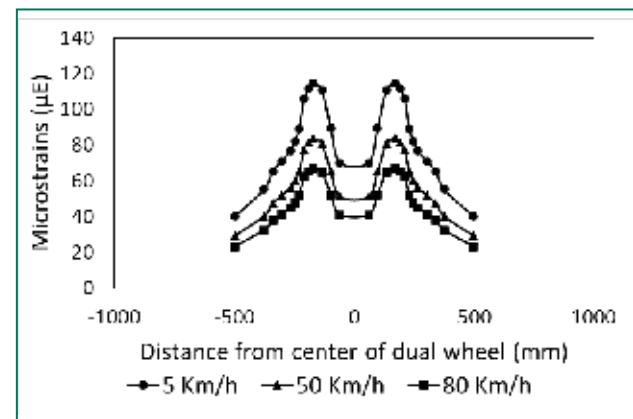
7. ábra - A háló részletei a kettős gumibroncsra (balra) és a szuperszéles gumibroncsra (jobbra)



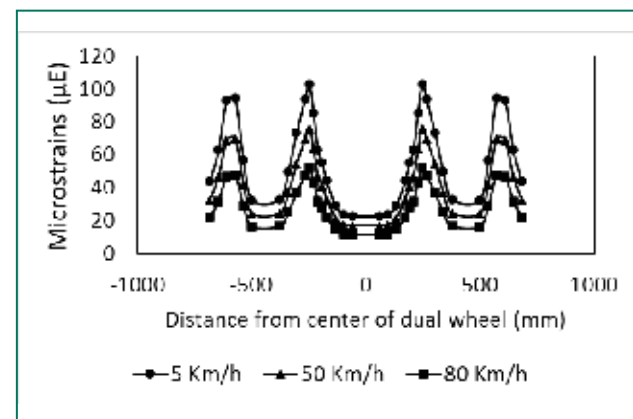
8. ábra - Terhelés és peremfeltételek a kettős gumibroncs modellhez (balra) és a széles gumibroncsos modellhez (jobbra)

A 11. ábrán látható, hogy 5 km/h sebességnél a legnagyobb, 115 microstrain alakváltozási értéket szenved az aszfaltreteg alsó síkja. Az alakváltozási értékek nagysága a járművek gyorsulásával csökken. Megfigyelhető azonban, hogy az alakváltozás csúcserősségeinek többsége a kerékút közepén, közvetlenül a kettős kerékszerelvény mindkét gumibroncsa alatt összpontosul. A felhalmozott microstrain értékek nagysága azonban 80 km/h sebességnél 52 mikron értékkel csökken.

Az egyenletes vándorlási módban mozgó kettős kerék esetében azonban, amint az a 12. ábrán megfigyelhető, a feszültségeloszlás sokkal egyenletesebb a sáv teljes szélessége mentén, és a nagysága 25%-kal csökken nagyobb sebességnél.

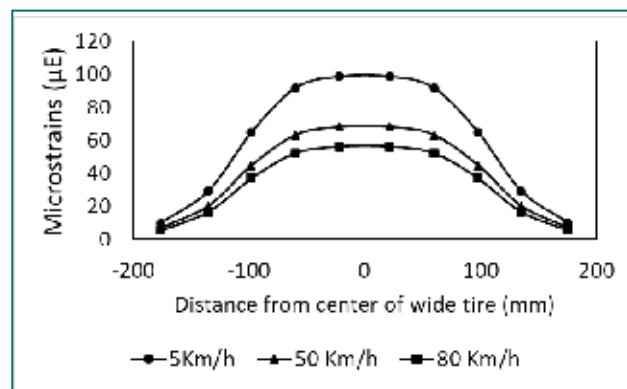


11. ábra - Különböző sebességeknél mért microstrain értékek kettős gumibroncs esetén, nulla keresztirányú vándorlási üzemmódban

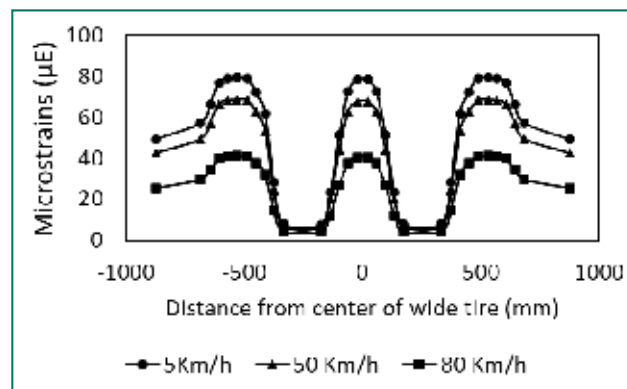


12. ábra - Különböző sebességeknél mért microstrain értékek a kettős gumibroncs esetén, egyenletes keresztirányú vándorlási üzemmódban

A 13. ábra csak a közvetlenül a gumibroncs alatt keletkező feszültségeket mutatja, míg a 14. ábra a teljes sáv szélességében keletkező feszültségeket mutatja meg. Megfigyelhető, hogy egyenletes vándorlási mód esetén a terhelési értékek nagysága 30%-kal csökken.



13. ábra - Különböző sebességeknél mért microstrain értékek szuperszéles gumibroncs esetén nulla keresztirányú vándorlási módban



14. ábra - Különböző sebességeknél mért microstrain értékek szuperszéles gumibroncsoknál egyenletes keresztirányú vándorlási üzemmódban

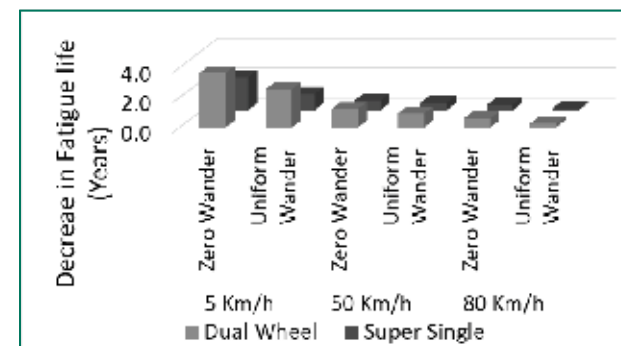
A Palmgren-Miner lineáris károsodási hipotézist, más néven Miner-szabályt használták a fáradási károsodás és a gumibroncsok egy adott időtartamra fennmaradó menetszámának kiszámítására [13, 17].

A fáradási jellemzők jobban érvényesülnek alacsony hőmérsékleti körülmények között [17], ezért a kerékút egy adott helye alatt kapott húzófeszültség, az ebből eredő fáradási károsodás az (1) egyenlet származtatott formája segítségével számítható ki [11].

$$D = \sum_{i=1}^k \frac{p_i n_i}{N_f(\varepsilon_i)} \quad (1)$$

Ahol p_i a terhelés gyakorisága, n_i a felhalmozott tengelyirányú teher, $N_f(\varepsilon_i)$ a feszültség alatti fáradási élettartam eléréséhez szükséges terhelések száma, a ε_i és k az oldalirányú vándorlási utak száma.

Ezáltal az (1) egyenlet segítségével kiszámították a fáradás okozta károkat, a fáradási élettartam csökkenését, és ezt mutatja a 15. ábra.



15. ábra - A fáradási élettartam csökkenésének grafikus ábrázolása különböző sebességek, gumibroncs-konfigurációk és oldalirányú vándorlási módok esetén

Mivel mindkét gumibroncs-konfiguráció esetében a nulla vándorlási üzemmód koncentrált terhelési ciklusokat okoz, ezért 80 km/h normál üzemi sebességnél a fáradási élettartam 67%-ra csökken, ha nulla vándorlási üzemmódot kerül alkalmazásra. A fáradási élettartam csökkenése nagyobb sebességnél, különösen a kettős gumibroncs-konfiguráció esetében, még inkább kifejező. Szuperlassú, 5 km/h-s sebességnél az útburkolat fáradási élettartama 3,5 évvel csökkenhet, ha nulla vándorlási mód kerül alkalmazásra. Szuperlassú sebességnél és egyenletes bolyongási módnál a fáradási élettartam minimális csökkenése 2,6 év marad.

4. Megállapítások és következtetések

A tanulmány legfontosabb eredményei az alábbiakban foglalhatók össze:

- 1) A kettős gumibroncs használata esetében a nulla vándorlású üzemmódban a microstrain értékek csökkenése nagyobb sebességnél szembe tűnőbb, mivel alacsonyabb sebesség esetén a burkolat hosszabb ideig van kitéve a terhelés hatásának.
- 2) A károsodás csökkenése a kettős gumibroncs esetén egyenletes vándorlási üzemmódban sokkal kisebb, mint a szuperszéles gumibroncsok egyenletes vándorlási üzemmódjában, mivel a kettős gumibroncs szerelvény széles oldalmérete miatt a kerék áthaladásának 60%-a mindig a sáv közepére koncentrálódik;
- 3) Szuperlassú sebességnél, a nulla keresztirányú bolyongási üzemmódban mozgó kettős gumibroncs esetén az útburkolat fáradási élettartamának csökkenése 3,5 év, ami 1,45-ször nagyobb, mint az egyenletes bolyongási üzemmódban mozgó kettős gumibroncs esetén, és 3,4-szer nagyobb, mint az egyenletes bolyongási üzemmódban mozgó szuperszéles gumibroncsnál;
- 4) Ha a kettős gumibroncs egyenletes bolyongása és a szuperszéles gumibroncs nulla bolyongása kerül összehasonlításra, a fáradási károsodás növekedése a szuperszéles gumibroncs nulla bolyongása esetén csak 1,2-szer nagyobb, mint a kettős gumibroncs egyenletes bolyongási esetén.
- 5) Az aszfaltreteg alatt ható vízszintes húzófeszültségek súlyosságának korlátozása érdekében ajánlott a 80 km/h ajánlott sebesség mellett szuperszélesszéles gumibroncs-konfigurációkat alkalmazni egyenletes bolyongási móddal együtt, hogy késleltessük a burkolatok fáradás okozta károsodásának kialakulását.

Hivatkozások

- [1] F. Zhou, S. Hu, W. Xue, and G. W. Flintsch, "Optimizing the lateral wandering of automated vehicles to improve roadway safety and pavement life," *Transp. Res. Rec.: J. Transp. Res. Board.*, vol. Vol 2673, no. 11, pp. 37-43, 2019.
- [2] H. Noorvand, G. Karnati, and B. S. Underwood, "Autonomous vehicles: Assessment of the implications of truck positioning on flexible pavement performance and design," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2640, no. April 2018, pp. 21-28, 2017, doi: 10.3141/2640-03.
- [3] Y. Zhefu, "Research on the fatigue damage of the asphalt pavement," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 256-259, no. PART 1, pp. 1776-1779, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.256-259.1776.
- [4] H. Di Benedetto, C. De La Roche, H. Baaj, A. Pronk, and R. Lundström, "Fatigue of bituminous mixtures," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 37, no. 267, pp. 202-216, 2004, doi: 10.1007/bf02481620.
- [5] F. M. Nejad, E. Aflaki, and M. A. Mohammadi, "Fatigue behavior of SMA and HMA mixtures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 24, no. 7, pp. 1158-1165, 2010, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.12.025.
- [6] K. Chatti, H. B. Kim, K. K. Yun, J. P. Mahoney, and C. L. Monismith, "Field investigation into effects of vehicle speed and tire pressure on asphalt concrete pavement strains," *Transp. Res. Rec.*, no. 1539, pp. 66-71, 1996, doi: 10.3141/1539-09.
- [7] H. Cheng, L. Liu, and L. Sun, "Determination of Layer Modulus Master Curve for Steel Deck Pavement using Field-Measured Strain Data," *Transp. Res. Rec.*, vol. 2673, no. 2, pp. 617-627, 2019, doi: 10.1177/0361198119828685.
- [8] L. G. R. de Mello, M. M. de Farias, and K. E. Kaloush, "Effect of temperature on fatigue tests parameters for conventional and asphalt rubber mixes," *Road Mater. Pavement Des.*, vol. 19, no. 2, pp. 417-430, 2018, doi: 10.1080/14680629.2016.1261728.
- [9] O. E. Gungor and I. L. Al-Qadi, "Wander 2D: a flexible pavement design framework for autonomous and connected trucks," *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 0, no. 0, pp. 1-16, 2020, doi: 10.1080/10298436.2020.1735636.
- [10] S. M. Hadian*, "Investigation and analysis of fracture failure and fatigue cracking in High-rise pavement using simulation software of ABAQUS," *Ann. Civ. Environ. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 032-039, 2019, doi: 10.29328/journal.acee.1001015.
- [11] F. Chen, M. Song, X. Ma, and X. Zhu, "Assess the impacts of different autonomous trucks' lateral control modes on asphalt pavement performance," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 103, no. March, pp. 17-29, 2019, doi: 10.1016/j.trc.2019.04.001.
- [12] I. L. Al-Qadi, P. J. Yoo, M. A. Elseifi, I. Janajreh, G. Chehab, and A. Collop, "Effects of tire configurations on pavement damage," *Asph. Paving Technol. Assoc. Asph. Paving Technol. Tech. Sess.*, vol. 74, no. June 2015, pp. 921-961, 2005.
- [13] F. Wang and R. B. Machemehl, "Mechanistic-empirical study of effects of truck tire pressure on pavement: Measured tire-pavement contact stress data," *Transp. Res. Rec.*, no. 1947, pp. 136-145, 2006, doi: 10.3141/1947-13.
- [14] H. Cheng, J. Liu, L. Sun, and L. Liu, "Critical position of fatigue damage within asphalt pavement considering temperature and strain distribution," *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 0, no. 0, pp. 1-12, 2020, doi: 10.1080/10298436.2020.1724288.
- [15] M. Fahad, R. Nagy, and P. Fuleki, "Creep model to determine rut development by autonomous truck axles on pavement," *Pollack Period.*, pp. 1-6, 2021, doi: 10.1556/606.2021.00328.
- [16] M. Song, F. Chen, and X. Ma, "Organization of autonomous truck platoon considering energy saving and pavement fatigue," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 90, no. December 2020, p. 102667, 2021, doi: 10.1016/j.trd.2020.102667.
- [17] T. Olexa and J. Mandula, "Comparison of complex modulus and elasticity modulus of bitumen bonded materials," *Pollack Period.*, vol. 11, no. 3, pp. 131-140, 2016, doi: 10.1556/606.2016.11.3.12.

RA bitumen vizsgálatok a visszanyert aszfalt felhasználás részeként

Zvekán Fanni, Rosta Szabolcs

Zvekán Fanni



innovációs mérnök
Hódút Kft.

Bevezetés

Ma már szinte az élet minden területén találkozhatunk az újrahasznosítással, az újrafelhasználással, hiszen a Föld nyersanyagkészletei csak véges mennyiségben állnak a rendelkezésünkre, így a rendelkezésre álló anyagokat megfontoltan kell felhasználnunk. Ezen területek közül az aszfaltgyártás sem kivétel, ahol a különböző módokon (pl. marással vagy bontással) visszanyert aszfaltot használhatjuk újra az új aszfaltkeverékek készítésekor.

Különböző technológiák állnak rendelkezésünkre, ha a visszanyert aszfaltot ismételt az útpályaszerkezetbe szeretnénk beépíteni valamilyen módon [1][2]:

- helyszíni hideg eljárás
- helyszíni meleg eljárás
- keverőtelepi hideg eljárás
- keverőtelepi meleg eljárás

Ezek közül talán a legfontosabb a keverőtelepi meleg eljárás, ugyanis ekkor a visszanyert aszfalt az új kővázal és bitumennel együtt alkotja meg az új aszfaltkeveréket. A négy fő típus közül ez az a mód, amely a legnagyobb mennyiségben teszi lehetővé a visszanyert aszfalt felhasználását, miközben az eredeti funkcióját

megtartva, ismét pályaszerkezeti aszfalttrétegbe kerül. A keverőtelepi meleg eljárás azonban még nem definiálja pontosan az alkalmazott újrahasznosítási technológiát. Ezen belül számos gépészeti megoldás közül választhatunk annak függvényében, hogy a visszanyert aszfalt az aszfaltgyártás során milyen módon kerül felmelegítésre.

A visszanyert aszfaltot vagy hidegen adagoljuk a többi alkotóelemhez, és akkor a forró adalékanyagok által vagy azokkal együtt kerül felmelegítésre, vagy pedig már felmelegítve adagoljuk a keverék többi összetevőjéhez. Ez utóbbi esetben a visszanyert aszfalt az egyéb összetevőktől (kőanyag, bitumen) elkülönítve, egy másik egységben kerül felmelegítésre. Az, hogy melyik beadagolási módszert választjuk, meghatározza a visszanyert aszfalt felhasználás mennyiségi korlátait is. [3][4]

Optimális esetben a parallel dobos vagy felső dobos visszanyert aszfalt adagolási rendszer akár az 50-70 %-os visszaadagolást is lehetővé teszi, amely már igen nagy hatékonyságúnak tekinthető. Az ilyen típusú aszfaltkeverők főként Európa nyugati országaiban vannak jelen. Hazai elterjedésüket a jövőben nagyban elősegítheti az e-UT 05.02.11 számú utügyi műszaki előírás 2021. decemberi módosítása, amely hazai viszonylatban a korábbi évek gyakorlatánál jóval magasabb visszaadagolások megvalósítását teszi lehetővé.

Optimális keverőtelepi visszanyert aszfalt felhasználás

Ahhoz, hogy minél magasabb visszanyert aszfalt felhasználást valósítsunk meg, nem elegendő csupán azt a gépészeti megoldást választanunk, amely a legmagasabb korlátokkal kecsegtet, szükségünk van ehhez egy keverőtelepi szemlélet és egy visszanyert aszfalt vizsgálati rendszer kialakítására is.

Az első és legfontosabb a szemléletváltás, melynek következtében nem hulladékként és padka anyagként tekintünk a visszanyert aszfaltra, hanem értékes nyersanyagként. Ennek megfelelően kell kialakítani a helyét a keverőtelepen, majd pedig a szükséges folyamatok (pl. idegen anyag eltávolítás, törés, osztályozás) elvégzésével egy kellően homogén anyagot kell előállítani belőle, amelyet felhasználva már nem okoz számottevő ingadozást a legyártott aszfaltkeverék tulajdonságaiban. További fontos teendő a vízelvezetés kialakítása, és finom frakciók esetén a további vízfelvétel lehetőségének megszüntetése, akár fedett depóniák kialakításával.

A keverőtelepen kialakított homogén visszanyert aszfalt depóniákat felhasználás előtt laboratóriumban érdemes vizsgálni tulajdonságaik felderítése, és ezáltal a megfelelő keveréktervek készítése érdekében. A keverékterv elkészítéséhez elengedhetetlen ismerni a visszanyert aszfaltban található kőanyag szemszerkezetét, valamint bitumentartalmát. Ezek mellett érdemes lehet még vizsgálni a víztartalmat is, hogy tudjuk, a keveréskor milyen mennyiségű vízgőz távozására számíthatunk. A víztartalom mennyiségi korlátokat szabhat a felhasználás szempontjából.

A kutatás során rendelkezésünkre állt egy olyan visszanyert aszfalt depónia, amely útfelújítási munkából származó kopóréteget és változó vastagságban mart kötőréteget tartalmazott, egyben felmarva.

Az 1. táblázat ezen visszanyert aszfalt vizsgálati eredményeit mutatja be, míg a 2. és 3. táblázat ugyanezen, nagy mennyiségben rendelkezésre álló visszanyert aszfalt 500 tonnánként vételezett mintáinak eredményeit mutatja a keverőtelepen elvégzett folyamatokat követően.



1. ábra: Visszanyert aszfalt osztályozás a keverőtelepen

1. táblázat: Feldolgozatlan 32 RA 0/16 – 32 RA 0/11 vizsgálati eredményei

Mintaszám	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Átlag	Terjedelem
Bitumentartalom (%)	3,8	5,9	6,3	5,7	4,2	6,7	4,8	3,7	6,5	4,6	5,2	3,0
Szitaméret	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%		
22,4	98	100	100	100	99	100	100	96	100	100	99	4
16,0	88	100	100	100	91	100	90	85	100	90	94	15
11,2	72	93	94	93	78	97	71	71	91	74	83	26
8,00	60	77	64	73	65	54	62	54	49	65	62	28
5,60	43	62	42	57	51	38	50	44	36	52	48	26
4,00	39	53	34	46	43	33	44	35	31	46	40	22
2,00	31	41	29	35	28	28	35	28	25	39	32	16
1,00	26	30	21	30	27	22	27	23	22	26	25	9
0,50	21	25	19	25	23	19	21	19	18	22	21	7
0,25	18	20	17	19	19	17	14	15	16	17	17	6
0,125	13	16	14	16	15	16	12	11	13	15	14	5
0,063	9,8	14,1	12,9	13,4	8,8	15,6	8,8	9	11,2	11,2	11,5	6,8

2. táblázat: Feldolgozott 22 RA 0/16 vizsgálati eredményei

Mintaszám	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Átlag	Terjedelem
Bitumentartalom (%)	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7	4,8	4,5	4,6	4,7	4,9	4,7	0,4
Szitaméret	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%		
22,4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
16,0	96	97	97	96	96	95	94	95	94	96	96	3
11,2	80	78	85	82	77	80	81	83	79	82	81	8
8,00	65	55	65	64	60	55	57	55	58	56	59	10
5,60	55	45	55	53	49	44	46	44	47	43	48	12
4,00	47	40	48	45	41	38	39	38	40	39	42	10
2,00	37	32	37	36	33	30	31	29	34	33	33	8
1,00	30	27	30	29	27	25	26	24	29	28	28	6
0,50	25	23	25	25	23	22	23	22	25	25	24	3
0,25	20	19	20	20	19	18	19	18	20	20	19	2
0,125	14	13	15	14	13	13	13	12	15	15	14	3
0,063	11,0	11,0	10,0	11,8	8,8	11,3	11,1	10,0	10,0	9,0	10,4	3,0

3. táblázat: Feldolgozott 11 RA 0/8 vizsgálati eredményei

Mintaszám	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Átlag	Terjedelem
Bitumentartalom (%)	6,4	6,2	6,0	6,4	6,3	6,5	7,1	6,6	6,8	6,1	6,8	1,1
Szitaméret	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%	Átesett%		
11,2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
8,00	95	94	94	95	95	92	95	95	94	95	94	3
5,60	86	83	84	84	86	81	83	85	86	84	84	5
4,00	75	72	72	73	76	71	73	75	73	73	73	6
2,00	57	57	56	56	60	55	57	60	57	57	57	8
1,00	44	45	43	43	46	43	45	47	45	48	45	5
0,50	36	37	35	35	37	35	37	38	36	34	36	6
0,25	28	28	27	28	29	27	29	29	29	28	28	4
0,125	20	20	19	20	21	19	20	21	20	22	20	3
0,063	16,9	17,9	17,4	17,2	18,3	17,5	17,8	18,5	17,3	18,4	17,7	2,5

A keverőtelepi visszanyert aszfalt feldolgozás szükségességét a vizsgálati eredmények is alátámasztják. A kezeletlen, beérkező anyagból vételezett egyes minták eredményei még nem nevezhetők jellemző tulajdonságnak, mind a bitumentartalom, mind a szemeloszlás tág határértékek között mozog. Ezzel szemben az osztályozott anyag a minták eredményei alapján már homogénnek tekinthető.

Bitumen visszanyerése a vizsgálatokhoz

Egy visszanyert aszfalt tartalmú keverékterv elkészítéséhez hasznos információkkal szolgálhat a visszanyert aszfalt bitumenjének vizsgálata is. A rutin vizsgálatokat elvégezve képet kaphatunk annak merevségéről, lágyuláspontjáról, valamint rugalmas tulajdonságairól. Ezekon felül különböző reológiai vizsgálatok is végezhetőek, az előbbi vizsgálatokhoz viszonyítva jóval kisebb anyagszükséglet mellett. Ilyenek lehetnek a dinamikus nyíróreométerrel végezhető vizsgálatok, melyek segítségével számos további tulajdonság meghatározható (komplex viszkozitás, fázisszög, komplex nyírási modulus, maradó kúszásérzékenység, visszaalakuló alakváltozás), amelyek segítségével komplexebb képet kaphatunk a visszanyert aszfaltban lévő bitumenről.

A visszanyert aszfaltban lévő bitumenen történő vizsgálatok elvégzéséhez szükséges annak visszanyerése, elkülönítése a kőanyagoktól. Az elvégzendő vizsgálatok típusától és mennyiségétől függ, hogy milyen mennyiségű mintát kell feldolgozni, és hányszor kell a visszanyerési eljárást elvégezni. A visszanyerést forgó bepárló használatával végezhetjük el, amely módszert az MSZ EN 12697-3:2013+A1:2019 szabvány részletesen leír. Az itt meghatározott eljárás többféleképpen elkezdhető, azonban az oldószer ugyanazon módszer szerint távolítjuk el a végén.

Az első esetben az aszfalt mintához egy általunk választott olyan oldószerrel öntünk, amely jól oldja a bitument, majd rázogatás után, adott idő elteltével a kapott bitumenes oldatot leszűrjük. A szűrés segítségével eltávolítjuk a 0,063 mm feletti kőanyagokat. Ezt követően az oldatban található finomrészeket átfolyós centrifuga segítségével távolítjuk el. Így az oldatban már csak a bitumen és a választott oldószer marad. Ez a lépéssor kicsit időigényes a leoldáshoz szükséges idő miatt, azonban nem igényel folyamatos felügyeletet, így ezzel párhuzamosan könnyedén végezhetőek egyéb feladatok is.

A második eset az, amikor a bitument nem manuális rázás segítségével oldjuk le a kőanyagokról, hanem ehhez aszfalt analízátort használunk. A leoldást követően az oldatot az analízátor centrifugája segítségével tisztítjuk meg a finomrészekről, majd a kapott bitumenes oldatot egy lombikba engedjük további felhasználásra. Ebben az esetben lényegesen gyorsabb a leoldás folyamata, azonban a kapott oldat nagyon híg, az első esetben kapotthoz viszonyítva. Minél hígabb a bitumenes oldat, annál több ideig tart az utolsó lépés, az oldószer eltávolítása. Egyes analízátorok már rendelkeznek olyan beállítási lehetőséggel, melynek során a kapott oldatot először töményítik, és csak ezután engedjük le az oldatot, és dolgozunk vele tovább. Ezt a lehetőséget azonban kellő odafigyelés mellett érdemes csak használni, mivel a bitumennek magas hőmérséklet hatására, oxigén jelenlétében öregednek, így egy hosszabb töményítési folyamat során erre is gondolnunk kell.

A visszanyerés utolsó lépéseként a bitument elválasztjuk az oldószerrel. Erre a célra használjuk a forgó bepárlót, amelyben meghatározott magas hőmérsékletet és alacsony nyomást tartva az oldószer elpárolog. Az elkészült nagy mennyiségű oldatot egy részletben nem tudjuk bepárolni a bepárlólombik szabta méretbeli korlát miatt, így az oldatot szakaszosan pótolni kell. Erre megoldás lehet, ha a vákuumot időnként megszüntetjük, és a lombikot újra feltöltjük. A másik, praktikusabb megoldás, amikor a bepárlás első fázisában egy beeresztőcsapos feltét segítségével folyamatosan adagoljuk be a friss oldatot az oldószer párolgásához igazítva (2. ábra), majd az összes oldat bejuttatását követően haladunk a további fázisok felé. A folyamat végén az oldószermentes bitumen visszamarad a bepárlólombikban. Ezt már használhatjuk a különböző vizsgálatokhoz. [5]



2. ábra: Forgó bepárló beeresztőcsappal, bitumen visszanyeréshez

A bitumen öregedését előidéző folyamatok

A bitumen kétféleképpen keletkezhet, illetve fordul elő. Létrejöhet természetes módon, aszfalt tavak formájában; vagy pedig mesterséges úton a kőolaj finomítás során. Ez utóbbi típus az, amelyet az útépitésben is alkalmazunk, ugyanis a mesterségesen előállított bitumen a feldolgozás mellékterméke, maradéka. A bitumen egy nehezen folyó, viszkózus, hőre lágyuló anyag, melynek összetétele nem adható meg pár vegyület megnevezésével. Összetételét tekintve a bitument különböző szerves molekulacsoportok arányával jellemzik. Ezeknek a molekuláknak a komplett meghatározása, teljes kémiai analízise rendkívül munka- és időigényes folyamat, és a keletkező nagy mennyiségű adathalmaz csak az adott bitumenmintát írja le, nem általánosítható a mindennap használt bitumenekre. Alapvetően két fő csoport különböztethető meg, aszfalté és malténé. A malténét tovább oszthatjuk diszperziós közegre és gyantás részecskékre. Ez a három kémiai anyagcsoport együttesen egy kolloid rendszert alkotva hozza létre azt a viszkoelasztikus anyagot, amelyet bitumennek nevezünk. [6]

A bitumen a gyártás, a szállítás és a beépítés, illetve az útburkolatban a hasznos élettartam alatt a

klimatikus hatások (oxigén jelenléte, hőmérséklet, UV-sugárzás) eredményeként öregszik, melynek hatására megkeményedik és belső szilárdsága nő, ami hosszútávon az elasztikus és plasztikus tulajdonságok elvesztéséhez vezet. A folyamat mértéke a bitumen kémiai összetételétől és szerkezetétől is függ. A bitumen öregedése egy nagyon komplex folyamat, amely alapvetően három fő csoportra bontható.

A párolgási öregedés során az illékony komponensek távoznak. Ezáltal megváltozik a komponensek aránya, nő a relatív aszfaltén tartalom, ami a merevség növekedéseként jelentkezik. A párolgás hatására csökken a bitumen térfogata is, melynek következtében hajszálrepedések jelenhetnek meg.

Az oxidatív öregedés során a molekulák egyes heteroatomot tartalmazó funkciós csoportjai átalakulnak, poláris csoportok jönnek létre. Az így képződő poláris molekulák nagyobb molekulatömegű micellákká állnak össze. A megnövekedett mennyiségű és erősebb kölcsönhatás, valamint a lényegesen nagyobb micellák jelenléte viszkózusabbá teszi a bitumént. A hasznos élettartama alatt bekövetkező oxidáció mértéke az éghajlati viszonyok és a bitumen öregedési ellenállása mellett főleg az aszfaltban lévő hézagok mennyiségétől és a bitumen film vastagságától függ.

Az összetételt érintő változások következtében pedig a relatív aszfaltén tartalom megemelkedik, a kolloid molekulák pedig a diszpergáló közeg csökkenésével könnyen interakcióba lépnek egymással, gél szerkezetet hozva létre. A megváltozott szerkezet merevebb tulajdonságú anyagot eredményez. [7]

A visszanyert aszfaltok újrahasználatához nem elegendő egy megfelelő technológiát biztosító gép birtoklása, valamint egy optimális keverőtelepi feldolgozás bevezetése, a visszanyert aszfalt minőségét és tulajdonságait laboratóriumi vizsgálatok útján meg kell ismerni. Az alapanyag megismerésén keresztül válik

a folyamat jól kontrollálhatóvá, és így lehet garantálni az előállított új aszfaltkeverék minőségét és a tervezetthez közeli paraméterek megvalósulását. Vannak olyan esetek, amikor a visszanyert aszfaltban lévő bitumen tulajdonságai már nem megfelelőek (pl. kemény, merev vagy előregeredett), hiszen az jelentős öregedést és merevedést szenved el az aszfalt hasznos élettartama alatt, ezáltal az új aszfaltkeverékben történő magas RA-tartalom használata fáradási és termikus repedési problémákat okozhat. Ekkor szükséges lehet valamilyen adalékszer alkalmazása, hogy az adott tulajdonságot javítani, a bitumént fiatalítani tudjuk a visszanyert aszfalt minél jobb felhasználhatósága érdekében, esetleg az aszfaltban történő újrahasználatot el kell vetnünk.

A visszanyert bitumen tulajdonságainak vizsgálata

Kutatásaink egyik szegmensében különböző helyről származó visszanyert aszfaltok bitumenjeinek, valamint a hazai viszonylatban elérhető bitumenek különféle tulajdonságait vizsgáltuk. Ezáltal igyekeztünk átfogóbb képet kapni arról, hogy az aszfalt pályaszerkezet hasznos élettartama alatti környezeti és forgalmi terhelések mekkora befolyással vannak a bitumen tulajdonságaira. A 4. táblázat ezen bitumenek lágyuláspont eredményeit tartalmazza, valamint az OKA adatbázisban nyilvántartott adatok alapján a visszanyert aszfaltok korát. A korok meghatározása arra szolgált, hogy nagyságrendileg meg tudjuk ítélni, milyen visszanyert bitumen tulajdonságok várhatóak különböző korú, meglévő burkolatokból vételezett minták esetén. A komoly statisztikai adatfeldolgozás ezen a területen jóval több adat gyűjtését igényelné, mint amire eddig lehetőségünk adódott, ez jelenleg nem is célja a kutatásnak.

4. táblázat: Friss bitumeneken és hazai utakról vételezett visszanyert aszfalt minták bitumenjein mért lágyuláspont értékek, valamint az utóbbiak kora

Friss bitumenek	Lágyuláspont (°C)
B 50/70 (1)	49,3
B 50/70 (2)	50,9
B 70/100 (1)	46,9
B 70/100 (2)	47,0
B 100/150	42,9
PmB 10/40-65	74,2
PmB 25/55-65 (1)	85,4
PmB 25/55-65 (2)	77,3
PmB 45/80-65	73,1
GmB 45/80-55	63,2

Visszanyert bitumenek	Lágyuláspont (°C)	Beépítés éve
A1	56,0	2020
A2	58,2	2020
B1	82,5	2020
C1	64,8	2014
D1	56,2	2011
E1	84,5	2006
F1	60,4	2002
G1	77,2	1985
H1	61,1	Nem ismert

A mérések értékelésekor megállapítható, hogy a visszanyert aszfaltok lágyuláspont értékei igen széles határok között mozognak. Természetesen a mért értékeket erősen befolyásolja, hogy az adott bitumen mennyi ideig volt kitéve a környezet öregítő hatásainak, illetve, hogy az aszfalthoz felhasznált bitumen normál útépítési bitumen vagy polimerrel modifikált bitumen volt. Egyes esetekben egyértelműen megállapítható, hogy a bitumen nem tartalmaz modifikáló szert. Ilyenek az A1, A2, C1, D1, F1 és H1 minták, amelyek lágyuláspontja még évek elteltével sem érik el a modifikált bitumenekre jellemző 65°C-os lágyuláspont alsó határt. Ugyanilyen módon például a B1 mintáról határozottan kijelenthetjük, hogy tartalmaz modifikáló polimert, mivel jóval magasabb értéket mérhettünk, mint az azonos évben beépített útépítési bitumen esetén (A1, A2). A többi esetben azonban már felmerülhet a kérdés, a magas lágyuláspont értéket a polimer modifikáció okozza, vagy csupán jelentősen nagyobb az öregedés hatása, netalántán mindkét hatás érvényesül? Ennek felderítésére a visszanyert bitumenek további vizsgálatára van szükség, amely segít megválaszolni a kérdést, és ezáltal eldönthetjük, hogy az adott visszanyert aszfalt felhasználható-e még aszfaltkeverékekben a bitumen kezelése nélkül, vagy egy kiöregedett bitumennel van dolgunk.

Erre a célra megfelelőnek találtuk a rugalmas visszaalakulás vizsgálatot 25°C-on, amely egy egyszerű, rutin vizsgálatnak tekinthető, és ennek segítségével felderíthetjük, hogy az adott visszanyert bitumen rendelkezik-e a polimerrel modifikált bitumenekre jellemző rugalmas tulajdonságokkal. Ezt a vizsgálatot

akkor is érdemes elvégezni, ha a bitumen kora és a beépítés éve nem ismert. Ekkor ugyanis egy lágyuláspont eredmény még nem szolgál kellő információval arról, hogy a visszanyert bitumen (melynek lágyuláspontja 78°C) egy több tízéves előregeredett útépítési bitumen vagy egy 1-2 éves modifikált bitumen.



3. ábra: Próbatest a rugalmas visszaalakulás méréshez

A vizsgálatokat itt is elvégeztük friss bitumenek és visszanyert bitumenek esetén is, az összehasonlíthatóság érdekében (5. táblázat). A két típus esetén azonban eltérő megnyújtási hosszt alkalmaztunk. A kezdeti visszanyert bitumen vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy a szál az esetek döntő többségében elszakad jóval azelőtt, hogy elérnénk a 200 mm-es megnyújtást. A jobb összehasonlíthatóság érdekében a visszanyert bitumeneket 100 mm-re nyújtottuk – amely érték a gumival modifikált bitumenek esetén is megengedett az e-UT 05.01.26 szerint –, a friss bitumeneket pedig az MSZ EN 13398 szabvány szerint 200 mm-re nyújtva vizsgáltuk. [8][9]

5. táblázat: Friss bitumenek és hazai utakról vételezett visszanyert aszfalt bitumenek rugalmas visszaalakulás értékei

Friss bitumenek	Rugalmas visszaalakulás (%)
B 50/70 (1)	15
B 50/70 (2)	16
B 70/100 (1)	18
B 70/100 (2)	17
B 100/150	21
PmB 10/40-65	68
PmB 25/55-65 (1)	92
PmB 25/55-65 (2)	84
PmB 45/80-65	89
GmB 45/80-55	62

Visszanyert bitumenek	Rugalmas visszaalakulás (%)
A1	25
A2	24
B1	70
C1	20
D1	17
E1	53
F1	15
G1	30
H1	16

Azok a visszanyert bitumen minták, amelyeket lágyuláspont értékük alapján útépitési bitumenként azonosítottunk (A1, A2, C1, D1, F1, H1), alacsony, 15-25%-os rugalmas visszaalakulás értékük szerint is ebbe a kategóriába sorolhatók, hiszen a friss útépitési bitumenek sem mutatnak számottevő rugalmas tulajdonságot. Ezt igazolja a 15-21% közötti rugalmas visszaalakulás értékük is.

A B1 minta, mely magas lágyuláspont értékkel rendelkezik, és korát is figyelembe véve biztosan a polimer modifikált bitumenek közé tartozik, magas rugalmas visszaalakulás értéket mutat, amely meghaladja a kemény PmB 10/40-65 esetén mért értéket. Az E1 minta a B1-hez hasonló lágyuláspont értékkel rendelkezik, azonban 14 évvel idősebb. Az 53%-os rugalmas visszaalakulás értéke alapján ez a bitumen is modifikált bitumen lehetett, hiszen még ennyi idő elteltével is jóval nagyobb rugalmas hajlamot mutat, mint a friss útépitési bitumenek. A friss polimerrel modifikált bitumenekhez viszonyítva azonban látható, hogy a polimer már veszített rugalmas tulajdonságaiból, így összességében ez a bitumen már nem tekinthető teljes értékű modifikált bitumennek. Ezt a visszanyert aszfalt felhasználása során mindenképpen figyelembe kell venni.

A G1 jelű bitumen több, mint 35 éve került az útpályaszerkezetbe. Ennek következtében jelentős mértékű öregedésen mehetett keresztül annak ellenére, hogy a többi ismert eredetű visszanyert aszfalt mintával ellentétben a G1 minta nem kopó, hanem kötőrétegből származik, így a foto-oxidációnak, illetve az UV hatásának elhanyagolható mértékben volt kitéve. Csak a lágyuláspont ismeretében feltételezhetnénk, hogy egy polimerrel modifikált bitumennel van dolgunk, azonban a rugalmas visszaalakulás mérés eredményét is figyelembe véve a bitumen nem rendelkezik jelentős rugalmas tulajdonsággal. Ezek fényében a

G1 jelű visszanyert aszfaltot egy előregedett, polimer modifikáció hatását nem mutató bitument tartalmazó aszfaltként kell kezelni az új keverékterv elkészítésekor és az újrahasználtnak.

Összefoglalás

A visszanyert aszfalt aszfaltkeverékben, nagy mennyiségben (20-40%) történő újrahasználata az eddigi alacsony felhasználási lehetőségeket (10-20%) meghaladó mértékben hazánkban is elterjedőben van a véges anyagkészletek és a jövőben, a felújítások során keletkező nagy mennyiségű visszanyert aszfalt felhasználási kérdésköre okán. Ez azonban kellő odafigyelést igényel mind a keverőtelepen végzett folyamatok, mind a laboratóriumi vizsgálatok tekintetében.

Nagy hangsúlyt kell fektetni a depónia homogenizálására, ezáltal ugyanis egy olyan alapanyaghoz jutunk, amelyet már biztonsággal használhatunk nagy mennyiségben az aszfaltkeverék készítésekor anélkül, hogy annak összetételbeli ingadozása hatással lenne a keverék tulajdonságaira. Laboratóriumi vizsgálatok során pedig a visszanyert aszfaltot, és az abból leoldással visszanyert bitument is vizsgálni kell annak érdekében, hogy feltérképezzük annak tulajdonságait. Fontos meghatározni a bitumen lágyuláspontját, és 55-65°C feletti érték esetén a rugalmas visszaalakulását is. Ezen két vizsgálathoz nagy mennyiségű bitumen visszanyerésére van szükség, mindazonáltal ezeket elvégezve biztos információt kapunk arról, hogy polimerrel modifikált bitument tartalmaz a visszanyert aszfalt, vagy sem. Ez az információ pedig kifejezetten fontos, hiszen a bitumentartalom és a szemszerkezet mellett a bitumen öregedésének mértéke és rugalmassága is befolyásolhatja, hogy a visszanyert aszfaltot milyen mennyiségben használjuk fel az aszfaltkeverékben úgy, hogy az teljesítse az összes olyan követelményt, amelynek visszanyert aszfalt tartalom nélkül is meg kellene felelnie.

Források:

- [1] HAPA. 2014: Visszanyert aszfalt felhasználása aszfaltkeverékekben, A Magyar Aszfaltipari Egyesülés (HAPA) Környezetvédelmi Munkacsoportja.
- [2] EAPA (European Asphalt Pavement Association). 2018: Recommendations for the use of rejuvenators in hot and warm asphalt production.
- [3] NAPA (National Asphalt Pavement Association). 1996: Recycling Hot Mix Asphalt Pavements, Information Series 123.
- [4] Visnyovszky, Á. 2016: Benninghoven: Törtaszfalt visszaadagoló rendszerek, Az Aszfalt XX. évfolyam.
- [5] MSZ EN 12697-3:2013+A1:2019
- [6] Shell (2014). Shell Bitumen Handbook, 6th edition. ICE Publishing
- [7] Srivastava, A., Rooijen, R.: Bitumen performance in hot and arid climates, 2000
- [8] e-UT 05.01.26:2018
- [9] MSZ EN 13398:2018

Stabilizált agyagos bányameddő felhasználása egy csehországi útépitési projekten

Orbán Bence

Technológus
Colas Hungária Zrt.
Technológiai Igazgatóság



1. Bevezetés

A Cseh Köztársaság északnyugati régiójában számos évtizede jellemző a kiterjedt külszíni barnaköszén bányászat. A külszíni fejtés során a barnaköszén tartalékokat borító bányameddő fedőréteg több tíz méter magas halmokban kerül ledeponálásra. Alapvetően ezen meddőhalmok két kategóriába sorolhatók: külső, illetve belső meddőhalmokra. Külső meddőhalom esetén a fedőréteg anyaga a külszíni bányászat területén kívül eső meglévő talajfelszínre, míg belső meddőhalom esetében a felesleges anyag bányászati területre kerül lerakódásra.

Az előbbiekben említett régió vonatkozásában igen gyakoriak a külső meddőhalmok, így ezek felhasználhatóságának kérdése aktuális. Még, ha ezen területek ára igen kedvező is, a lehetséges fejlesztésekkel együtt járó műszaki kérdések igen komoly kihívást jelentenek.

Másrészről, sok terület hiányt szenved a nagyobb beruházások során tervezett nagytömegű földmunkákhoz szükséges elérhető földmű anyagokban, ráadásul a tájrendezési tervek és környezetvédelmi korlátozások, ill. szabályozások folytán gyakran lekerülnek elfogadható anyagok az elérhető anyagok listájáról.

Ezáltal egy gazdaságilag érdekes lehetőség nyílik ezen nagy mennyiségben előforduló meddőhalmok útépitési töltésanyagként történő felhasználására, különösképp azokon a területeken, amelyek hiányt szenvednek az elérhető földmű-anyagokban. Természetesen ezen meddőanyagok esetében elengedhetetlen a hidraulikus kötőanyaggal történő kezelés, mellyel biztosítható a tervekben szereplő előírásoknak való megfelelés a mechanikai és fizikai jellemzők javításával.

2. A vizsgálatok célja

Ez a csehországi útépitési beruházás, melynek területe külső meddőhalmokkal borított. A projekt egyik alapkövetelménye volt a meglévő meddőhalmok anyagának maximális felhasználása a tervezett töltésepítésekhez. Egy kiterjedt laboratóriumi tanulmány készült a meddőanyagok kezelésére vonatkozóan, mészmész-cement keverék, illetve pernye felhasználásával.

A tanulmány elsődleges célja az volt, hogy elegendő információt gyűjtsön a döntéshozatalhoz az agyagos meddőhalom anyagának stabilizálásáról, amely a projekt töltéseinek és bevágásainak kivitelezéséhez szükséges.

A laboratóriumi vizsgálati program a talaj-kötőanyag keverékek azon tulajdonságaira terjedt ki, amelyek valószínűsíthetően befolyásolják azok felhasználását a töltés- és útépitésben. Ezek körébe tartoztak a fizikai jellemzők, a nyírószilárdsági paraméterek, a CBR és a UCS értékek.

3. Meddőhalom anyagjellemzői

A fedőrétegekből lerakodott meddőanyagot elsődlegesen (időjárásnak változó mértékben kitétt) agyagkövek és agyagos alsó-miocén sekélyvízi üledékek alkotják. Az agyagos talajok leginkább kaolinitből és illitből állnak, egy kis montmorillonit tartalom mellett.

A projekt előzetes szakaszában végzett kiterjedt geotechnikai vizsgálat alapján a természetes talaj az alábbi alapvető fizikai jellemzőkkel bír:

Az agyagtartalom (<0.002 mm) 5% ÷ 55%-os tartományban mozgott, az iszaptartalom 22% és 44% között változott.

A száraz térfogatsűrűsége $\rho_d = 967 \div 1629 \text{ kg/m}^3$ -es intervallum volt jellemző, 1305 kg/m^3 átlagértékkel.

Nedves térfogatsűrűség: $\rho = 1513 \div 2128 \text{ kg/m}^3$, 1798 kg/m^3 átlagértékkel. A természetes víztartalom 17.6 és 59.5 % között változott (átlag: 33.3 %). A vett talajmintákon vizsgált telítettség 73 és 98 % közötti értékeket mutatott (átlag: 90.9 %). A vizsgált Atterberg-határok eredmény tartományai pedig az alábbiakban láthatók:

$$w_L = 34.5 \div 110.9 \%, \text{ átlag: } 71.0 \%$$

$$w_P = 18.9 \div 61.8 \%, \text{ átlag: } 37.8 \%$$

$$I_P = 15.6 \div 60.0 \%, \text{ átlag: } 33.1 \%$$

$$I_c = 0.34 \div 2.02, \text{ átlag: } 1.10$$

A duzzadás vizsgálatok 0 % és 7,1 % közötti intervallumot mutattak, 1,2 %-os átlagértékkel.

A töltések rézsúállékonysági vizsgálataihoz elengedhetetlen nyírószilárdsági paraméterekre a következő laboratóriumi vizsgálatok útján nyert intervallumok adódtak eredményül:

$\phi' = 14.0 \div 34.5^\circ$, $c' = 0 \div 103 \text{ kN/m}^2$, UU triaxiális drénezetlen nyírószilárdság, $c_u = 34,0 \div 334,0 \text{ kN/m}^2$.

4. Laboratóriumi vizsgálati program

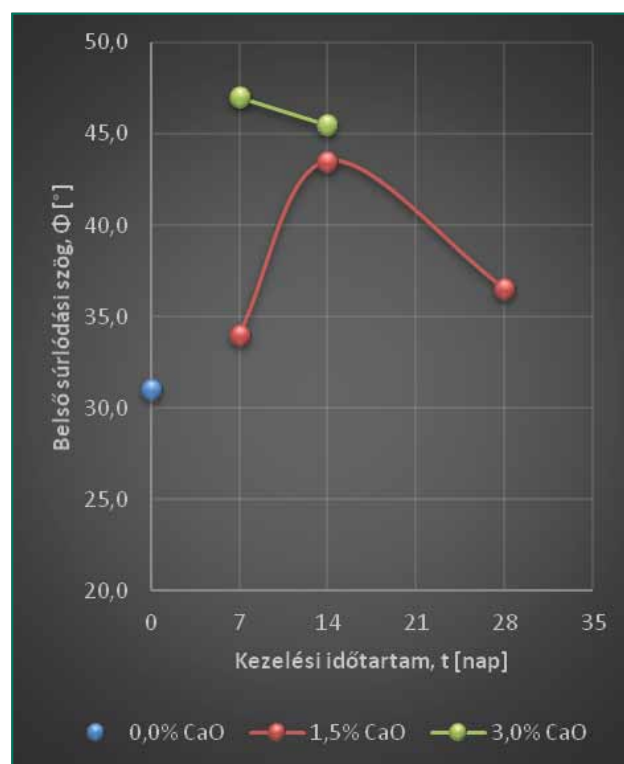
A laboratóriumi vizsgálati program számos forrásból származó dokumentumból állt össze. A vizsgálati specifikációk némileg eltértek egymástól, gyakran a projektnek a vizsgálat időpontjában fennálló követelményeit tükrözve. Ez a cikk az agyagos meddőhalom anyagának (Cypris agyag) eredményeit mutatja be, melyet a következő kötőanyag típusokkal és adagolásokkal kezeltek:

- CL90Q mész 1.5, ill. 3 % adagolással
- CL90Q mész és cement keverék (50-50 %, továbbiakban: C50L50) 1.5, 3, 4 és 6 % adagolásokkal
- Pernye (Chemnitz, Németország) 5 és 50 %-os adagolással

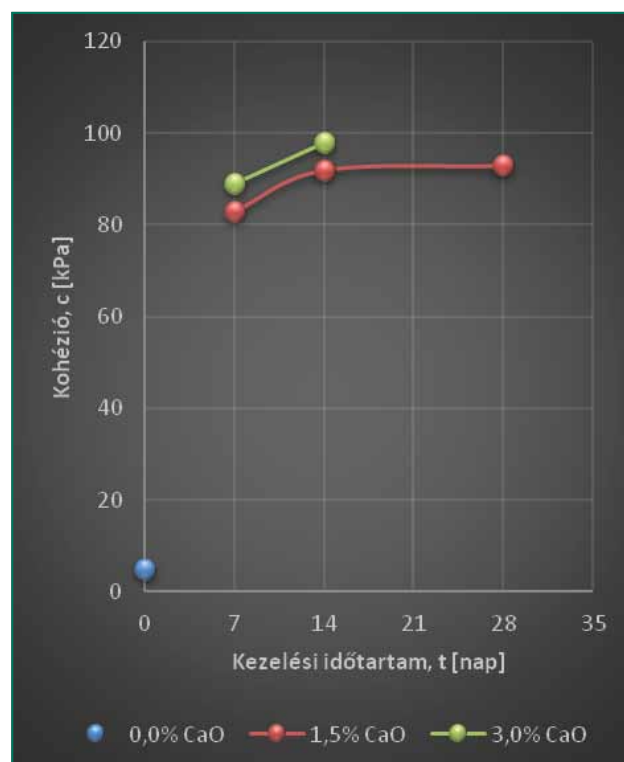
A vizsgálati program közvetlen nyírásvizsgálatokat (nyíródoboz), CBR és egyirányú nyomószilárdság (UCS) vizsgálatokat tartalmazott. A fagyhatás különböző geotechnikai paraméterekre gyakorolt hatását is vizsgálták.

4.1 Hatékony nyírószilárdság

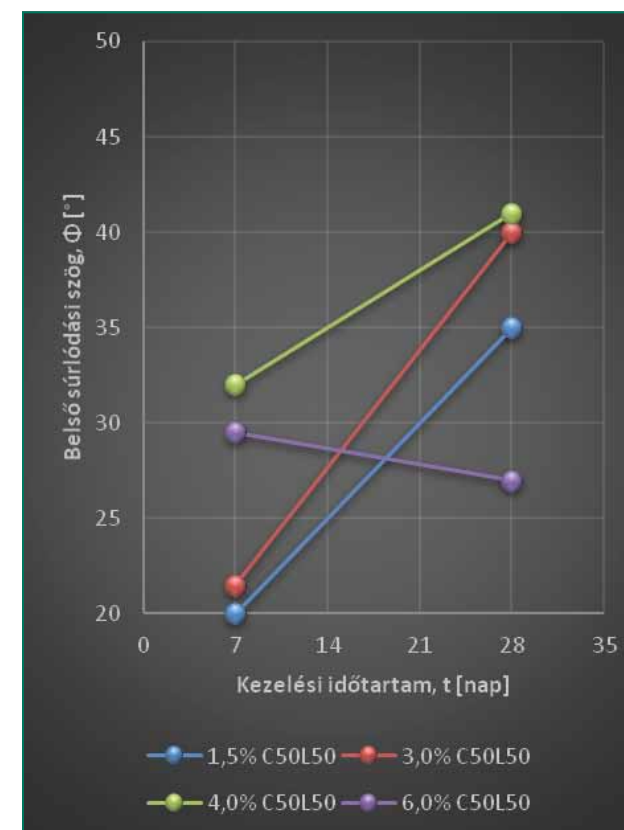
A hatékony nyírószilárdsági paraméterek meghatározásához közvetlen nyírásvizsgálatok kerültek elvégzésre, melyeket a kezeletlen, a mésszel, ill. a mész-cement keverékekkel kezelt mintákon hajtottak végre, lásd: 1-4. ábrák.



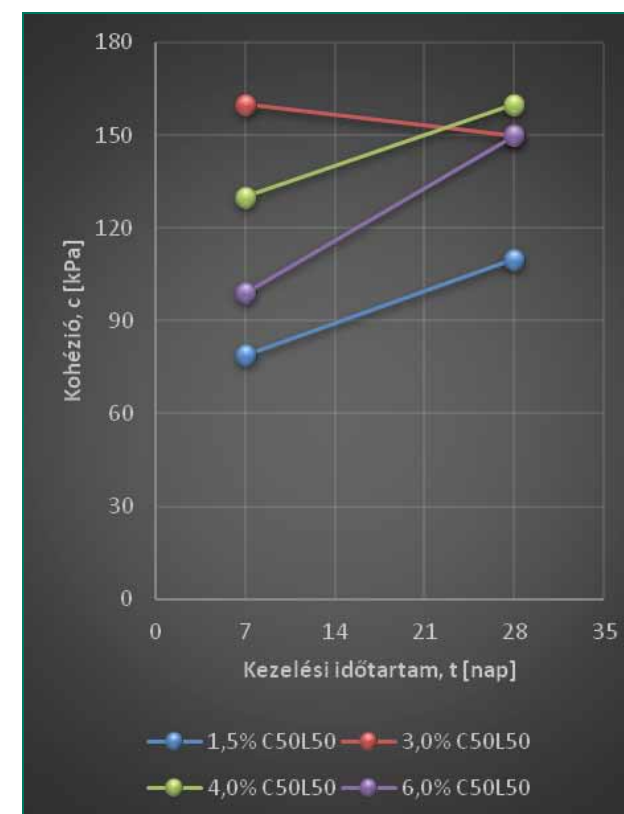
1. ábra: Belső súrlódási szög – kezelési időtartam, meszes keverékek



2. ábra: Kohézió – kezelési időtartam, meszes keverékek



3. ábra: Belső súrlódási szög – kezelési időtartam, mész-cementes keverékek

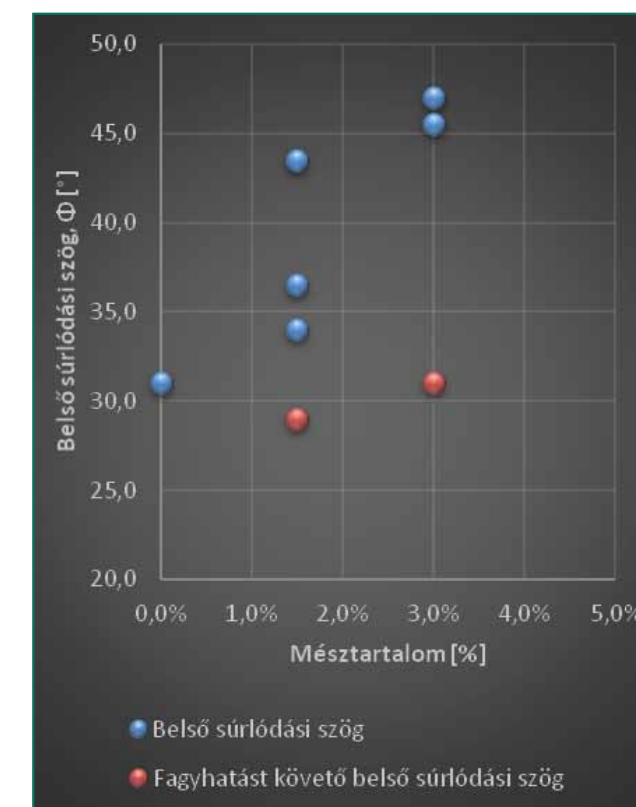


4. ábra: Kohézió – kezelési időtartam, mész-cementes keverékek

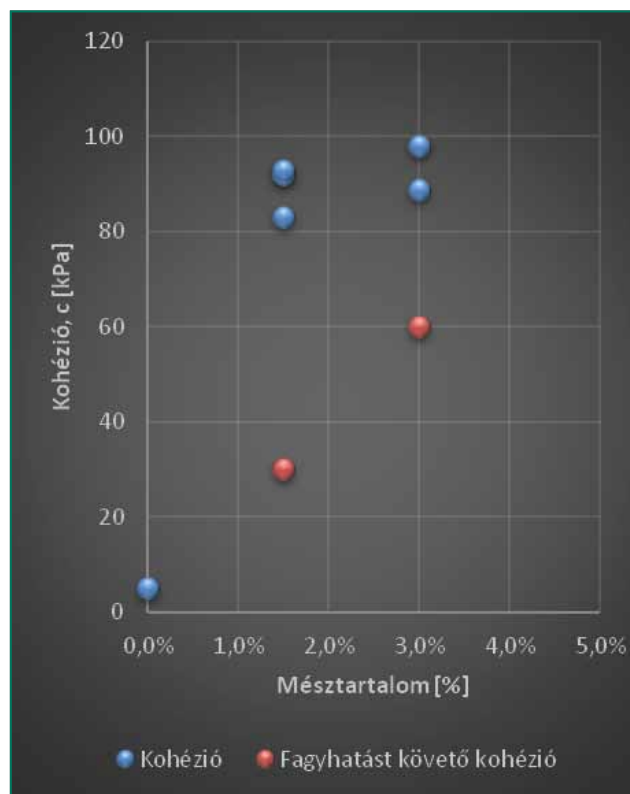
Figyelembe véve a kezeletlen talaj kb. 30 °-os hatékony belső súrlódási szögét, 28 napos kezelési idő után növekedés volt tapasztalható mind a mész-, mind a mész-cementes keverékek esetében (kivéve a 6 %-os mész-cement adagolást). A stabilizált agyagos talajok esetében a hatékony kohézió nagyon magasnak bizonyult, összességében 80 kPa és 160 kPa, meszes keverékek esetében 90 kPa körüli értékeket kaptunk eredményül (az eredeti talaj kohéziója 5 kPa volt).

4.1.1 Fagyhatással szembeni viselkedés

A fagyhatás hatékony nyírószilárdsági paraméterekre gyakorolt hatását vizsgálták meszes keverékek vonatkozásában. Amint az 5. és 6. ábrán látható, különösen a 1,5 %-os mésztartalmú keverékek kohéziója esetében volt tapasztalható jelentős csökkenés.



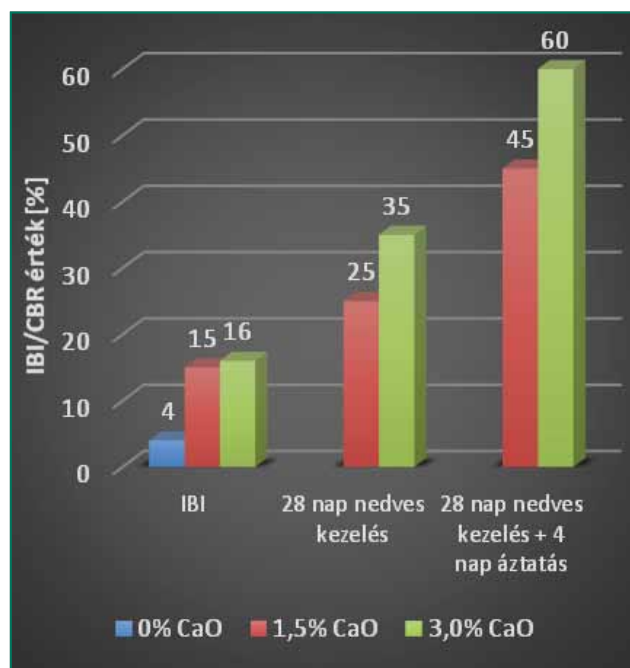
5. ábra: Fagyhatás befolyása a belső súrlódási szögére



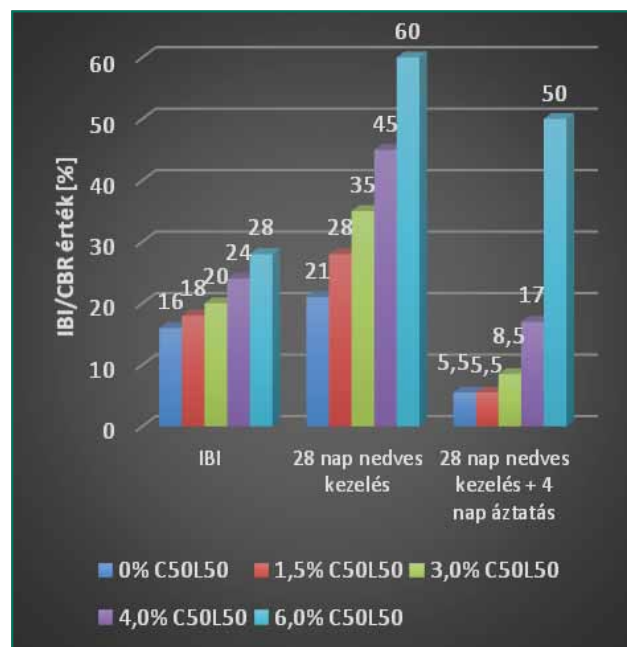
6. ábra: Fagyhatás befolyása a kohézióra

4.2 CBR

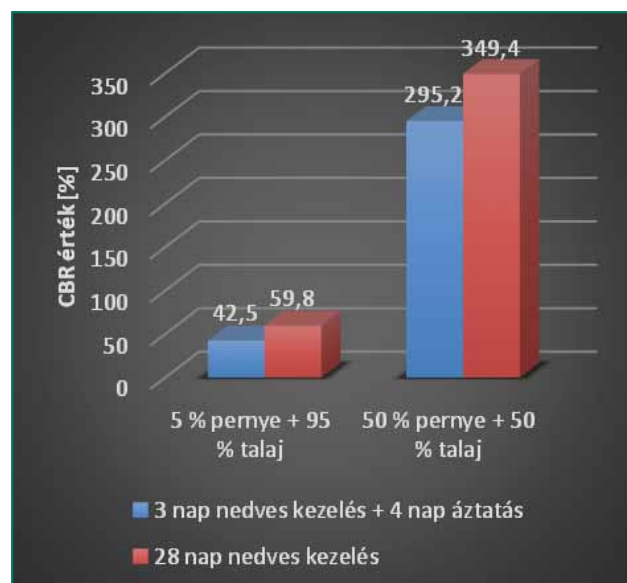
CBR vizsgálatokat végeztek a kezeletlen talajmintákon, a mésszel, méssz-cement keverékkel, ill. a pernyével kezelt keverékeken, melyek eredményeit a 7-9. ábrák mutatják.



7. ábra: IBI/IBR – meszes keverékek



8. ábra: IBI/IBR – méssz-cementes keverékek



9. ábra: CBR – pernyés keverékek

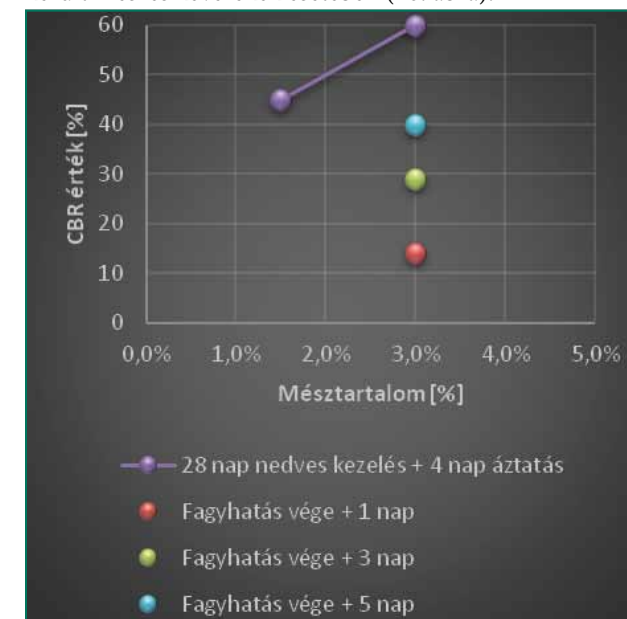
Amint az a 7. ábrán látható, a CBR értékek a mésztartalom növekedésével nőttek, a 28 napos nedves kezelési időtartam esetében. Az ezt követő 4 napos áztatás tovább növelte a CBR értékeket, elérve a 45 %-ot, illetve 60 %-ot 1,5 % és 3 %-os mésszadagolás tekintetében.

A CBR értékek a méssz-cementes keverékek esetében is növekedtek a 28 napos nedves kezelési időtartam során (8. ábra). Az ezt követő 4 napos áztatás azonban minden keverék esetében jelentős csökkenést eredményezett a CBR értékekben, ez alól egyedüli kivételt képzett a 6 %-os méssz-cement adagolás, amely esetében a CBR 50 % maradt.

Az 5 % pernye + 95 % talaj és az 50 % pernye + 50 % talaj összetételű keverékek minimális CBR értékei (3 nap nedves kezelés + 4 nap áztatás után) 42,5 %-ra, illetve 295 %-ra adódtak (9. ábra).

4.2.1 Fagyhatással szembeni viselkedés

A fagyhatás CBR értékekre gyakorolt hatása is vizsgálatra került meszes keverékek esetében (10. ábra).

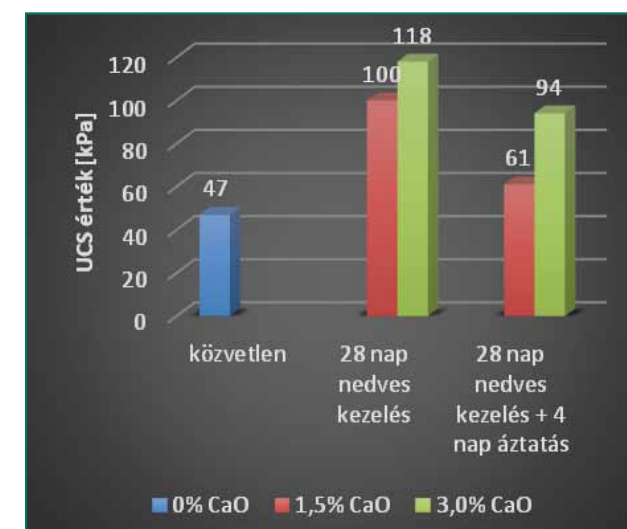


10. ábra: Fagyhatás és CBR

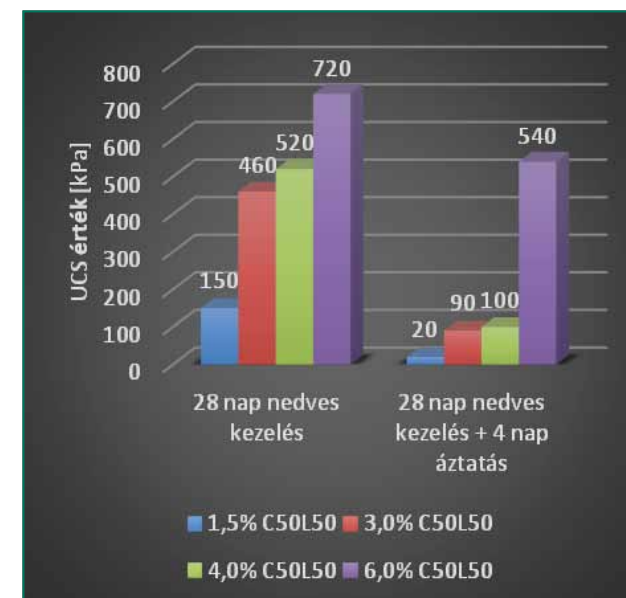
A vizsgálat előtt a mintákat 28 napos nedves kezelésnek vetették alá, amelyet 4 nap áztatás követett. A CBR értékek a fagyhatás megszűnését követő 1, 3 és 5 nappal kerültek meghatározásra. Megállapítható, hogy a 3 % meszet tartalmazó keverék esetében a CBR érték jelentősen, 60 %-ról 14 %-ra esett vissza, mindössze 1 nappal a fagyhatás megszűnése után. A fagyhatás megszűnését követő 3. és 5. napon vizsgált, növekvő tendenciát mutató CBR értékek végül elérve a 40 %-ot, nagyobb részt visszanyerték a kiinduló CBR értéket.

4.3 Egyirányú nyomószilárdság - UCS

Egyirányú nyomószilárdság vizsgálatok is készültek a kezeletlen talajminták, a mésszel, ill. a méssz-cement keverékkel kezelt minták vonatkozásában. Az eredmények a 11-12. ábrán láthatók.



11. ábra: UCS – meszes keverékek



12. ábra: UCS – méssz-cementes keverékek

A várakozásoknak megfelelően, nagyobb UCS értékek adódtak eredményül a méssz-cementes keverékek esetében. A 28 napos nedves kezelést követő 4 napos áztatás azonban az UCS értékek jelentős csökkenését eredményezte minden méssz-cement + talaj keverék esetében, kivéve a 6 % kötőanyagot tartalmazó keveréket. Az áztatást követő, lecsökkent UCS értékek a csak meszet tartalmazó keverékek eredményeihez hasonló szintet képviselnek (lásd: 11. és 12. ábra).

4.4 Vizsgálati eredmények kiértékelése

A mésszel kezelt agyagos talajok esetében nagyon magas hatékony kohézió értékek adódtak eredményül (90 kPa körül, míg kezeletlen talaj esetében 5 kPa), ám ezen értékek használata a geotechnikai számítások során nem lenne konzervatív megközelítés. Mindenképp megfontolandó, hogy a Nowak és Gilbert [1] tanulmányában és az Arcadis Geotechnika [2] által megállapított várható jellemző eredményeket vegyük alapul mésszel stabilizált agyagtöltések esetében: $\phi' > 25^\circ$ -os vagy a kezeletlen talaj hatékony belső súrlódási szögét és $c' > 10$ kN/m² hatékony kohézió értéket (a vizsgálati eredményekből származó c' értéket fenntartásokkal kell kezelni). A puccolán reakció biztosítása elengedhetetlen stabilizáció vizsgált teljesítménymutatóinak hosszútávú fenntartásához.

Jelentős visszaesés volt tapasztalható a mésszel stabilizált keverékek vizsgált hatékony szilárdsági paramétereiben a fagyhatásnak való kitettséget követően. A hatékony kohézió 80 kPa-ról 30 kPa-ra, illetve 90 kPa-ról 60 kPa értékre csökkent a 1,5 és a 3 % mésztartalmú keverékek esetében. Amennyiben ezen stabilizált rétegek faggyal szembeni védelme nem biztosított, valamint a geotechnikai számítások során a mésszel stabilizált agyagok magas hatékony kohézió értékkel kerülnek figyelembevételre, úgy számolni kell az állékonysági problémák előfordulásának magas kockázatával. Azonban az is megfigyelhető, hogy a fagyhatás miatti csökkenés nem eredményezett a Nowak és Gilbert [1] által megadott $c' > 10$ kN/m² alatti értékeket.

A vonatkozó cseh szabvány által töltésekre előírt IBI/CBR 10/15 %-os alsó határértékeket a CBR vizsgálati eredményekkel összevetve, az agyagos talaj kezeléséhez a 1,5 % és 3 %-os mészadagolás (CBR 45 % és 60 %) vagy 5 %-os pernye adagolás (CBR 43 % és 60 %) volt előnyben részesíthető. A mész-cement (50-50 %) kötőanyagtartalmú keverék nem bizonyult megfelelőnek, mivel az áztatás utáni CBR érték 15 % alá csökkent. Egyedül a 6 %-os mész-cement kötőanyagot tartalmazó talajkeverék tartotta meg az 50 %-os CBR értéket.

Fagy hatására szignifikáns visszaesés volt tapasztalható a 3 % mésztartalmú agyagos talajkeverék CBR értékében. A fagyhatás megszűnését követő első napra az eredetileg vizsgált 60 %-os CBR érték 14 %-ra esett vissza, amely az idő múlásával visszajavult egészen 40 %-ig a fagyhatás megszűnését követő 5. napra. Ennek alapján kijelenthető, hogy még magas (50 % feletti) CBR érték esetében is fennállhat rövid távon az állékonyságvesztés kockázata, amennyiben az adott réteg folyamatos fagyhatásnak van kitéve.

Általánosságban kijelenthető, hogy mind a meszes, mind a mész-cementes kötőanyagú keverékek esetében alacsony egyirányú nyomószilárdság (UCS) eredményeket kaptunk a 28 nap nedves kezelést követő 4 napos áztatás után (20 kPa – 540 kPa). Ezen eredmények messze elmaradnak az újonnan megjelenő e-UT 06.02.13. [3] által talajstabilizációkra előírt 1 MPa-os nyomószilárdsági küszöbértéktől. Pernyés keverékek esetében nem állt rendelkezésünkre UCS vizsgálati eredmény.

Az optimális hidraulikus kötőanyag kiválasztására vonatkozó döntéshozatali folyamat számos, jelen projekt

szempontjából elengedhetetlen körülményt tartalmazott. Végül, az agyagos meddőhalom 1,5 %-os, ill. 3 %-os mészadagolása mellett döntött a Beruházó a töltések, ill. földmű felső rétegek vonatkozásában.

5. Összegzés

A közölt eredmények alátámasztják, hogy a Cseh Köztársaság északnyugati részén nagy mennyiségben rendelkezésre álló szénbányászati melléktermékek, potenciális alternatívái a hagyományos szemcsés bányanyagoknak vagy egyéb töltésepítésre alkalmas anyagoknak.

Fontos kihangsúlyozni, hogy meszes agyagtalajok kezelése esetén a laboratóriumban vizsgált magas hatékony kohézió értékek fenntartásokkal kezelendők, valamint, hogy fagy hatására rövid távon a kezelt keverék hatékony szilárdsági jellemzőiben (ϕ' , c' , CBR) komoly csökkenés volt megfigyelhető. Azonban a fagyhatás megszűnését követően, az idő múlásával (CBR eredmények alapján) egyfajta öngyógyító képesség volt tapasztalható.

A friss e-UT 06.02.13. [3] kapcsán látható, hogy egyes talajtípusok esetében nem egyszerű feladat az előírt 1,0 MPa-os egyirányú nyomószilárdsági követelményt teljesíteni, mely követelmény egyúttal a fagyállóság igazolására is szolgál.

A szén-dioxid lábnyom csökkentésére vonatkozó fokozódó nemzetközi ambíciók folytán az előállított kötőanyag keverékek, alternatívák át-/újragondolása esedékes.

6. Irodalomjegyzék

[1] Nowak P, Gilbert P. (Originally created by Trenter NA.). Earthworks: a guide. 2nd ed. London: ICE Publishing; 2015.

[2] Czech Republic. Arcadis Geotechnika - Kresta F, editor. Uprava Zemin. Technicke podminky. TP94. Prague. Ministerstvo dopravy odbor pozemnich komunikaci; 2013

[3] MAÚT: e-UT 06.02.13:2022 – Kötőanyag-hozzáadással készülő talajkezelések

Zöld technológiák, energiamegtakarítás - új trendek az aszfalttechnológiában

(A cikk kivonata az V. Nemzeti Közlekedési Napokon, 2022. október 12.-én a Technológia szekcióban elhangzott előadásnak)

Dr. Almássy Kornél

adjunktus
Budapesti Műszaki Egyetem
Építőmérnöki kar



Koch Domonkos

PhD hallgató
Budapesti Műszaki Egyetem
Építőmérnöki kar



1. Energiacsökkentés az útépítésben

Napjainkban a növekvő energiaárak még nagyobb jelentőséget adnak az útépítésben alkalmazott, vagy alkalmazni kívánt „zöld” technológiáknak, melyek az elmúlt években, évtizedekben a klímaváltozás elleni küzdelem okán kerültek fokozatosan előtérbe. Az energia-felhasználás és a környezetterhelés az útépítésben is párhuzamba állítható egymással, különös tekintettel a burkolatokra. A környezetterhelés csökkentésének legkézenfekvőbb megoldása a gyártásközi energiacsökkentés alkalmazása, ugyanakkor komoly előrelépés jelent környezetterhelési szempontból minden olyan megoldás, amely hatékonyabb termelési folyamatokat jelent (pl. újrahasznosítás), és/vagy tartósabb, hosszabb élettartalmú útpályaszerkezetet hoz létre. Összességében a legnagyobb előrelépés akkor érhető el, ha újrahasznosítási technológiákkal tartós pályaszerkezeteket hozunk létre és mindezt a korábbi technológiákhoz képest alacsonyabb hőmérsékleten tesszük. Természetesen csak idealisztikus feltételek együttese fennállása teszi lehetővé, hogy az előzőekben felsorolt hármas technológiai sort alkalmazzuk a jelenlegi útpályaszerkezeti gyártási eljárásokban, de

önmagában akár a gyártásközi energiacsökkentést akár az újrahasznosítási technológiákat alkalmazzuk már komoly előrelépést tehetünk a környezeti terhelésünk csökkenése érdekében. Megjegyzendő, hogy sem az újrahasznosítási eljárások, sem az energiatárolás csökkenése nem jelenti az utak burkolatának általános romlását. Az előállítással kapcsolatban fentiekben megfogalmazott állítások az aszfaltgyártásra vonatkoznak, mert a hazai úthálózat burkolatának túlnyomó részét aszfalt borítja.

1.1. Az energia csökkentés célja

A fentiek értelmében az aszfalt gyártásközi energiacsökkentése a gyártási hőmérséklet csökkentését jelenti. A magas hőmérséklet célja, hogy a bitumen viszkozitása ideiglenesen lecsökkenjen annyira, hogy az be tudja vonni a szemcséket, és a munkaterületre szállítva beépíthető legyen.

A zöld technológiák célja a viszkozitás csökkentésével egy tisztább és egészségesebb környezet elérése a dolgozók, a környéken lakók és az egész társadalom számára.



1. ábra Viskozitás csökkentéssel az élhetőbb környezetért

1.2. Viskozitás csökkentésének módszerei

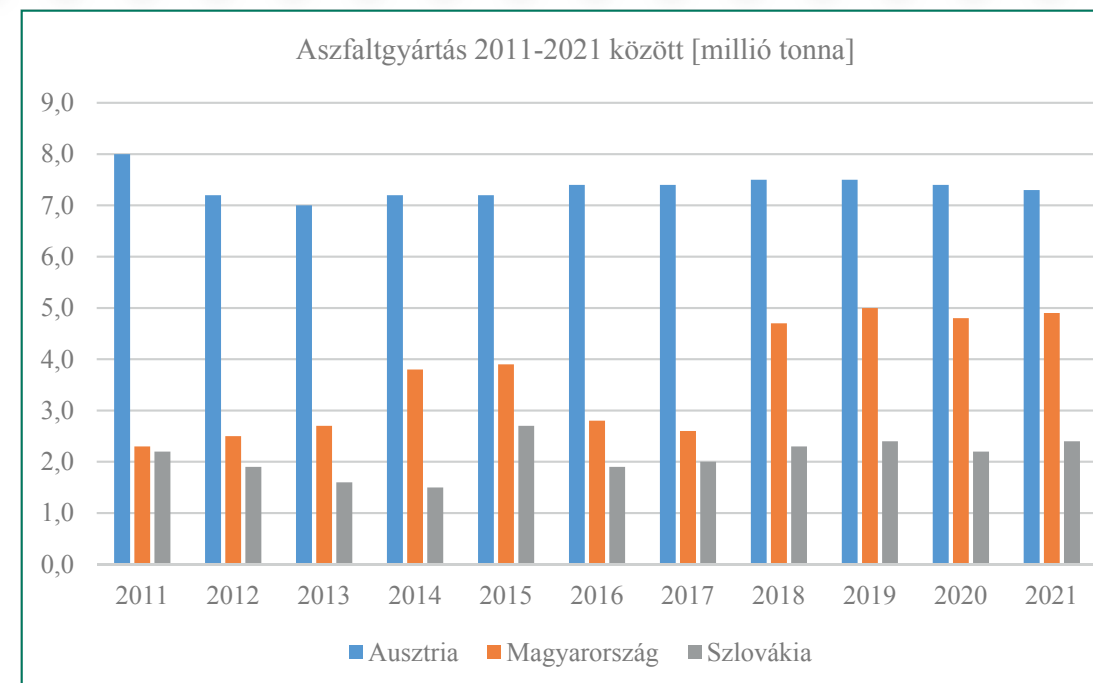
A meleg aszfaltkeverékek (Hot Mix Asphalt, HMA) gyártási hőmérséklete 160-180 °C között van. Különböző viszkozitás csökkentő eljárások segítségével gyárthatók a „mérsékelt meleg aszfaltok” (Warm Mix Asphalt, WMA) 120-150 °C között, félmeleg aszfalt keverékek pedig 60-100 °C között. A meleg eljárások során a kőanyag szárításának energia szükséglete csak részben takarítható meg.

A bitumen viszkozitásának csökkentése az alábbi módokon érhető el:

- szerves adalékszerek alkalmazásával
- habosítással
- vegyi adalékanyagokkal

A **vegyi adalékanyagok** a bitumen és a kőanyag felületén hatnak, lecsökkentik a felületi feszültséget, így a szemcsék bevonódása könnyebben létrejön. Ezzel a technológiával minimum 30 °C csökkentés érhető el.

A **habosítás** egy elterjedtebb eljárás, mely során 130-150 °C hőmérsékletű bitumen vízzel találkozik. A forró bitumen hatására a vízből vízgőz keletkezik, az bitumen-víz elegy térfogata többszöröse nő, habosodik. Ennek a habos állagnak a viszkozitása lényegesen alacsonyabb, mint a bitumennek önmagában, így a keveréshez szükséges viszkozitás alacsonyabb hőmérsékleten érhető el, vagy magasabb hőmérsékleten gyártva a bedolgozhatóság hosszabb ideig fenntartható.

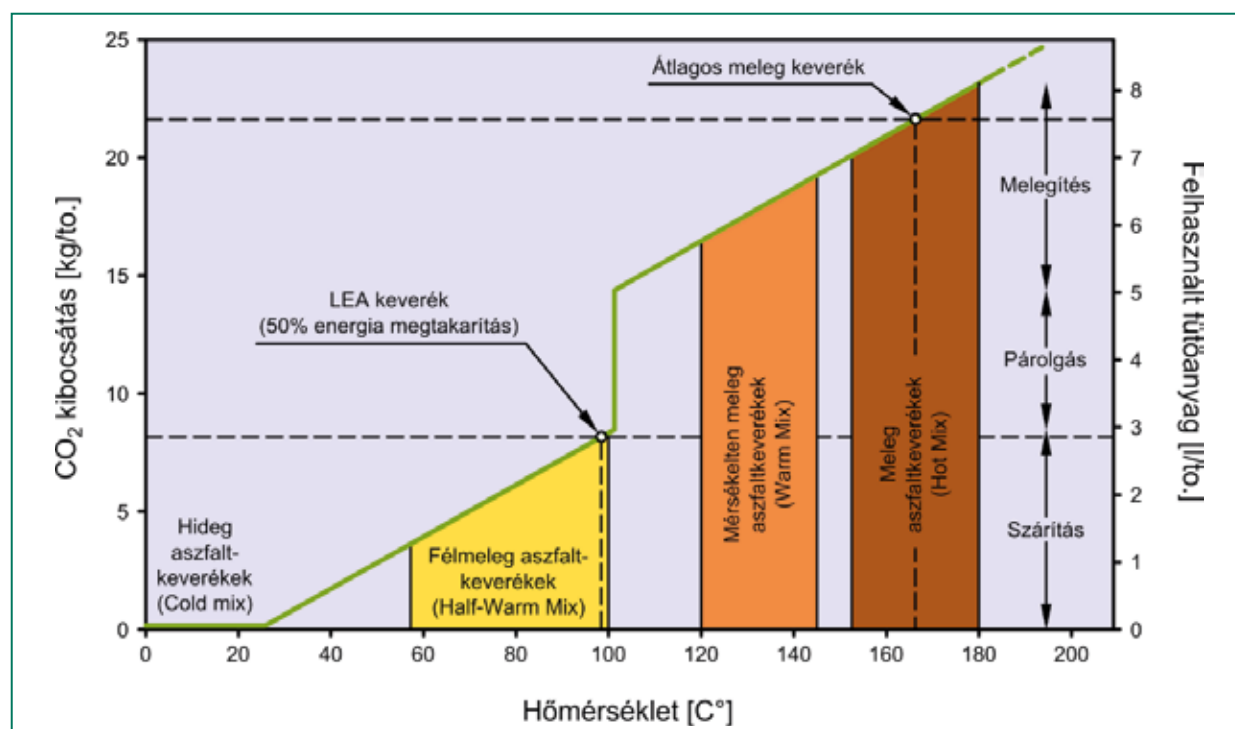


3. ábra Aszfaltgyártás Ausztriában, Magyarországon és Szlovákiában 2011-2021 között [3]

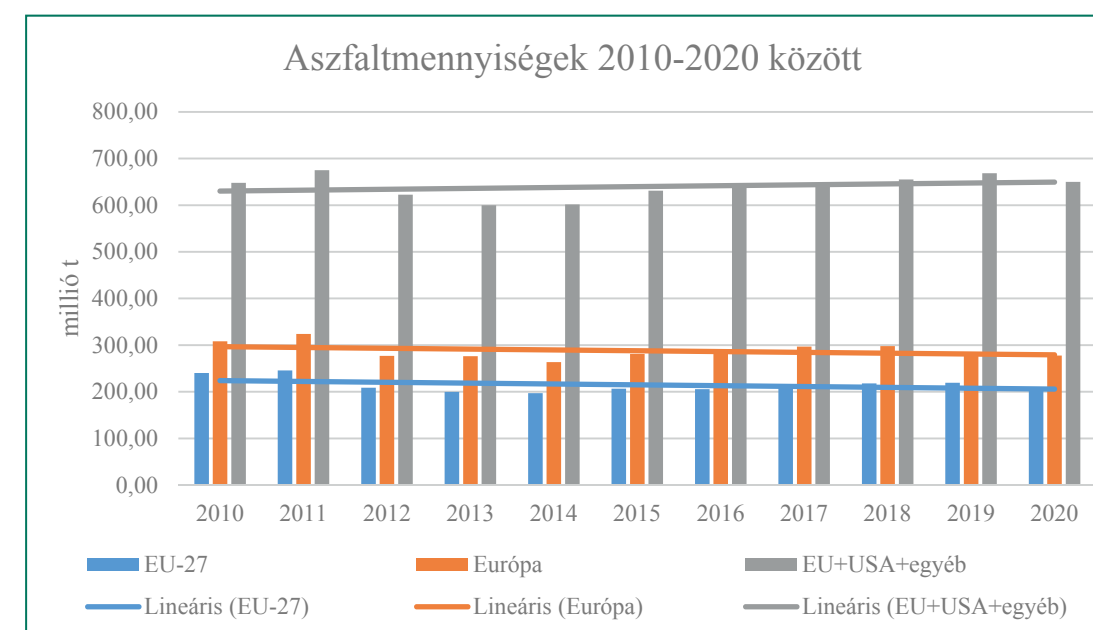
A technológia előnyeit az alábbi pontokban foglalta össze Veress [2]:

- alacsonyabb keverési hőmérséklet, mérsékelt energia-fogyasztás, ezáltal az energiaköltségek csökkentése,
- üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklése,
- alacsonyabb füst, gőz, gáz és szag kibocsátás; munkavállalókat érő káros környezeti hatások csökkentése a gyártás és beépítés során,
- a terítéshez és tömörítéshez szükséges viszkozitás hosszabb ideig történő fenntartása,

- alacsonyabb terítési hőmérséklet, kiterjeszthető burkolatépítési időszak, növelhető szállítási távolság,
- alacsonyabb tömörítési hőmérséklet, hosszabb tömörítési idő,
- korábbi forgalomba helyezés,
- a hagyományos aszfaltokéhoz hasonló, vagy akár jobb teljesítmény,
- az alacsonyabb gyártási hőmérséklet miatti kisebb bitumenöregedés növeli a termikus fáradás okozta repedésekkel szembeni ellenállást.



2. ábra Aszfaltgyártás különböző hőmérsékleteken [1]



4. ábra Aszfaltgyártás a világon 2010-2020 között [3]

2. Aszfaltgyártási trendek Európában és a világban

Az energiacsökkentés szempontjából a legyártott aszfaltok mennyisége is mértékadó lehet. Az EAPA adatai alapján megállapítható, hogy az elmúlt évtizedben egyedül Magyarország és Norvégia tudta növelni a legyártott aszfaltmennyiséget, a kontinens legtöbb országára stagnálás, a legnagyobb országokra (Németország, Franciaország, Spanyolország) enyhe csökkenés volt jellemző.

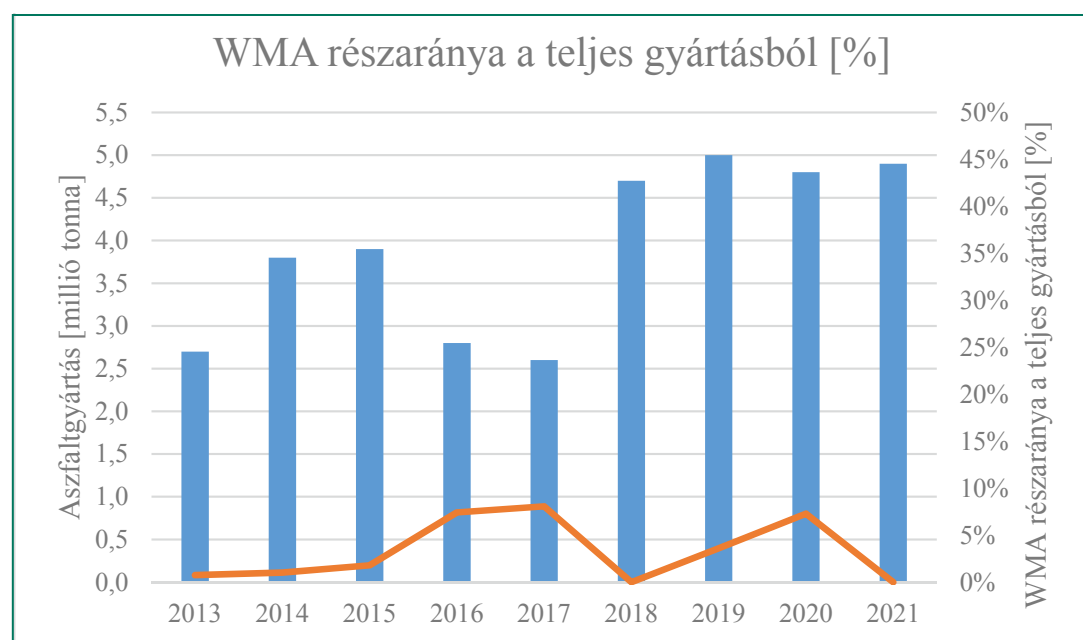
Általánosságban elmondható, hogy világviszonylatban (EU-27, Európa, Európa+USA+Canada+Dél-Afrika), az aszfaltgyártás mennyisége az elmúlt évtizedben stagnált.

2.2. WMA gyártás

Mivel már az évtized elején rendelkezésre álltak a WMA gyártáshoz szükséges különböző technológiák, érdemes megvizsgálni, hogyan változott a gyártott WMA mennyisége, azaz, hogy mennyi aszfaltot sikerült energiacsökkentett módon előállítani.

Összességében elmondható, hogy Európában a WMA keverékek gyártása folyamatosan nő, 2020-ban 8,3 Mt WMA keverék került gyártásra, ami egy évtized alatt 100%-os növekedést jelent. Ahogy az fentebb olvasható, az össz-aszfaltmennyiség Európa- és világszerte stagnál, így ez a növekedés nem a teljes mennyiség növekedésének tudható be, hanem a WMA részarányának növekedését jelenti az összes gyártási technológia között.

Hazánkat vizsgálva elmondható, hogy a WMA gyártás hullámzó, nem követi a kontinens többi országában meglévő egyértelműen növekvő trendet, ugyanakkor 2017-ben a teljes mennyiség 8,1%-át adta.



5. ábra WMA gyártás részaránya Magyarországon [3]

2.3. Viasszanyert aszfalt (RAP) felhasználás

Az aszfaltgyártásban alapanyag spórolható meg viasszanyert aszfalt adagolással. Mind a nemzeti szabványügyi testületek, mind a keverőgépgyártók elindultak abba az irányba, hogy a lehető legtöbb viasszanyert aszfaltot lehessen felhasználni a keverőgyártás közben, az aszfalt ugyanis 100%-ban újrahasznosítható. Az EAPA adatai alapján 2020-ban 46,4 Mt aszfalt készült viasszanyert aszfaltból, ami a teljes európai mennyiség 20%-a. Ennek a mennyiségnek a 64%-a került vissza forró (HMA), mérsékelt meleg (WMA) vagy egyéb aszfalt keverékekbe, 33%-a különböző utak kötőanyag nélküli rétegeibe épült be és mindössze 3%-a került egyéb hasznosításra. [3]

A RAP felhasználás azonban energiatöbbletet igényel, ami akár ellentmondást is jelenthet a cikk bevezetőjében említett célokkal. Ugyanakkor az energiatöbblet igénye elenyésző az egyéb alapanyag megtakarítási hasznokkal, ahogy Nádasi Réka azt az Ütőgyi Lapokban közölte „Aszfaltkeverékek energiatartalmának vizsgálata” című [4] írásában részletesen kifejti: “

A grafikonról leolvasható, hogy a 10%-os RAP tartalom esetében 3-4 MJ energiatöbblet szükséges. Ez LEA esetén 2,3%-os, habosított keverék esetén 2,2%-os, HMA keveréknél pedig 2% energianövekedést jelent, ami a rendszer egésze mellett eltörpül, így kijelenthető, hogy a mart aszfalt alkalmazása nem jelent számottevő energiai igényt. Ezzel nem csak az egyébként jó minőségű viasszanyert anyag felhasználását oldhatjuk meg. A mart aszfalt felhasználás energiai igényének költségei a nyersanyagok csökkentésének oldalán, többszörösen megtérülnek. A táblázatból pedig az is látható, hogy a mart aszfalt arányának további növelése sem eredményez számottevő energiaszükséglet növekedést. A legnagyobb mértékű emelkedés LEA keveréknél mutatkozik (12,6%), ám ez még mindig 32%-kal alacsonyabb, mint a HMA keverék esetében.” [4]



6. ábra RAP felhasználás energiai igénye [4]

3. Újrahasznosítás és energiacsökkentés: gumibitumenes WMA keverékek

Nyilvánvaló, hogy minden olyan útépitési technológia, amely jobb minőségű utakat eredményez, az végsősoron alacsonyabb költségintet, kevesebb környezeti terhelést és nagyobb társadalmi hasznot jelenthet. Nemzetközi viszonylatban és hazánkban egyre jobban elterjedőben vannak az újrahasznosított gumiőrlemény felhasználásával készülő bitumenes aszfaltkeverékek, az úgynevezett gumibitumenes keverék alkalmazása. Ezen keverékek aszfaltmechanikai – különösen a MOL által fejlesztett gumibitumen – tulajdonságai kedvezőbbnek mondhatók a hagyományos bitumennel készült keverékekhez képest és abszolút versenytársai a modifikált bitumennel készült aszfaltkeverékeknek. [5]

Az elmúlt évek kutatásai alapján a gumibitumen előnyös tulajdonságait energiacsökkentett gyártási technológiák alkalmazása esetén is ki lehet használni. Egy spanyol kutatásban azt vizsgálták, hogyan teljesít a WMA-Gmb keverék. Négy keveréket vizsgáltak.

A kontroll keverék Pmb 45-80-65-ös bitumennel, a gumibitumenes keverék 70/100-as bitumenhez adagolt 20 tömegszázaléknyi gumiőrleménnyel készültek. A WMA eljárás során felhasználtak egy paraffinos (Sasobit®) szerves anyagot és egy felület aktiváló kémiai adalékot (Zycotherm®). A keverék maga BBTM 11A jelű keverék volt, amit különböző hőmérsékleteken gyártottak le. Az EN 12697-26 szabvány szerint elvégzett merevség mérések alapján a kémiai adalékanyag keverék kivételével a gumibitumenes keverékek jobban teljesítettek minden vizsgálati hőfokon a polimeres keveréknél, legjobb eredményt a paraffinos adalékkal sikerült elérni. Ennek a keveréknek a keréknyomképződés vizsgálati eredménye gyakorlatilag megegyezett a Pmb-s keverék eredményével. [5] [6]

5. Irodalomjegyzék

- [1] Tóth Csaba, LEA® – alacsony energiatartamú aszfaltkeverék, Ütőgyi Lapok, 2014. 2. évf., 3.szám
- [2] Veress Tibor, Európai útépitési trendek – mérsékelt meleg aszfaltok (WMA), KKK Közüti Üzemeltetési és Fenntartási Napok, 2013
- [3] EAPA, Asphalt in Figures 2020 Commented Version, 2021
- [4] Nádasi Réka, Aszfaltkeverékek energiatartalmának vizsgálata, Ütőgyi Lapok 3. évf. 6 sz. 11-23, Budapest, 2015
- [5] Almássy – Geiger, Gumibitumen alkalmazások a nagyvilágban, Aszfaltmagazin, 17. évf, 2020/2.szám
- [6] Miguel Sol-Sánchez - Ana Jiménez del Barco Carrión - Ana Hidalgo-Arroyo - Fernando Moreno-Navarro - Leticia Saiz - María del Carmen Rubio-Gámez, Viability of producing sustainable asphalt mixtures with crumb rubber bitumen at reduced temperatures, Construction and Building Materials Volume 265, 30 December 2020

4. Összefoglalás

A legyártott aszfaltok mennyisége az egész fejlett világban stagnál, de továbbra is hatalmas mennyiségű aszfaltot gyártanak világszerte, ugyanakkor az előállítás költsége a megnövekedett energiaköltségek miatt egyre elviselhetetlenebb terheket jelent az építőipar számára, illetve fontos szempontként jelenik meg, hogy az egyes építési termékek, így az aszfalt előállítása is minél alacsonyabb környezeti terhelést jelentsen. Ennek megfelelően előtérbe kerülnek az energiacsökkentett eljárások, valamint a viasszanyert aszfalt adagolás a jövőben hangsúlyosabb szerepet kap. A jelenlegi magas energiaköltségeket látva mind a beruházói, mind a kivitelezői oldalnak elemi érdekévé vált az alacsonyabb energiai igénytel, és így alacsonyabb költséggel készülő aszfaltkeverékek alkalmazása. Az energiaárak pár éven belüli normalizálódása esetén is fontos volna környezetvédelmi szempontból előtérbe helyezni az alacsony energiai igényű és újrahasznosított anyagok alkalmazását az útépitésben. Ennek érdekében a beruházói oldalnak a közbeszerzések kiírása esetén a környezetvédelmi tulajdonságokat, (építmény energialábnyoma teljes életciklus költsége) értékelési szempontként kellene alkalmazni az ajánlatok elbírálása esetén. Végezetül fontos kiemelni, hogy a fentiekben bemutatott aszfaltgyártási technológiák nem jelentenek újdonságot, évek évtizedek óta jelen vannak a szakmai köztudatban, elterjedésük azonban sokszor kényelmi szempontok, vagy megfelelő gazdasági érdek híján nem volt számottevő a hazai útépitési szektorban. A bőség ideje azonban lejárt, így az energia költségeink csökkentése és végső soron egy élhetőbb környezet megteremtése érdekében szükségessé vált, hogy ezen zöld, aszfaltútépítési technológiák mind hazai, mind nemzetközi viszonylatban nagyobb teret nyerjenek.

8TH E&E CONGRESS
EURASPHALT & EUROBITUME
19 – 21 JUNE 2024
BUDAPEST
HUNGARY

A bitumen keverőgépi viszkozitásának mérése és a módszer lehetséges szerepe egy bitumen átvételi rendszer részeként

Skronka Gábor - Tóth József

Skronka Gábor

technológus
TPA HU



1. Bevezetés

Az egyenletes minőséget biztosítani kívánó gyártás előfeltétele az egyenletes minőségű és tulajdonságú alapanyagok felhasználása. Az alapanyagok egyenletes minősége lehetőséget ad az optimális gyártási folyamatok kidolgozására, amelyek így végeredményben ismételhetővé válnak és garantálni képesek a végeredmény egyenletes minőségét is. Azonban az aszfaltgyártás esetén az alapanyagok (bitumen, adalékanyagok) ásványi eredetéből kifolyólag szükséges bizonyos szintű ingadozással számolni. Az alapanyagok tulajdonságainak kiugróan magas változására viszont a gyártás már nem képes időben reagálni, ami így a minőség romlását eredményezheti.

A bitumenes kötőanyagok minőségének ellenőrzése mind a gyártó, mind pedig a felhasználó üzemi gyártásellenőrzésének részét képezi. Azonban a kétszeres ellenőrzés ellenére is előfordulhat, hogy az előírásoknak nem minden paraméterében megfelelő bitumen is bekerül az aszfaltgyártásba, jelentős károkat okozva ezzel a gyártónak. A probléma hatékony megoldását jelentheti a bitumenek keverőtelepen történő lefejtése során mért viszkozitásának meghatározása, mely egy bitumen átvételi rendszer részét képezhetné. Az ilyen módon lement viszkozitás értékek még időben ki tudják szűrni az adott bitumen típus jellemző konzisztenciájától jelentősen eltérő kötőanyagokat, melyek így gyorsított ütemben külön vizsgálatok tárgyát képezhetik.

2. Probléma ismertetése

2.1 Jelenlegi állapot

Miután a tartálykocsi megérkezik az aszfaltkeverőre, a bitumen lefejtésre kerül, majd az üzemi gyártásellenőrzés részeként minden 300. tonna bejövő bitumen után mintavétel és vizsgálatok következnek. A bejövő bitumenek legtöbb esetben még aznap felhasználásra kerülnek, így a tulajdonságaiknak meghatározása legtöbb esetben az aszfalt beépítése után történik. Az esetleges minőségromlásra túl ez akkor jelenthet problémát, ha a bitumen tulajdonságai nem felelnek meg az előírásoknak, ami garanciális problémákat, vagy akár a beépített aszfalt teljes visszamarását eredményezheti, ami az anyagi vonzaton túl már energiahatékonyság-csökkenést és karbonlábnyom-növekedést is magában hordoz.

Hogy ezt megelőzhessük, az esetleges minőségingadozást legkésőbb a bitumen lefejtése közben kell kimutatni, hogy a megszokottól eltérő konzisztenciájú bitumenek laboratóriumi vizsgálata során kívül prioritást élvezhessen.

3. Lehetséges megoldás ismertetése

3.1 Vibrációs viszkoziméter alkalmazása

Mivel a bitumenek keverőtelepi lefejtése magas hőmérsékleten történik, jellemzően 165-190 °C között, azok viszkozitásának meghatározása tűnt a legkézenfekvőbb megoldásnak.

SAVE THE DATE!

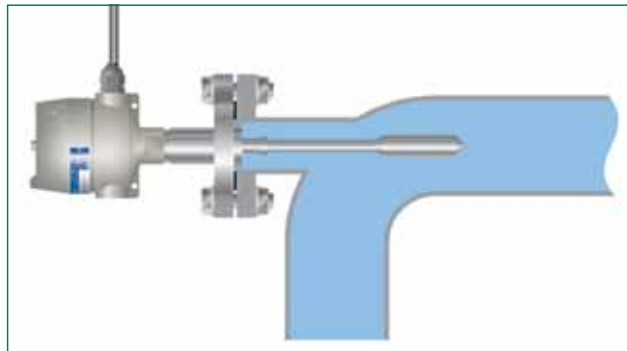
8TH E&E CONGRESS
19 – 21 JUNE 2024
BUDAPEST | HUNGARY
MILLENÁRIS PARK

CALL FOR PAPERS
IS NOW OPEN

WWW.EECONGRESS2024.ORG

GUARANT International spol. s r.o.
Českomoravská 19
190 00 Praha 9
Česká republika
+420 284 001 444
eecongress2024@guarant.cz

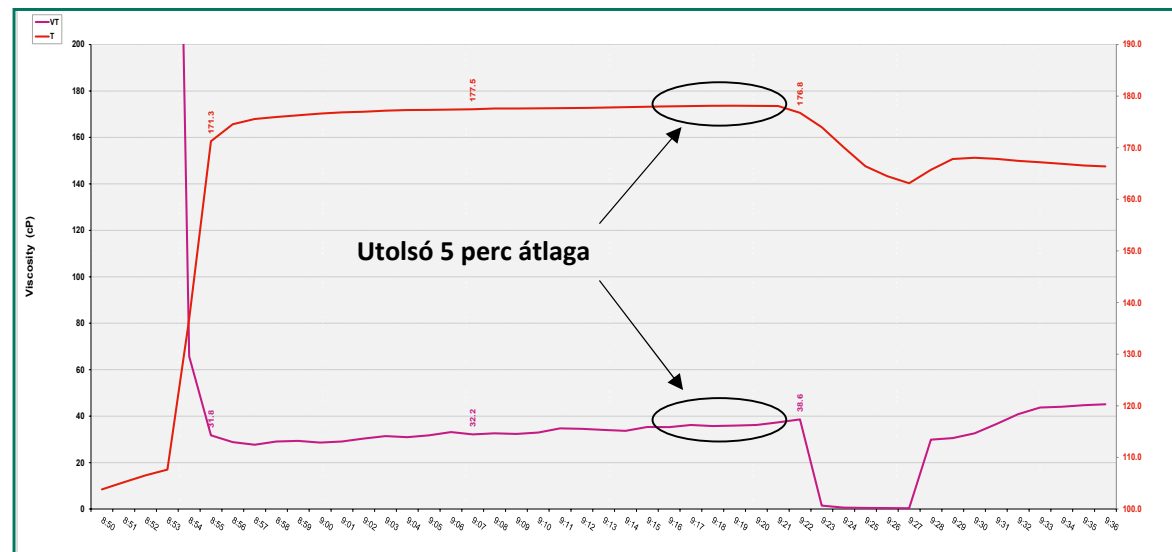
A gyakorlatban a viszkozitás ellenőrzését egy ún. rezonáns, vagy vibrációs viszkoziméter beszerelésével oldottuk meg, melyet a tartálykocsi tömlője és keverő tartálya közötti lefejtési ágba szereltünk be. Ennek sematikus ábrázolása az 1. ábrán látható. Ezen műszerek az átfolyó bitumen viszkozitását a mérőfej vibrálása folyamán fellépő energiavesztéséből határozzák meg. A műszerrel egyszerre vagyunk képesek mérni az átfolyó bitumen viszkozitását és hőmérsékletét.



1. ábra A bitumen lefejtésére használt csővezetékben elhelyezett vibrációs viszkoziméter sematikus ábrázolása [1]



2. ábra A keverőtelepen beszerelt viszkoziméter



3. ábra Vibrációs viszkoziméter által a bitumen lefejtésekor mért hőmérséklet és viszkozitás adatok

4. Adatgyűjtés

Mivel a keverőgépre érkező bitumenek hőmérséklete szállítmányonként változik, viszkozitás értékük még azonos bitumen típusok esetén is jelentősen eltérő lehet. Ezért először meg kellett határozni azt a viszkozitás tartományt, ami egy adott bitumen típusra adott lefejtési hőmérsékleten jellemző. Hogy a megfelelő határértékeket megállapíthassuk, adatgyűjtést végeztünk a keverőgépre bejövő bitumenek tekintetében.

A lefejtéskor vett bitumenminták minősítő paraméterei (legtöbb esetben empirikus vizsgálatok) és fizikai tulajdonságai laboratóriumi körülmények között szintén meghatározásra kerültek. Amennyiben azok a megengedett tartományon belül mozogtak, adott bitumenek részt vehettek a statisztikai mutatók meghatározásában. Feltételezésünk az volt, hogy kellően nagyszámú, minősítő paramétereivel a megengedett határértékeken belül mozgó, bitumen mintán meghatározott viszkozitás jellemzők alapján következtethetünk az egész populáció lefejtéskor mérhető hőmérséklet/viszkozitás jellemzőire. Ezáltal képesek leszünk meghatározni, ha egy bejövő bitumen konzisztenciájában eltér az eddigiektől, s erről még időben értesíteni tudjuk az aszfaltgyártót és a beszállítót.

4.1 Mérés folyamata

A lefejtés folyamán percnként feljegyzésre kerül a bitumen hőmérséklete és viszkozitása. A 3. ábrán szemléltetett grafikonon pirossal a hőmérséklet, lilával a viszkozitás van jelölve. A bitumen lefejtése során a mérés folyamata a következőképpen néz ki: mikor lassan felmelegszik az egész rendszer és a műszer mérőfeje körül a forró bitumen folyékonnyá válik, a hirtelen hőmérsékletnövekedést hirtelen viszkozitás csökkenés követi. Mivel a lefejtés során temperálásra nincs lehetőség, ezért felmerült, hogy az eredményeket ne a teljes lefejtés percnként meghatározott eredményeiből, hanem csak az utolsó 5 percben mért eredmény átlagaként számoljuk, mikorra a mérés már kellőképpen stabilizálódik. Több bitumen eredményeit figyelembe véve ez az adatszűrés mód számottevően pontosabb eredményeket mutatott ($R^2=0,90$), mintha eredményként az egész lefejtés során mért hőmérséklet/viszkozitás értékek átlagát vettük volna ($R^2=0,76$).

Az így kapott mérési eredményekből ki lehet számítani az adott bitumen típusra jellemző hőmérséklet/viszkozitás összefüggést és a hozzá tartozó 95 % pontosságú várható határértékeket. Ezeket a határértékeket jóval meghaladó bitumenekből még a lefejtés befejezése előtt mintát kell venni, majd azok minősítő paramétereit laboratóriumi körülmények között soron kívül, prioritást élvezve meghatározni azelőtt, hogy azok az aszfaltgyártásba kerüljenek.

4.2 Lefejtéskor mért 50/70 bitumen viszkozitás

A 4. ábrán az aszfaltgyártásban legtöbbet használt 50/70-es bitumen keverőtelepi lefejtéskor mért átlag hőmérséklet/viszkozitás eredményei láthatók. A grafikonon a pontok egy adott bitumen szállítmány lefejtésekor mért átlag viszkozitás eredményét szemléltetik (a lefejtés utolsó 5 percében mért átlag). A viszkozitás logaritmus értékeiből lineáris regresszió segítségével meg lett határozva a bejövő bitumenek várható hőmérséklet/viszkozitás függvénye és az ahhoz tartozó 95%-os predikciós intervallum.

A piros ponttal jelölt 16-os számú bitumen lefejtéskor mért viszkozitása az előzőleg az 50/70-es bitumen mintákon meghatározott határértékeken kívül esik, azoknál folyékonyabbnak mutatkozik. Ezen a ponton felmerülhet a kérdés, hogy ugyanez a bitumen laborban meghatározható tulajdonságai alapján is kiugró értékeket mutat? Ennek megválaszolására először a lefejtés folyamán vett bitumen minták tulajdonságait kellett meghatározni laboratóriumi körülmények között.

4.3 Az 50/70 bitumen laborban meghatározott tulajdonságai

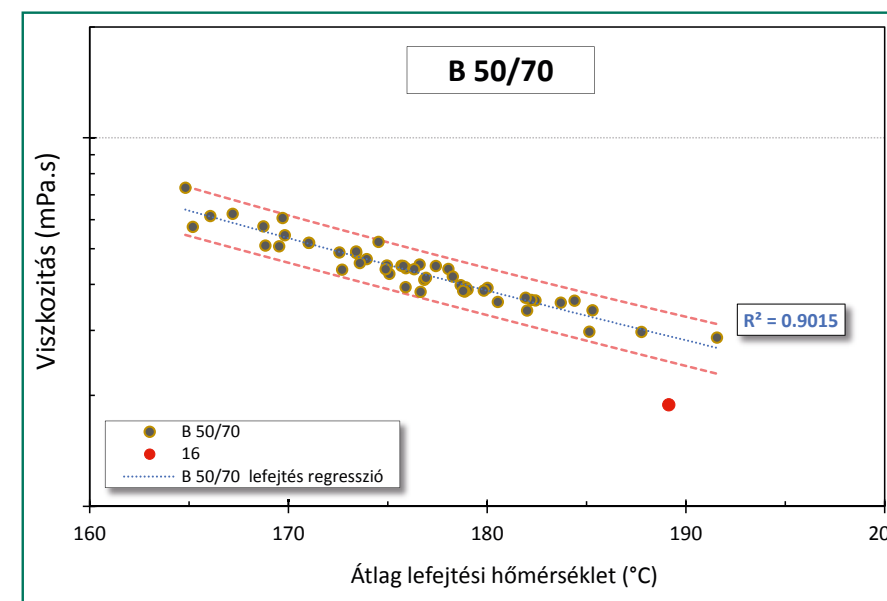
Viszkozitás

Az 50/70 bitumen hőmérséklet/viszkozitás függvényének meghatározása érdekében minden bitumen minta viszkozitása hat különböző hőmérsékleten (135, 160, 170, 180, 190, 200 °C), Brookfield rotációs viszkoziméterrel lett vizsgálva (5. ábra). Legfőbb különbség a rotációs és vibrációs viszkoziméterek között, hogy míg a vibrációs viszkoziméter

a mérőfej vibrálása folyamán fellépő energiavesztéséből határozza meg az átfolyó folyadék viszkozitását, addig a rotációs viszkoziméter a mérőfej forgatásával szemben kifejtett ellenállásból számolja azt. A két mérési mód nyírófeszültsége és annak sebessége közötti különbség nemnewtoni folyadékoknál okozhat az eredmények között különbségeket. Ez a különbség észlelhető volt a lefejtéskor a vibrációs viszkoziméterrel mért viszkozitás és a laboratóriumban rotációs viszkoziméterrel mért eredmények között, azonban ez a különbség eltolással feloldható volt.



5. ábra Brookfield rotációs viszkoziméter



4. ábra A bejövő 50/70 bitumen szállítmányok keverőgépi lefejtésekor mért hőmérséklet/viszkozitás összefüggés

A laboratóriumban rotációs viszkoziméterrel meghatározott eredmények segítségével egy viszonylag szűk predikciós intervallum mellett nagyon pontos ($R^2=0,99$) regressziót sikerült felállítani. Jól látható, hogy a pirossal jelölt 16-os számú bitumen ebben az esetben is bőven a határértékeken kívül esik, a vizsgált bitumeneknél folyékonyabbnak mutatkozik. Mindazonáltal a viszkozitás Magyarországon nem számít minősítő paraméternek, így további tulajdonságok vizsgálatára volt szükség.

Mivel a lefejtéskor mért viszkozitás magas hőmérsékleti tulajdonság, elsősorban a bitumenek közepes és magas hőmérsékleti tartományaiban mért tulajdonságai szolgálhattak releváns eredményekkel, mint például a bitumenek penetrációja, lágyuláspontja, maradókúszási érzékenysége, vagy akár a komplex nyírási modulus értéke és az ahhoz tartozó fázisösszefüggés.

Penetráció (minősítő paraméter)

Az empirikus tulajdonságok sorait bővítő penetrációs érték a bitumenek 25 °C-on meghatározott konzisztenciáját adja meg. Látható, hogy míg az 7. ábrán feltüntetett bitumen minták penetrációs értéke a megengedett értékeken (zöld sáv) belül maradt, addig a 16-os bitumen az átlagot és a megengedett értékeket is meghaladó eredményt mutatott, azaz lágyabb konzisztenciával rendelkezik, mint a többi bitumen minta. Elmondható, hogy a vizsgált bitumenek penetrációja szempontjából a lefejtéskor mért viszkozitás sikeresen kiszűrte a határértékeken kívül mozgó bitumen szállítmányt.

Lágyuláspont (minősítő paraméter)

További minősítő paraméter a bitumenek lágyuláspontja, ami azt a legmagasabb hőmérsékletet adja, ami felett a bitumen már annyira lágyvá válik, hogy az a keréknyomvályúk kialakulásával szemben kevésbé lesz ellenálló. A 8. ábrán látható, hogy a vizsgált bitumenek mind a megengedett értékek között találhatók, így ezzel a tulajdonsággal nem lenne kimutatható a 16-os bitumen lágyabb konzisztenciája.

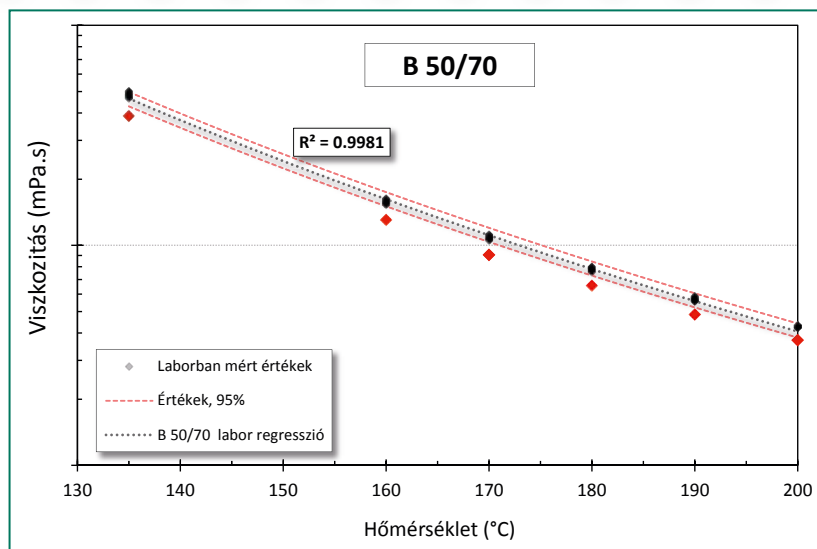
Komplex nyírási modulus és fázisszög

A bitumenek fizikai tulajdonságai közé sorolható komplex nyírási modulus és a hozzá tartozó fázisszöget dinamikusan nyíróreométer segítségével határoztuk meg. Bár Magyarországon egyelőre egyik sem számít minősítő paraméternek, sokat elárulnak az adott bitumen viselkedéséről. Míg a nyírási modulus nagysága a bitumen merevségét, addig a fázisszög annak rugalmasságát határozza meg. Alacsonyabb fázisszögből rugalmasabb bitumenre lehet következtetni. Mindkét tulajdonságot érdemes a bitumen minta forgó vékonyfilmes öregítése (RTFOT – Rolling Thin Film Oven Test) után is meghatározni. Az RTFOT rövidtávú öregítés a bitumenek adalékanyagokkal magas hőfokon történő összekeverésekor végbemenő oxidációs folyamatokat hivatott laboratóriumi körülmények között rekonstruálni.

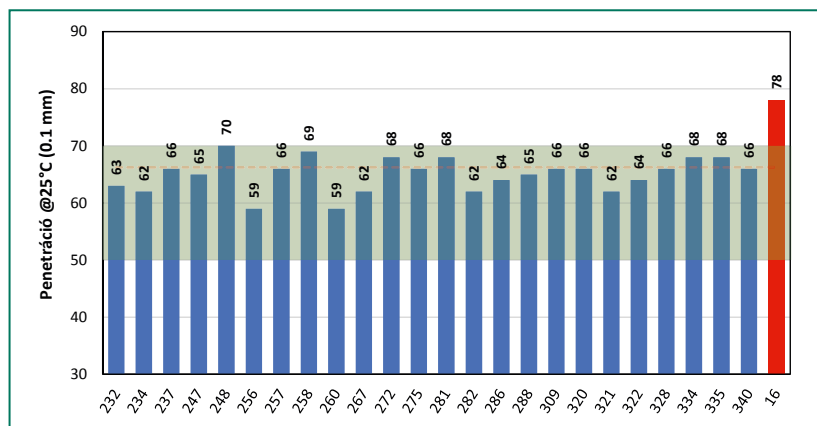
A vizsgált bitumenek komplex nyírási modulusa (9. ábra) és fázisszöge (10. ábra) is közel azonos értékeket mutatott az egyes bitumen minták esetén RTFOT öregítés előtt és után egyaránt. Ez alól a kivétel csupán a 16-os számú bitumen, amely az átlaghoz viszonyítva éles eltérést mutat. A fázisszöge és a komplex nyírási modulusa alapján a 16-os számú bitumen egy, az átlaghoz viszonyítva lágyabb, emellett kevésbé rugalmas bitumént feltételez.

Maradó kúszási érzékenység

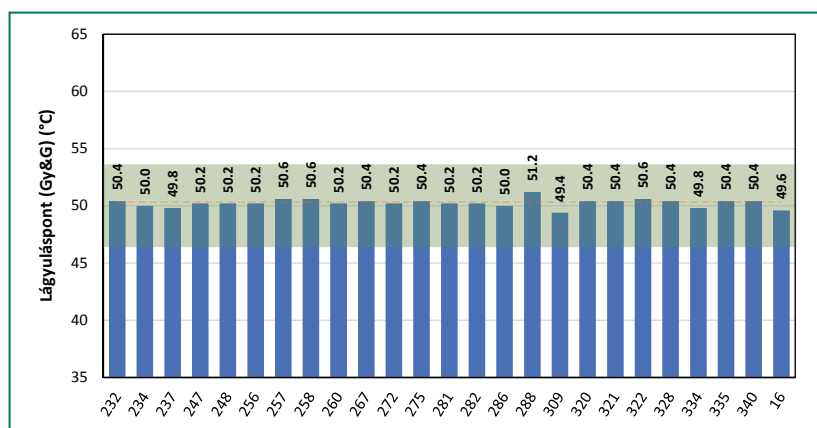
A bitumenek maradó kúszási érzékenységét (J_{nr}) az ún. több feszültséglépcsős kúszás-visszaalakulási vizsgálattal (MSCRT



6. ábra Rotációs viszkoziméterrel meghatározott hőmérséklet/viszkozitás összefüggés



7. ábra A vizsgált bitumenek penetrációs értéke



8. ábra A vizsgált bitumenek lágyuláspontja

– Multiple Stress Creep and Recovery Test), a komplex nyírási modulushoz hasonlóan, dinamikusan nyíróreométer segítségével határoztuk meg. A vizsgálat folyamán a bitumen mintát ciklikusan 1 másodpercig terhelés éri, amit minden esetben 9 másodperc feszültségmentes fázis követ. Ez alatt a feszültségmentes fázis alatt a bitumennek lehetősége van a terheléses fázis előtti helyzetét rugalmasan visszaalakítani. Ez azonban csak akkor lehetséges, ha a viszkoelasztikus tulajdonságokkal bíró bitumen adott hőmérsékleten még rendelkezik olyan szintű rugalmassággal, ami erre képessé teszi. Legtöbb esetben a terhelést követő feszültségmentes

fázis végén a kiinduló helyzethez viszonyítva bizonyos mértékű alakváltozás (deformáció) marad, amit maradó alakváltozásnak nevezünk. Ebből a ciklusok végén maradó alakváltozásból számoljuk a bitumenek maradó kúszási érzékenységét (J_{nr}).

Minél ellenállóbb a bitumen a terheléses fázis folyamán az alakváltozások kialakulásával szemben, annál alacsonyabb a ciklus végén maradó alakváltozás. Alternatívaként, minél rugalmasabb tulajdonságokkal bír a bitumen, annál sikeresebben képes a létrejött alakváltozás visszaalakítására a feszültségmentes fázis alatt, ami a ciklusok végén szintén alacsony maradó alakváltozást eredményez.

Az ismétlődő terhelés az aszfaltburkolatokon elhaladó járművek kerekei által történő ciklikus terhelést szimulálja, a maradó kúszási érzékenység pedig azt fejezi ki, hogy az adott bitumen mennyire ellenálló a maradó alakváltozások kialakulásával, azaz a keréknyomvályúk kialakulásával szemben.

A 11. ábrán megfigyelhető, hogy a vizsgált bitumenek ugyanazon hőmérsékleten (60 °C) hasonló maradó kúszási érzékenységgel rendelkeznek. Ez alól kivétel a 16-os számú bitumen, amely lényegesen magasabb J_{nr} értéket mutatott az átlaghoz viszonyítva, amiből egy keréknyomvályú kialakulásával szemben kevésbé ellenálló bitumenre lehet következtetni.

5. Összefoglaló

Az aszfaltgyártás nélkülözhetetlen részét képező alapanyagok (bitumen, adalékanyagok) ásványi eredetéből származó szélsőséges minőség-ingadozást a későbbi problémák elkerülése végett még az aszfaltgyártás és annak beépítése előtt ki kell mutatni.

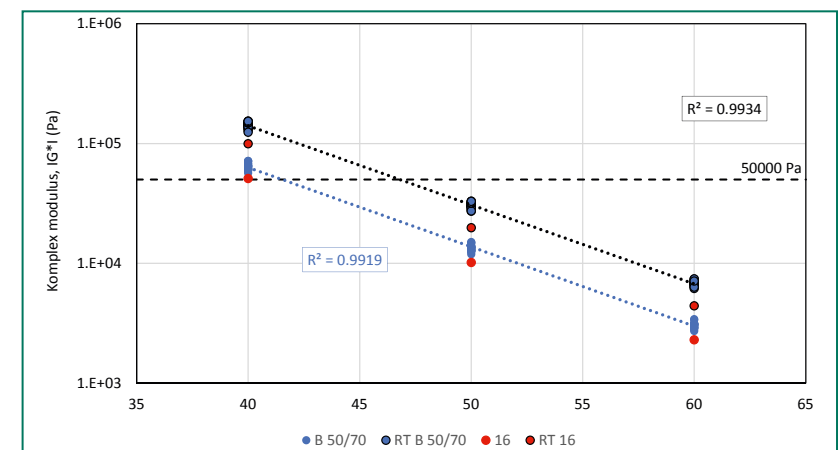
A keverőtelepre beérkező bitumen szállítmányok lefejtése folyamán meghatározott viszkozitás értékek biztató eredményeket mutatnak a megszokottól kiugróan eltérő tulajdonságú bitumenek kiszűrésére. Az ilyen ingadozó minőségű bitumenek további, laboratóriumi körülmények közt mérhető tulajdonságai így gyorsított eljárásban még azelőtt kivizsgálásra kerülhetnek, hogy a bitumen az aszfaltgyártásban részt venne. Ily módon a lefejtéskor mért bitumen viszkozitás képes lesz egy keverőtelepi bitumen átvételi rendszer részeként, mintegy előszűrőként, funkcionálni.

Meg kell említeni, hogy a viszkozitás határértékek egy adott időszakban a keverőtelepre szállított bitumenminták alapján lettek meghatározva. Azonban a bitumenek konzisztenciája hosszabb időléptékben (évek) olyan szintű változást mutathatnak, ami miatt bizonyos mértékű eltolódással számolni lehet. Emiatt érdemes a bitumenek viszkozitás határértékeit bizonyos időközönként frissíteni.

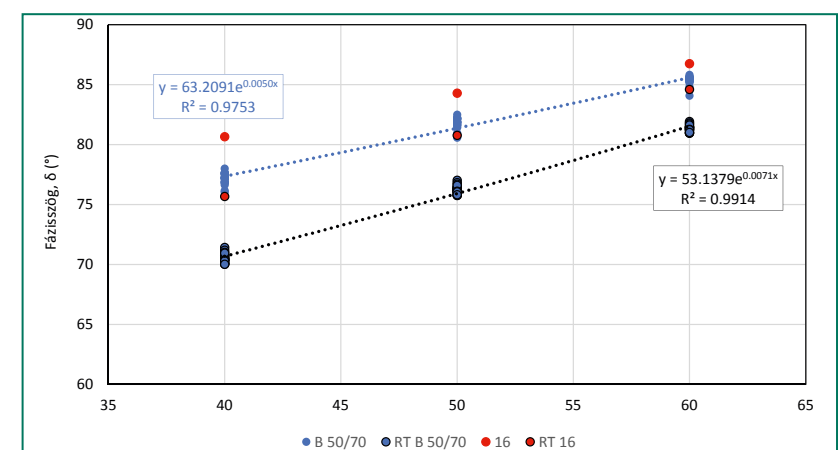
Az energiahatékonyságot szem előtt tartva a bitumenek lefejtésekor mért viszkozitás ismerete abban is segítségünkre lehet, hogy a tulajdonságaival még a megengedett határértékek között mozgó, de (hosszú vagy rövidtávon) változó viszkozitású bitumen szállítmányok viszkozitásának legmegfelelőbb keverési hőmérsékletet állíthassuk be a keverőgépen.

Források

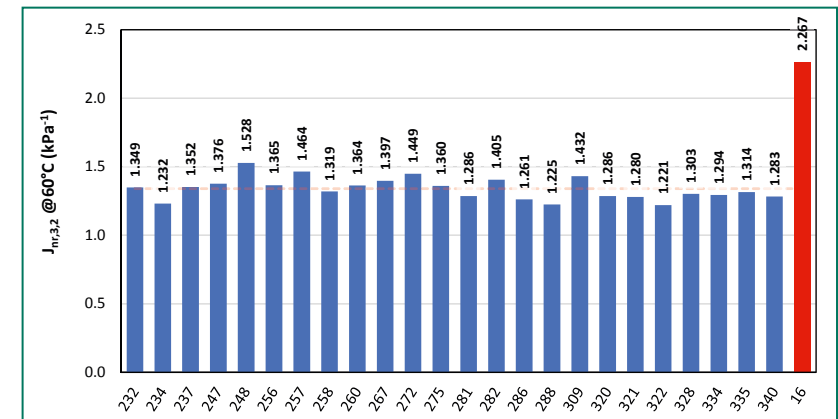
[1] Hydramotion. Retrieved January 10, 2023, from <https://hydramotion.com/en/products/xl7/installation>



9. ábra A vizsgált bitumenek 40, 50, 60 °C-on meghatározott komplex nyírási modulusa RTFOT öregítés előtt és után



10. ábra A vizsgált bitumenek 40, 50, 60 °C-on meghatározott fázisszöge RTFOT öregítés előtt és után



11. ábra A vizsgált bitumenek 60 °C-on meghatározott maradó kúszási érzékenysége ($J_{nr,3,2kPa}$)

HAPA TAGVÁLLALATAI

Aszfalt Hungária Kft.

H- 2225 Üllő
belterület, hrsz. 3753.
<https://euroaszfalt.hu>

Budapest Közút Zrt.

H-1115 Budapest
Bánk bán u. 8-12.
<https://budapestkozut.hu>

Colas Közlekedésépítő Zrt.

H-1113 Budapest
Bocskai út 73.
<https://colas.hu>

Colas Út Zrt.

H-1113 Budapest
Bocskai út 73.
<https://colas.hu>

DÉLÚT Kft.

H-6750 Algyő
Kastélykert u. 171.
Pf: 4
<https://delut.hu>

Duna Aszfalt Zrt.

H-6060 Tiszakécske
Béke u. 150.
<https://www.dunaaszfalt.hu>

Harmat-Bau Kft.

H-6725 Szeged
Harmat utca 16.

Hazai Építőgépek Társulás Zrt.

H- 2351 Alsónémedi
Ócsai út 2405/4 hrsz.
<https://www.epitogep.com>

He-Do Kft.

H-3261 Pálosvörösmart
Hagyóka u. 1.
<https://he-do.hu>

MENTO Környezetkultúra Kft.

H-3527 Miskolc
Besenyői út 26.
<https://mentokft.hu>

MOL Nyrt

H-1117 Budapest
Dombóvári út 28.
<https://mol.hu>

OMV Hungária Ásványolaj Kft.

H-1117 Budapest
Október Huszonharmadika utca 6-10.
<https://www.omv.hu>

PENTA Kft.

H-2100 Gödöllő
Kenyérgyári u. 1/E.
<http://pentakft.hu/>

„SOLTÚT” Kft.

H-6320 Solt
Kecskeméti u. 34.
<http://soltut.hu>

Swietelsky Magyarország Kft.

H-1016 Budapest
Mészáros utca 13.
<http://swietelskymagyarorszag.hu>

Úteppark Útépipítő és Mélyépítő Kft.

H-8000 Székesfehérvár
Szlovák utca 6.
<http://uteppark.hu>

Vértes Aszfalt Kft

H-2800 Tatabánya
Réti út 174. Fsz. 4.
<http://vertesaszfalt.hu>

HAPA TÁRSULT TAGVÁLLALATAI

Ammann Austria GmbH

Anzing 33
A-4113 St. Martin im Mühlkreis
<https://www.ammann.com/de/>

AUMER Kft.

H-1112 Budapest,
Reptéri út 2.
<http://aumer.hu/>

BHG Bitumen Kft.

H-1117 Budapest
Gábor Dénes utca 2. Infopark D
épület
<http://bhg.huauholding.com>

BME Út és Vasútépítési Tanszék

H-1111 Budapest
Műgyetem rkp. 3.
<https://epito.bme.hu/ut-es-vasutepitesi-tanszek>

Csillagszer Kft.

H-3700 Kazincbarcika
Erdész u. 10.
<https://csillagszer.com>

EuroAszfalt Kft

H - 2225 Üllő
belterület 3753 hrsz.
<http://euroaszfalt.hu/>

EULAB Kft.

H- 2120 Dunakeszi
Székesdűlő 135.
<https://www.eulabkft.hu/>

Huntraco Kereskedelmi és Szolgáltató Zrt.

H-2040 Budaörs
Kamaraerdei út 3.
<https://www.huntraco.hu/>

INNOTESZT Kft.

H - 2225 Üllő
Zsarókahegy hrsz. 053/30.
<http://euroaszfalt.hu/leanyvallalat/innoteszt-kft>

INNOVIA Kft.

H- 2541 Lábatlan
Dunapart 1605/2 hrsz.

IRONWELL ASPHALT TECHNOLOGIES

H 1065 Budapest
Révay köz 4.
<https://www.ironwell.com.tr>

ITERCHIMICA S.R.L.

Via G. Marconi, 21,
24040, Suisio (BG), Italy
<http://www.iterchimica.it/>

Mélyépítő Labor Kft.

H-1144 Budapest,
Füredi út 74-76.
<https://www.facebook.com/melyepitolabor/>

Magyar Közút Nonprofit Zártkörűen Működő Részvénytársaság

H-1024 Budapest
Fényes Elek u. 7-13.
<https://internet.kozut.hu/>

MAB Tarnóca Kőbánya Kft.

H- 2045 Törökbálint
Torbágy u. 20.
<http://www.tarnoca.hu/>

Omya Hungária Mészkefeldolgozó Kft.

H-3300 Eger,
Lesrét utca 71.
<https://www.omya.com/>

Profi-Bagger Kft.

H - 2051 Biatorbágy
Tormásirét u. 6.
<https://profi-bagger.hu/>

Rec-Plus Kft.

H-3200 Gyöngyös
Felső-Újvárosi utca 2.
<http://www.recplus.hu/>

Rettenmaier Austria GmbH & Co.KG

A-1230 Wien
Rudolf-Waisenborn-Gasse 18.
https://www.jrs.de/jrs_de/

Rodcont Kft.

H-1221 Budapest
Orsovai u. 10/a
<https://rodcont.hu>

STA Aszfalt-Tech Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

H - 1043 Budapest
Dugonics u. 11.
<http://www.sta.hu>

SRIPATH INNOVATIONS LTD / SRIPATH TECHNOLOGIES LLC

21 Ledbury Place
Croydon CR0 1ET
United Kingdom
<https://sripathinnovations.com>

TPA HU Kft.

H-1097 Budapest
Illatos út 8.
<http://www.tpaqi.com>

ÚTLABOR Kft.

H- 9151 Abda
Bécsi út 15.

VIA-PONTIS Mérnöki Tanácsadó Kft.

H-2092 Budakeszi
Barackvirág u. 8.
Telefon: 23 457 283, 1 205 3645, 30 475 2842

Wirtgen Budapest Kft.

H-2363 Felsőpakony
Erdőalja u. 1.
<https://www.wirtgen-group.com/budapest/hu/>



ASZFALT HUNGÁRIA KFT.

SZÉKHELYE: 2225 ÜLLŐ, BELTERÜLET, 3753 HRSZ
KÖZPONT: 1133, BUDAPEST PANNÓNIA UTCA 59-61.

ELÉRHETŐSÉG: TEL: 0036 29-522-200

TELEPHELYEINK:

5561 Békésszentandrás, Külterület hrsz 0247/11

4029 Debrecen, Mikepércsi út 0530/80 hrsz

2462 Martonvásár, 0152/1 hrsz

8800 Nagykanizsa, 0632 hrsz – mobil keverő *

7100 Szekszárd, Palánki út 41

2225 Üllő, Belterület 3753 hrsz

9442 Fertőendréd, külterület 0157/17. hrsz.

**A mobil keverő az ország egész területére öt napon belül eljuttatható.*