

Az Aszfalt

A Magyar Aszfaltipari Egyesülés

hapi

hivatalos lapja

XXVIII. ÉVFOLYAM 2021/2. szám



Aszfalt 100% recyclable



Az aszfalt 100%-ban
újrahasznosítható

Kilométerek millióit formáljuk.
BOMAG.



2
2021
december



Tisztelettel köszönjük a HÓDÚT Freeway Kft. megbízását, és kívánunk sok sikert a BENNINGHOVEN TBA 3000 RA 180 típusú meleg RC-adagolásos aszfaltkeverőjükkal, illetve a WIRTGEN Csoport termékeivel.



Első paralleldobos aszfaltkeverő az országban

BENNINGHOVEN TBA 3000 RA 180

Egy év előkészítés után 2021 őszén beüzemelésre került a HÓDÚT Freeway Kft. új aszfaltkeverője, amely elsőként az országban melegeljárásos visszanyert aszfalt (RA) adagolást is tartalmaz a hideg RA adagolás mellett. Míg a hideg RA adagoláson keresztül legfeljebb 40 % martaszfalt adható az új keverékhez, addig a paralleldobos adagolással a jövőben akár 60 % melegített RA is beadagolható a friss keverékbe. Ez új távlatokat nyit az itthoni aszfalt-újrahasználatban!

A BENNINGHOVEN TBA széria előnyei:

- > Hideg és meleg RA adagolás: rugalmas megoldás minden esetre 20 - 60 %-os részarányal, akár utólag kiépítve is
- > Granulált és folyékony adalékok használhatósága, valamint bitumenhabosítás
- > Széles teljesítmény-választék: 160 - 320 t/h aszfalt, piacvezető égő akár 4 féle tüzelőanyaggal
- > Különböző aszfalttározók, bitumentartályok és egyéb perifériák
- > Energiamonitöring és optimalizálás, dinamikus receptgenerátor funkció

www.benninghoven.com



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

Fogarasi Viktor –

M85 gyorsforgalmi út HÍDÉPÍTÉS Burkolat és pályacsatlakozás kihívásai 5

Koch Domonkos –

Első hazai örökaszfalt próbaszakasz rétegeinek összehasonlítása a hagyományos pályaszerkezeti rétegekkel..... 12

Rosta Szabolcs –

Különleges kihívások bemutatása a Zala Zone tesztpálya építése kapcsán: Dinamikai platform, Fékező platform.....23

Puskás Dáriusz –

A Magyar Közút Nonprofit Zrt. által kezelt extrém szállítások bemutatása és azok sajátosságai..... 32

Bartus Adrienn –

Burkolatból visszanyert aszfaltok fiatalítása különböző rejuvenáló szerekkel 35

Gajdán Zsófia –

Különböző sajtóporok hatása AC 11 kopó aszfaltkeverékek aszfaltmechanikai tulajdonságaira41

Runa Boglárka –Balogh Péter –

Georadar szerepe a roncsolásmentes útpályadiagnosztikában 49

Rosta Szabolcs – Zvekán Fanni

Visszanyert aszfaltok bitumenjének reológiai vizsgálatának lehetősége, szükségessége 57

Weimert Viktor –

Rákos állomás koncepcióterve 61

Schronka Gábor –

Az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlama a bitumenek nyíróvizsgálatai alapján 67

Bécsi Balázs –

Balatonfőknél motorsport- és versenypálya burkolat építési munkái 81

Siegl Ádám Alfréd –

Az üzemi sáv megnyitásának kérdései a gyorsforgalmi úthálózaton -Az M1 autópálya fejlesztésének példáján- 86

Kopitkó Tünde Klára –

Közüti vasúti járművek összehasonlító futástechnikai vizsgálata a pályafenntartás szempontjából..... 91

Kedves Kollégák,

Az egy évvel ezelőtti lapban azt ígértem, hogy az elmaradt Fialat Mérnökök Fóruma miatt kárpótolni fogjuk Önöket a későbbi konferenciáink minőségével.

Nos, a visszajelzések alapján ez sikerült, aminek bizonyítéka a mostani lapunkban olvasható. Kiváló előadások születtek, és a fiatalok íráskedve is nagy volt. Látszik ez abból is, hogy a szokásos 80-88 oldal helyett most 100 oldalas lett „Az Aszfalt” újság. Még soha ilyen nem volt a 26 év alatt. Köszönöm a szerzőknek, és a nyomdának, mert sokáig úgy volt, hogy nem tudunk 100 oldalt összefűzni. Így viszont nem kellett kihagynunk senkit.

Formabontó volt a Fórum azért is, mert nem volt zsűri, hanem online szavazással a közönség döntött a nyertes előadókról. Igazságos eredmény született. Három díjazottunk cikkét előre vettük alapban is.

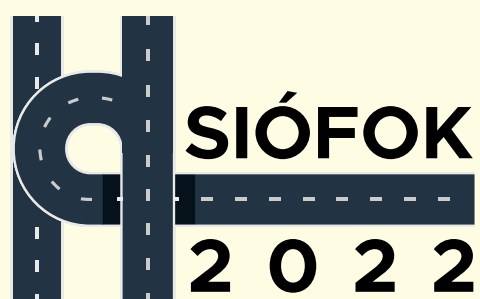
Ugyanilyen formabontónak tervezzük a februári konferenciánkat is. Az ezzel kapcsolatos információkat a lapunk 5. oldalán található invitációban megismerhetik.

A konferenciát február 15-16-án mindenképpen megtartjuk, ha ez a személyes részvétellel nem lehetséges, akkor online módon. Az elmúlt évi három új tag után az idén újabb három tag lépett be hozzánk:

A MENTO Környezetkultúra Kft., a Harmat-Bau Kft, és a RODCONT Kft.

Hasznos nálunk töltött időt kívánok mindhármuknak!

Veress Tibor Igazgató



HAPA CONFERENCE

HAPA XXII. Nemzetközi Konferencia

2022. február 15-16. Siófok

Szakmailag egy rendkívül izgalmas, a múltra és a jövőre egyaránt felelősen reflektáló két napra várjuk Önöket a siófoki Hotel Azúrba.

A következő szekciókban próbálunk választ adni a szeretett szakmánkkal kapcsolatban felmerülő kérdésekre:

- Aszfalt 4.0: A jövő útjai és a mobilitás jövője
- Nagyteljesítményű aszfaltkeverékek és vizsgálataik
- Az aszfaltgyártás energiaigényének csökkentési lehetőségei
- Fenntarthatóság és környezetvédelem. Hosszú élettartamú pályaszerkezetek
- Újrahasznosítás. Beépítési technológiák

Nem csak a magyar szakemberekkel lesz önnek lehetősége találkozni, mert részvételüket jelezték számos európai és nem európai ország képviselői is. Szakembereket várunk Lengyelországból, Franciaországból, Svájcban, Szlovéniából, Belgiumból, Spanyolországból és Németországból és Ausztráliából is.

A konferencia tematikájának középpontjában – talán nem véletlenül! – egy élhető jövőért érzett és tudatosan felvállalt felelősség áll. Kérem, jegyezzék elő az időpontot, hogy immáron huszonkettedik alkalommal is lehetőségünk nyíljon a párbeszédre, az eszmék cseréjére, szakmánk és személyes tovább fejlődésünk érdekében. A szekciókban elhangzott előadások után személyesen, vagy online módon is feltehető kérdések alapján az előadókat vitára hívjuk.

A személyes részvételt oltási bizonyítvány meglétéhez kell kössük!

Ha a vírushelyzet úgy alakul, akkor készülünk az online módon való rendezésre is!

Ne feledje! • 2022. február 15-16. • Siófok HAPA Nemzetközi Konferencia

M85 gyorsforgalmi út HÍDÉPÍTÉS Burkolat és pályacsatlakozás kihívásai

Fogarasi Viktor

munkahelyi mérnök
Swietelsky Magyarország Kft.
A fiatal Mérnökök Fórumának
I. helyezettje



1. A projekt bemutatása

Az M85 Csorna II. – Sopron-kelet – Fertőrákos (31+550 – 89+000 km sz.) közötti szakasz építési kivitelezési munkálatainak kivitelezőit NIF Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt. közbeszerzési eljárás keretében

választotta ki 2017 decemberében. Az M85 Csorna II. – Sopron-kelet – Fertőrákos (31+550 – 89+000 km sz.) közötti szakasz négy kivitelezési szakaszra bontva került vállalkozásban adásra:

1. rész: M85 gyorsforgalmi út Csorna II. – Fertőd-Endrédmajor csomópont (33+550 – 51+600 km szelvények közötti szakasz)
2. rész: M85 gyorsforgalmi út Fertőd-Endrédmajor csomópont – Nagylózs (51+600 – 67+200 km szelvények közötti szakasz)
3. rész: M85 gyorsforgalmi út Nagylózs – Sopron-kelet (67+200 – 82+600 km szelvények közötti szakasz)
4. rész: M85 gyorsforgalmi út Sopron-kelet – Fertőrákos csomópont (82+600 – 89+000 km szelvények közötti szakasz)



1. ábra: átnézeti helyszínrajz

A 2. rész: M85 gyorsforgalmi út Fertőd-Endrédmajor csomópont – Nagylózs (51+600 – 67+200 km szelvények közötti szakasz) nyertes ajánlattevőjeként az Euroaszfalt Kft., **Swietelsky Magyarország Kft.** Betonút Zrt. alkotta Közös Ajánlattevők.

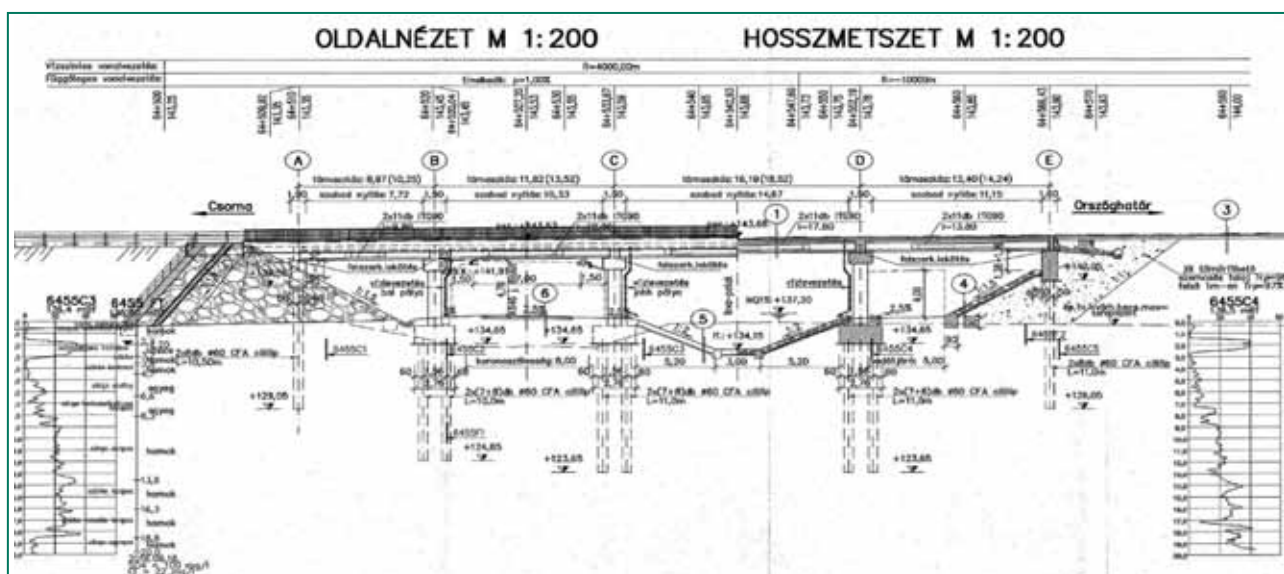
A 2. szakasz keretein belül a 60+500 – 67+150 kmsz-ben 6db műtárgy valósult meg általunk:

- 2-B.622 j. híd Aluljáró a K622 Földút
- 2-B.633 j. híd Aluljáró a 8612 j. út alatt
- 2-B.638 j. Felüljáró a Középmalmi csatorna felett
- 2-B.645 j. híd Felüljáró az Ikva-patak (Ny) és Vadátjáró (V) felett
- 2-B.656 j. Felüljáró Földút felett
- 2-B.669 j. Felüljáró a Nagylózsi-kanális felett

2. 2-B.645 j. híd Felüljáró az Ikva-patak (Ny) és Vadátjáró (V) felett

2.1. Alapadatok

Az előadás első felében részletesebben a 2-B.645 j. híd Felüljáró az Ikva-patak (Ny) és Vadátjáró (V) felett lévő híddal foglalkozunk.



2. ábra: 2-B.645 j. híd Felüljáró oldalnézeti/hosszmetszeti

A híd az M85 autótutat vezet át a K646 j. földút és az Ikva-patak (Ny) felett. Az autótút és a földút keresztezésében az autótút szelvénye 64+527,20, a földút szelvénye 0+237,55. Az autótút és a patak tengelyének keresztezésében az autótút szelvénye 64+542,93, a patak szelvénye 23+443. A keresztezés szöge 61,05°, illetve 60,84°. A híd jobb ferdeségű. Támaszközei 8,97-11,82-16,19-12,40 m merőlegesen és 10,25-13,52-18,52-14,24 m hídtengetyben. A híd terhelési osztálya: e-UT 07.01.12 szerinti „A” osztályú.

2.2 Kivitelezési munkafolyamatok részletei:

Ikva patak medrének terelése, töltésépítés, cölöpözés, pillérek-hídfők építése

A kivitelezés első fontosabb fázisa az Ikva patak rendezése, terelése volt a terv szerinti helyére. A meder munkálatok végeztével kezdtük meg a támaszok építését. A híd mélyalapozású, CFA fúrt cölöpök átmérője 60 cm. Az elő és háttöltések lavírsílig való építését a cölöpözés aztán pedig a hídfőépítés követte.

A felmenő szerkezetek monolit vasbeton szerkezetek. A hídfő pályánként épült, az autótút tengelyében munkahézaggal, a hátoldalon hézagzáró szalaggal.



3. ábra: Elkészült támaszok, rögzített híderendák

Kihívás: a hídfőépítés épp a pandémiás időszak kezdetekor történt, mely nemcsak létszám, de a határázárak miatt Szlovákiából származó cementhiányt ezáltal több hetes csúszást is eredményezett. A lemaradás leküzdésében kapacitásbővítés, nyújtott műszakok és több technikai megoldást is igénybe vettünk pl.: a híderendák azonnali beemelése a beton megfelelő szilárdság elérése után.

2.3 Tartóbeemelések folyamata

Összesen 88 db tartó került beépítésre egy 500 t teherbírású autódaru segítségével mindössze két nap alatt.

A beemelést komoly szervezés előzte meg, mivel a tartók vasúton szállítva érkeztek a már hónapokkal előre egyeztetett időpontban. Továbbá szállításkor és beépítéskor is fokozott figyelmet szükséges fordítani a tartók sérülés mentességére.



4. ábra: Híderendák beemelése

2.4 Pályalemez betonozása

A betonozást komoly előkészítés előzt meg mint szerkezeti részen, úgy a betonpumpa talpalóhely kiválasztásánál-kialakításánál is, így egy állásból sikerült megoldani a teljes műveletet.

A hídpálya szélessége 26,23 m, beosztása 1,25 m üzemi járda – 11,13 m kocspálya – 0,66 m szegély – 0,15 m légrés – 0,66 m szegély – 11,13 m kocspálya – 1,25 m üzemi járda. A kocspálya hasznos szélessége 11,00 m.

A pályalemez keresztirányú esése pályánként: egyoldali 2,5%. A mélyvonal a mély oldalon (külső oldal) az üzemi járdától 40 cm-re van, onnan a helyszíni monolit pályalemez felső síkja 3 %-os ellenesésű.

A pályalemez betonozás több oknál fogva is fontos mérőföldkő:

- fizikálisan is átjárhatóvá válik a műtárgy
- statikai szempontból keretmerezévé válik a szerkezet, így felépíthető a teljes csatlakozó és háttöltés
- megkezdődhetnek a szigetelés és pályacsatlakozás munkái

2.5 Öntött aszfalt beépítése

A szigetelésvédő öntött aszfalt többek között nem csak a szigetelés mechanikus sérülések elleni védelmi funkcióját látja el, de a hengerelt aszfaltokon átszivárgó vizektől is védi a szerkezetet.

A pályalemez teljes felületén kétrétegű modifikált bitumenes lemez szigetelés van, ami a végkeresztartókon végig, a kiegyenlítő lemezek 1,0 m hosszban van tovább vezetve. A pályalemez és a kiegyenlítő lemezek csatlakozásánál a megfelelő réteg átvezetését lekerekítéssel lett kialakítva. A szigetelés mélyvonalán helyezkedik el a burkolatszivárgó. A burkolatszivárgót felülről hengerelt aszfalt réteg fedí.

A pályalemezen a szegélyek között a szigetelés védelmét MA 11 öntöttaszfalt, a kiegyenlítő lemezen és a végkeresztartón beton biztosítja. Ebből adódóan nagy kihívást jelent a munkahézagok helyének kiválasztása is. Pl. tetőszelvényes pályalemezeknél a munkahézagot amennyiben lehetséges a magasponton szükséges alkalmazni, így az esély a beszivárgásra is minimalizálható.

2.6 Szegélyépítés

A pályalemez szigetelési, öntött aszfaltozási munkák végétével építettük a szegélyeket. Mivel a szigeteléseken, öntött aszfaltan nem eshet sérülés, így betonlapok segítségével támasztható meg a szegély zsaluzata.



5. ábra: Közbeső szegélyek betonozása

2.7 Burkolatszivárgók kihívásai

A gyöngykavics szivárgók fontos szerepet játszanak a vízelvezetésben. A mélyvonalba kerülő víz mely átszivárgott az aszfaltrétegeken e szivárgótesteken tud távozni a víznyelők, kivezetések irányába. Gyakori hibajelenségnek számít a szivárgók aszfaltozás előtt vagy közben eltömítése. Amennyiben eltömődik sajnos biztos megoldást csak a cseréje nyújt! Ezért nagyon fontos, hogy megvédjük őket!



6. ábra: Burkolatszivárgó kialakítása



4. ábra: Öntött aszfalt készítése

3. Burkolatok csatlakozása

3.1 Ckt és aszfaltburkolatok csatlakozás

Ckt csatlakozás

Az első és talán legfontosabb pont mikor a híd és az útpálya szerkezete csatlakozik. Nagyon fontos volt ellenőrzéseket végezni, bármely geodéziai eltérés megelőzése érdekében.

Aszfaltburkolatok csatlakozása

A hídpálya burkolata 3 réteg aszfalt 15 cm összvastagságban.

Kopóréteg	4 cm	SMA 11 (mF) PmB 25/55-65
Kötőréteg	7 cm	AC 22 kötő (mNM) PmB 25/55-65
Szigetelést védő rtg:	4 cm	MA 11(mF)



Első hazai örökaszfalt próbaszakasz rétegeinek összehasonlítása a hagyományos pályaszerkezeti rétegekkel

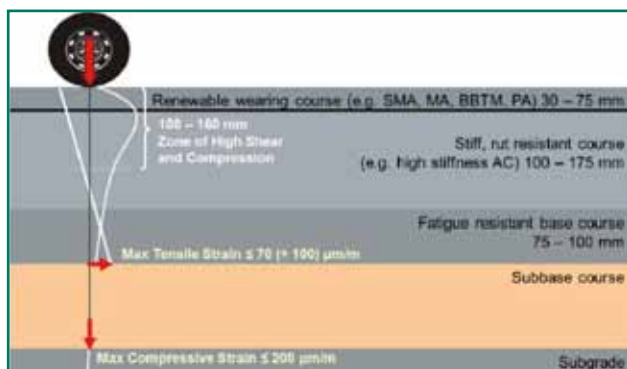
Koch Domonkos

építésvezető
Hazai Építőgép Társulás Zrt.
BME Út- és Vasútépítési Tanszék
Fiatal Mérnökök Fóruma
II. helyezett.



Perpetual Pavement szemlélet

Az amerikai Asphalt Pavement Alliance (APA) 2000-ben vezette be a Perpetual Pavement koncepciót, ami **azokat az aszfalt pályaszerkezeteket jelöli, amelyek tervezési élettartama 50 év felett van, anélkül, hogy nagyobb szerkezeti beavatkozást vagy felújítást igényeljen, leszámítva a periodikus kopóréteg cserét a felületi tulajdonságok fenntartása érdekében.** A pályaszerkezet többretegű rendszert jelent, melyben a rétegek feladata, hogy elviseljék és szétterítve, lecsökkentve továbbadják a kerékről átadódó terheket az alattuk lévő rétegnek. A hagyományos méretezési megközelítés szerint az anyagok minősége letről felfelé javul (altalaj, töltés, javító- és védőréteg, alsó alapréteg, felső alapréteg, kötő és kopóréteg), rétegvastagságuk pedig csökken. A mechanikai méretezés azonban ennél összetettebb megközelítést igényel. Az alkalmazott anyagok minőségét a réteggel szemben támasztott követelmények kell, hogy meghatározzák, így a rétegek összehasonlítása, minőségük sorrendbe állítása erősen kérdéses.

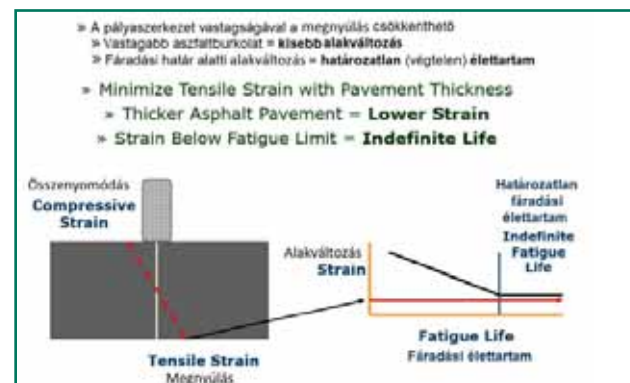


1. Ábra Az aszfaltban ébredő igénybevételek [3]

A 1. ábrán láthatók egy pályaszerkezet függőleges mentén ébredő feszültségek. Látható, hogy a hajlításból származó húzó-nyomó igénybevételek lineárisan változnak a függőleges tengely mentén, a nyomás maximuma a felső szélső szálban, a húzás maximuma az alsó szélső szálban ébred.

A legnagyobb nyíró igénybevételek a kötőrétegben jelentkeznek.

A rétegek szerepének megfelelő anyagtulajdonságok igénye és a mechanikai méretezési elvek együttesen vezettek a Perpetual Pavement koncepció kialakulásához. **Az örökaszfalt pályaszerkezet lényege, hogy az anyagtulajdonságok és a rétegvastagságok változtatásával olyan minimálisra csökkentsék a húzóigénybevételeket az aszfalt alsó szélső szálában, hogy azok a Wöhler- elmélet értelmében csak „végtelen”, jobban mondva indefinite, azaz határozatlan ismétlésszámmal okozzák a szerkezet tönkremenetelét [2. ábra].**



2. ábra Az „örök életű” pályaszerkezet elve [11]

Ennek következtében nem jelentkeznek fáradási repedések, jelentősen kitolódik az alsó rétegek élettartama, és elegendő csak a kopóréteget cserélni, amit az üzemszerű elhasználódás, a felületi tulajdonságok romlása egyébként is indokolna. Elkerülendő az egyéb alulról induló repedéseket a hidraulikus kötőanyagú alsó alaprétegek helyett az örökaszfaltot kötőanyag nélküli szemcsés alaprétegre érdemes építeni. A rossz altalaj, gyenge tükörteherbírás esetén az alsó alapréteg alatt néhány alkalommal meszes vagy akár cementes stabilizációt is alkalmaznak, ezáltal nem szenvedhet maradó alakváltozást a földműtükör. Repedések tekintetében ez nem jelent visszalépést, ugyanis azok a szemcsés alaprétegen nem tükröződnek át. A maradó alakváltozással szemben a magasabb tükör teherbírásértékek és a megfelelő aszfalt merevségek jelentik a megoldást.

Francia módszer

A 2000-es évek elején megjelent egy francia megoldás, ami a kisebb húzó igénybevételeket nagy merevségű aszfaltok (high stiffness modulus, HSM) alkalmazásával kívánta elérni. Az elgondolás abból indult ki, hogy minél nagyobb az aszfalt merevsége, annál inkább

„szétterül” az igénybevétel. Ennek következtében az össz-aszfaltvastagság csökkenthető.

Az aszfalt merevségét kemény bitumennel kívánták elérni (10/15!), valamint magasabb kötőanyag, alacsonyabb szabadhúzag tartalommal és a hagyományosnál kisebb névleges legnagyobb szemmagysággal ($D_{max} = 14$ mm). Az alapréteg hasonlított a kopórétegre, jobban ellenállt a víz behatolásának (permeabilitás) és jobb fáradási tulajdonsággal rendelkezett. A jó gyakorlati tapasztalatoknak, a könnyebb beépíthetőségnek, a sima és zárt felületnek köszönhetően Lengyelországban is gyorsan népszerűvé vált, ugyanakkor, mivel az átlagos hőmérséklet Lengyelországban alacsonyabb, mint Franciaországban, a bitumen 20/30, vagy Pmb 25/55-60, a $D_{max} = 16$ mm volt. A cél a megfelelő merevség és a maradó alakváltozásokkal szembeni ellenálló képesség elérése volt. A modifikált bitumennel

nehezebben sikerült elérni a kívánt merevséget. A lengyeleknek az A2 autópályán alkalmazott HSM aszfalt szakaszukon nem sikerült csökkenteni a pályaszerkezet vastagságát. [4]

2012 februárjában, amikor a hőmérséklet elérte a $-26 - -20$ °C-ot egy héten keresztül, felülről lefelé (top-down) induló, teljes keresztmetszeten áthatoló, tengelyre merőleges keresztirányú repedések jelentek meg 50-100 méterenként szerte Lengyelországban, ahol HSM pályaszerkezet épült. A modifikált bitumenes szakaszokon a repedések ritkábban jelentkeztek, ahol pedig építés közben, kopóréteg nélkül voltak szakaszok, ott az átlagosnál is gyakrabban repedt szét az aszfalt. Ennek következtében felül vizsgálták a HSM aszfaltok alkalmazását, és már csak egyedi esetekben tervezik. [4]

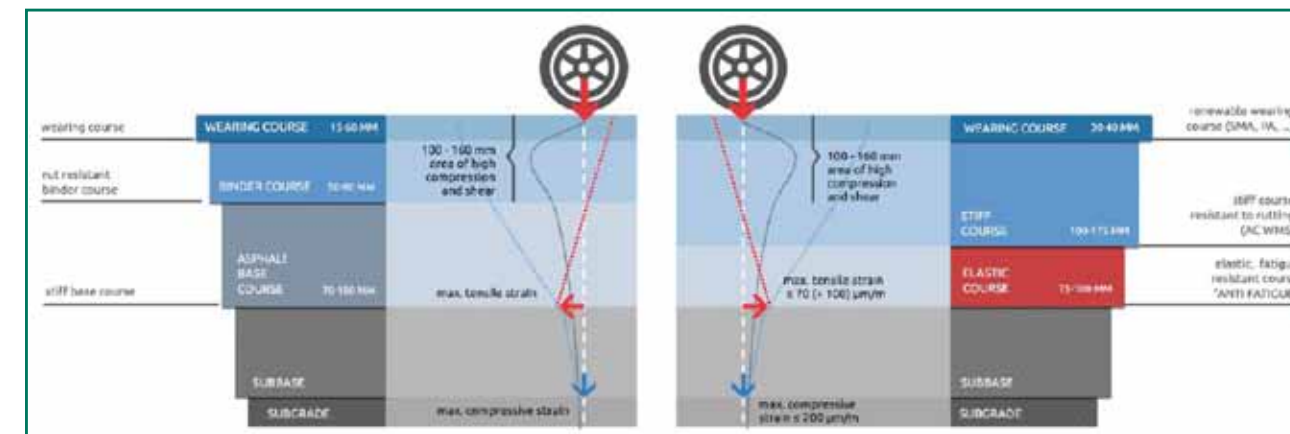
Fáradás elleni réteg (Anti-fatigue layer, Fatigue Resistant Layer) alkalmazása

Egy másik módszer, aminek kezdeményei leginkább az Egyesült Államokban találhatók, a fáradás elleni réteg beépítése a pályaszerkezetbe. A módszer lényege, hogy a legnagyobb húzóigénybevételek helyére egy rendkívül hajlékony réteg kerül betervezésre, ami ezáltal jobb „húzószilárdsággal” és fáradási tulajdonságokkal rendelkezik, mint egy hagyományos alapréteg, így a tönkremenetel is később következik be. Ezt magasabb kötőanyag tartalom, lágyabb bitumen, kisebb névleges szemmagyság, és kisebb vastagság (70-100 mm) útján lehet

elérni. A lágyabb kötőanyag 45/80 bitumen fajtát jelent a lengyeleknek és nálunk. Ugyanakkor érdemes szem előtt tartani, hogy a hajlékonyabb réteg nagyobb feszültséget ad át az alatta lévőre, ezért az alsó alapréteget nagyobb teherbírásra kell tervezni. A kötőréteg a maradó alakváltozás elkerülése végett merev, és vastagabb (100-180 mm).

A hagyományos pályaszerkezet és a fáradás elleni örökaszfalt összehasonlítását mutatja a

3. ábra.



3. Ábra A hagyományos és az örökaszfalt rétegtrendje [4]

Próbaszakasz az M85 gyorsforgalmi úton

Az M85 gyorsforgalmi út Csorna-Sopron közötti szakaszának kivitelezését 2018-ban kezdték meg. A kivitelezés mintegy 57,5 km hosszon zajlik négy szakaszban.



4. ábra Az épülő M85 nyomvonala [NIF Zrt.]

- Csorna és Fertőd-Endrédmajor csomópont között Strabag Építő Kft., a Strabag AG és a Belfry PE Kft. konzorciuma,
- Fertőd-Endrédmajor és Nagylózs között az EuroAszfalt Kft., a Swietelsky Magyarország Kft. és a Betonútépítő Zrt. társulása,
- Nagylózs és Sopron-kelet, valamint Sopron-kelet és Fertőrákos csomópont között pedig a Dömper Kft. és a Subterra-Raab Kft. a kivitelező.

Az M85 gyorsforgalmi út itt nem ér véget, az V. ütem, a Fertőrákos csomópont – Országhatár előkészítő munkái is zajlanak már. A projekt átadása 2020 decemberében volt, ezzel a Modern Városok Program keretében Sopron városa is bekapcsolódott az országos gyorsforgalmi úthálózatba.

A próbaszakasz a II. építési szakaszon kapott helyet, az Euroaszfalt Kft. kivitelezésében.

A II. építési szakasz Fertőd-Endrédmajor csomóponttól a Fertőszentmiklós csomópontig készül az említett Vállalkozó kivitelezésében. A tervezési forgalom 13 981 781 Et, ami K forgalmi terhelési osztályt jelent. A próbaszakasz az

57+300 – 57+800 km sz. között kerül kialakításra a Sopron felé vezető oldalon, jobb pályán előző és haladásában. Az út itt egy R = 1200 m sugarú ívben fekszik, túlemlésben, 4,5 %-os oldalesésben. A koronaszélesség 24,60 m, a burkolat szélesség a jobb pályán 7,50 m, 0,75 m szélesített külső vízvezető szegéllyel. A padka 2,25 m széles M22 nemesített padka, ami mellett 1,00 m humuszpadka található.

A próbaszakasz rétegrendje a már bemutatott lengyel példából indult ki. A cél az volt, hogy az alsó alaprétgre, ami nem lehet hidraulikus kötőanyagú, egy jó fáradási tulajdonságokkal rendelkező felső alaprétgre kerüljön, amire egy merev kötőréteg, végül megint csak egy hajlékony kopóréteg lesz építve. A rugalmas alaprétgellel, ami rendkívül jó fáradási tulajdonságokkal bír, jelentősen megnöveli a burkolat élettartamát, a kötőanyag nélküli szemcsés alaprétgerről pedig nem fog termikus repedés áttükröződni. A merev kötőréteg, ami merevségét a Pmb 25/55-65 bitumennel és 120 mm vastagságának köszönheti, a maradék alakváltozásokat hivatott megátolni. Végül a kopóréteg a rugalmasságával a felülről induló termikus repedések ellen nyújt védelmet.

Hagyományos	Próbaszakasz
4 cm SMA 11 kopó (mF) kopóréteg Pmb 25/55-65	4 cm SMA 11 kopó (mF) kopóréteg Pmb 45/80-65
7 cm AC 22 kötő (mNM) kötőréteg Pmb 25/55-65	12 cm AC 22 kötő (mNM) kötőréteg Pmb 25/55-65
12 cm AC 32 alap (mF) alaprétg Pmb 25/55-65	8 cm AC 22 kötő (mF) alaprétg Pmb 45/80-65
20 cm CKt-4 alaprétg	20 cm FZKA 0/32 (E ₂ ≥ 144 MPa)

1. Táblázat: A kontroll és a próbaszakasz rétegrendje az M85 II. szakaszon

Az eltérő rétegvastagságok problémát jelentenek a szakasz csatlakozásánál, így arra egy átmeneti zónát alakított ki a tervező 20-20 m hosszon. Ebben a zónában a próbaszakasz rétegeinek el kell érnie a hagyományos pályaszerkezet rétegvastagságát, és egy-egy méter átlapolásra van szükség a rétegek felett. A csatlakozás alá 20x20 mm georács terítendő. A próbaszakasz mellé kijelöltek egy kontroll szakaszt is, az 57+800-58+300 km sz. között, ami a hagyományos rétegrenddel épült.

Pályaszerkezeti rétegek

Várható élettartam számítás

Elvárás az örökaszfalt pályaszerkezettel kapcsolatban, hogy legalább azonos értékű (élettartamú) legyen, mint a kiírt, hagyományosnak mondható félmerev pályaszerkezet. A külföldi példák hatására azonban joggal várható, hogy a jobb fáradási tulajdonsággal rendelkező alaprétg hosszabb élettartamot biztosít a pályaszerkezetnek. Analitikus méretezési eljárás segítségével meg lehet határozni a kritikus igénybevételeket: a vízszintes irányú megnyúlást az aszfalt rétegek alsó szélső szálában és a földmű függőleges összenyomódását. Jelen esetben ez nem méretezési, hanem ellenőrzési eljárás lesz. Primusz Péter és Tóth Csaba *Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének alternatív módszere, Analitikus méretezési útmutató* c. kutatási jelentése (tervezési útmutatója) [7] alapján épültek fel a modellek, és került elvégzésre az ellenőrzés. Csak a számítás leglényegesebb lépései kerülnek itt bemutatásra. Három pályaszerkezet modell lett meghatározva, egy háromrétegű a kontroll szakaszról, az örökaszfaltról pedig egy három- és egy négyrétegű. Az ellenőrzés elve, hogy a tervezési forgalomból kiszámolt megengedhető megnyúlás és összenyomódás értékei kisebbek legyenek a méretező szoftver (WESLEA) segítségével meghatározott mértékadó igénybevételeknél.

A szerkezet megfelelő, ha az aszfalt alsó szélső szálának megengedett nyúlása nagyobb, mint a mértékadó megnyúlás (μ):

$$\epsilon_{\text{teng}}^{\text{aszfalt}} \geq \epsilon_{\text{mértékadó}}^{\text{aszfalt}}$$

és a földmű megengedett összenyomódása nagyobb, mint a mértékadó (μ):

$$\epsilon_{\text{veng}}^{\text{földmű}} \geq \epsilon_{\text{vmértékadó}}^{\text{földmű}}$$

A tervezési útmutató alapján meg kell határozni a megengedhető megnyúlás, illetve összenyomódás értékeket.

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

$$\epsilon_{\text{veng}}^{\text{földmű}} = \frac{6000}{TF^{0,23}}$$

Ahol

- F, biztonsági tényező, F = 1,00, vagy 1,50, attól függően, hogy hagyományos vagy Pmb bitumen kötőanyagú az aszfalt réteg. Jelen esetben F = 1,50.
- SF, a Shift faktor értéke, ami FZKA esetében SF = 3,00; CKt esetében SF = 2,50; bitumen kötőanyagú alsó alaprétg (AC) esetében SF = 5,00.
- TF, a tervezési forgalom, TF = 13 981 781 Et.
- Ea, az aszfalt réteg modulusa, számítását lásd alább.
- Vb, a bitumen térfogata az aszfalt keverékben, lásd a 2. táblázatban.

Aszfalt réteg	Egyenértékű aszfalt modulus [MPa], 20 °C	Aszfalt keverék bitumen térfogata [%]	Poisson-tényező [-]
Kopó	4 000	12,8	0,35
Kötő	10 000*	11,4	0,35
Alap	4 500	11,0	0,35

2. táblázat Aszfalt rétegek modell jellemzői [7], *a kötőréteg modulusa nem a tervezési útmutatóban ajánlott érték, hanem Nm kötőrétegekre jellemző érték

Mivel a számítás többrétegű rendszerek esetén igen bonyolult, ezért három, illetve négyrétegű modellek lettek felépítve. Ehhez szükség van az aszfaltok összevonására egy (vagy két) réteggé. A Tervezési útmutató ebben is segítsége nyújt.

Két réteg összevonásakor a két réteg közös modulusa az alsó réteggel egyezik meg, közös vastagságukat súlyozva kell meghatározni:

$$h_a = \left[\frac{A^4 + 4A^3N + 6A^2N^2 + 4AN^3 + N^4}{(A+1)^3(A+N)} \right]^{1/3} * (h_{a1} + h_{a2}), \text{ ahol}$$

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

- h_{ai} , az i-edik réteg vastagsága
- E_{ai} , az i-edik réteg modulusa.

A sor bármeddig folytatható, így a kopó és kötőrétegek összevonása után a közös réteget az alapréteggel kell összevonni. Az aszfalt réteg közös modulusa tehát az alsó réteg modulusával egyezik meg. A többi réteg jellemzői:

Modell megnevezése	aszfalt ϵ_{teng} [με]	földmű ϵ_{veng} [με]	aszfalt $\epsilon_{mértékadó}$ [με]	földmű $\epsilon_{mértékadó}$ [με]	N_{eng} [Et]
Kontroll	149	136	131	105	26 308 820
Örökaszfalt 3 rétegű			136	103	21 815 406
Örökaszfalt 4 rétegű			93	429	145 895 903

4. Táblázat Pályaszerkezet ellenőrzés végeredménye

A 4. táblázatban olvashatók a számítási eredmények. Mivel a megengedett értékek csak a tervezési forgalomtól függenek, ezért mindhárom modell esetében ugyanazok. A Kontroll modellés a háromrétegű örökaszfalt modellben nagyon hasonlóak a mértékadó igénybevételek. Míg az aszfalt alsó szélső szálának megnyúlása egy kicsivel az örökaszfaltnak nagyobb, addig a földmű összenyomódása éppen fordítva. Mindkettő alacsonyabb a megengedettnél értéknél, tehát megfelelnek. A négyrétegű örökaszfalt mo-

Réteg megnevezés	Réteg modulus [MPa]	Poisson-tényező [-]
CKt-4	2000	0,2
FZKA	280	0,4
földmű	80	0,4

3. Táblázat Nem aszfalt rétegek bemenő adatai a pályaszerkezet ellenőrzéskor [7]

A négyrétegű modell azért érdekes, mert a felső alapréteget is burkolatalapként és nem pedig burkolatként veszi számításba. Mégis a mértékadó igénybevételt az alapréteg alsó szélső szálában kell értelmezni, ugyanis joggal feltételezhető, hogy az aszfalt rétegek megfelelően együtt dolgoznak, ezért a fáradási tönkremenetel nem a kötőréteg, hanem a felső alapréteg aljáról indul el.

A tervezési forgalomból meghatározott határértékek:

$$\epsilon_{teng}^{aszfalt} = \frac{\left[\frac{F}{SF} \right]^{0,2} * 10^4 * (0,856 * V_b + 1,08)}{E_a^{0,36} * TF^{0,2}} = 149 \mu\epsilon$$

$$\epsilon_{veng}^{földmű} = \frac{6000}{TF^{0,23}} = 136 \mu\epsilon$$

dell esetében sokkal kisebb aszfalt megnyúlás keletkezett, azonban a földmű összenyomódása jócskán meghaladja a megengedett értéket. Mérnöki szemléletből az örökaszfalt négyrétegű modellje közelebb áll a valósághoz, mint a félmelev pályaszerkezethez nagyon hasonló eredményeket adó háromrétegű. Arra is szemléletből lehet következtetni, hogy hajlékony pályaszerkezet esetén nagyobbak a behajlások, tehát a földmű függőleges összenyomódása is nagyobb kell legyen, de a számított érték extrém magasnak számít.

FZKA alapréteg kérdései

A legfontosabb szempont a megfelelő szemmegoszlás biztosítása volt, így a Vállalkozó amellettt döntött, hogy keverőn keveri le az FZKA-t. Ehhez még megfelelő anyagot kellett biztosítani. A bányaválasztást elsősorban az a szempont befolyásolta, hogy melyik tud pontos frakciókat kiszolgálni. Végül ezt a kívánalmat legközelebb a projekthez egy ugodó bánya tudta biztosítani.

A 0/32 frakciót 0/22 és 22/32 frakcióból állították össze. Két féle keveréket terveztek meg:

1. FZKA 0/32 zúzottkő 70/30 (Z0/22 és /22/32 70%-30% arányú zúzottkő keveréke)
2. FZKA 0/32 zúzottkő 60/40 (Z0/22 és /22/32 60%-40% arányú zúzottkő keveréke)

Az anyagválasztási és beépítési kérdések eldöntésére próbabeépítést hívott össze a Vállalkozó az 57+700-57+750 km sz. között.

A réteg építéséhez a fogadó felületen az alábbi követelményeket kellett teljesíteni:

- Tömörség (Trp) $\geq 97\%$;
- Teherbírás (E_2) ≥ 80 MPa;
- Tömörégi tényező (Tt) $\leq 1,9$

A próbatömörítés sikeresnek tekinthető, amennyiben az alábbi feltételeket sikerül teljesíteni:

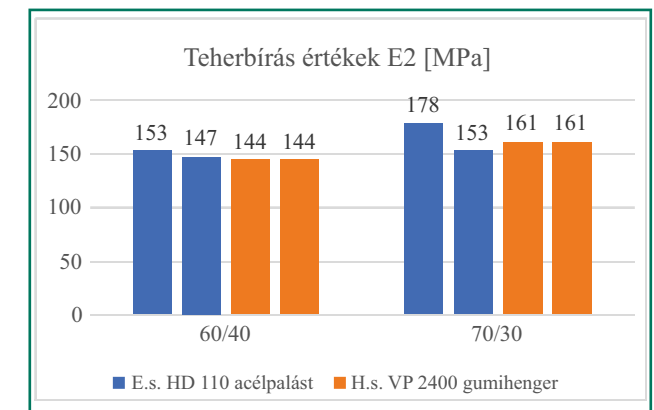
- Teherbírás (E_2) ≥ 144 MPa;
- Tömörégi tényező (Tt) $\leq 1,9$

A tömörítő eszközök, tervezett hengerkombinációk:

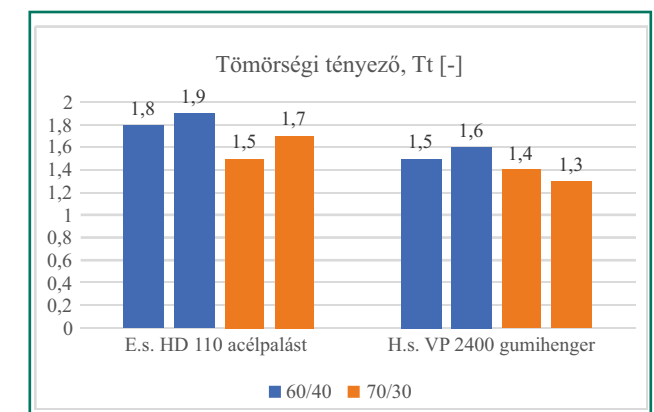
- Hamm HD90K kombihenger 9 to (1 vibro, 1 simító hengerjárat) + VP 2400 gumihenger 20 to (8 hengerjárat)
- Hamm HD90K kombihenger 9 to (1 vibro, 1 simító hengerjárat) + HD110 acélpalástos henger 10,5 to (6 hengerjárat)

A próbabeépítés előtt a szakaszt 2x25 méterben 2 sávban 4 raszterre osztották és mindegyik raszterben teherbírás és tömörségméréseket végeztek. A fogadó felület teljesítette az előírt követelményeket. Az anyagot a projekt keretében felállított mobil Amman gyártmányú keverő biztosította, ami közel, 5 km-es szállítási távolságra volt található. A réteget Vögele 2100-2 finisher terítette, két sáv (előző és haladó) szélességben, ezáltal homogénebb réteg építhető, csökken a szétosztályozódás. Az acélpalástos hengerkombináció az előzősávban, a gumihengeres tömörítési mód a haladó sávban történt. Az időjárás kedvező volt, napsütés, enyhe északnyugati szél, 20 °C-os hőmérséklet. A napokban nem volt számottevő csapadék.

A próbabeépítés sikeres volt, ugyanis mindegyik mérési pontban sikerült az előírt követelményeket teljesíteni, a részletes eredményeket az 5. és 6. ábra mutatja be.



5. ábra FZKA teherbírás értékek



6. ábra FZKA teherbírás értékek

A két keverék közül a 70/30 keverési arányú anyagnál sikerült kicsivel nagyobb teherbírás értékeket produkálni, valamint a felülete homogénebb volt, a beépítés során a szétosztályozódás veszélye kisebb, így ez a keverék került kiválasztásra. A hengerlési módok közül a gumihengeres tömörítésre esett a választás, elsősorban az alacsonyabb tömörégi tényezők miatt, de a zártabb felület miatt is.

A fogadó felület teherbírása nem volt hatással az FZKA tetején mért teherbírásokra. A próbabeépítés alapján az alábbi beépítési jellemzők mellett döntöttek:

- FZKA 0/32 zúzottkő 70/30 (Z0/22 és Z22/32 70%-30% arányú zúzottkő keveréke)
- Hamm HD90K kombihenger 9 to (1 vibro, 1 simító hengerjárat) + VP 2400 gumihenger 20 to (8 hengerjárat)
- Finisheres terítés, laza terítési vastagság ≈ 23 cm
- Beépítési víztartalom: $w_{opt} = 4-5\%$

Bitumenek vizsgálatai

Az anyagválasztási kérdések talán legfontosabb pontja a megfelelő bitumen kiválasztása volt. Ez a hagyományos pályaszerkezet esetében Pmb 25/55-65 bitument jelent, míg az örökaszfalt esetében Pmb 45/80-65. Elvégzésre kerültek a hagyományos empirikus vizsgálatok is (penetráció, lágyulási pont, Fraas-féle töréspont stb.) és a Magyar Közút közreműködésével az amerikai, viselkedés-elvű SHRP vizsgálatok is. Ezek eredményei láthatók a 7. és 8. ábrán.

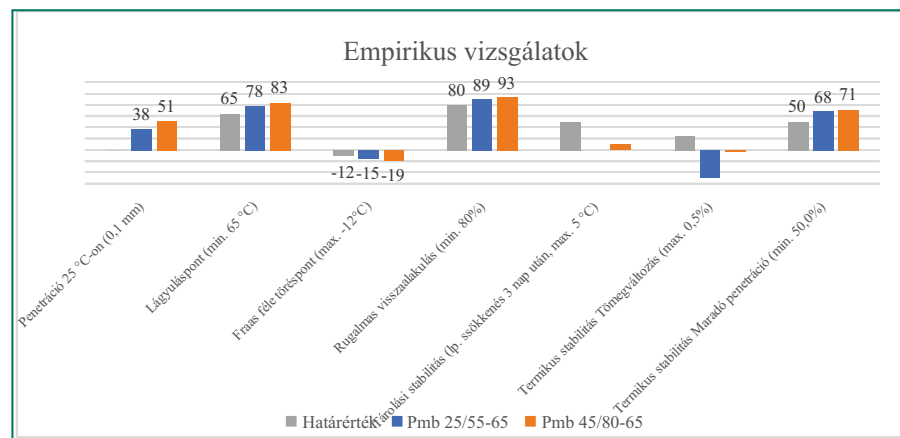
A két vizsgálati eljárás alapján az alábbi következtetések vonhatók le. Meleg viselkedés szempontjából a 25/55-65 bitumen jobban teljesít, fázadási és hidegviselkedési szempontból azonban a 45/80-65 bitumen a jobb. Plasztikus hőtávolsága utóbbinak nagyobb, öregedésre kevésbé hajlamos, akár gyártás közben, akár élettartama során. Belátható, hogy közvetlen összefüggés nincsen az empirikus vizsgálati eredmények és a bitumen viselkedése között, ezért sokkal nagyobb hangsúlyt kell fektetni a teljesítményalapú vizsgálatokra, melyeknek jó példája az SHRP vizsgálatok sorozat, ami már itthon is kezd elterjedni.

A bitumen vizsgálatok alapján elvárható, hogy a próbaszakasz fázadás elleni rétege jó teljesítményt nyújtson, valamint, hogy a kopóréteg termikus repedésekkel szembeni ellenállóképessége is meghaladja a 25/55-65 bitumennel készült kopóréteget.

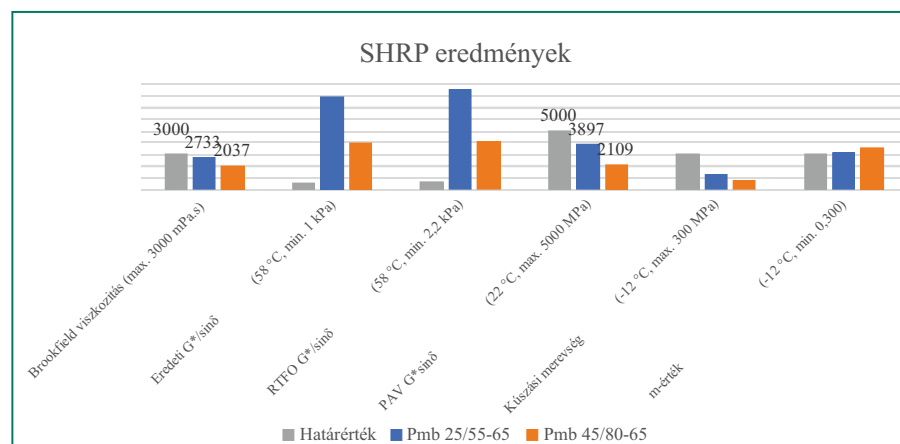
Melegviselkedés szempontjából lehetne jobb a hagyományos pályaszerkezet, ezzel összhangban az örökaszfalt nyomvályúsodásra hajlamosabb, azonban mivel a kötőréteg ugyanabból a jó melegviselkedésű 25/55-65 bitumból készül, és a vastagsága 12 cm, a plasztikus deformációra szintén nem lesz hajlamos. A bitumenek összehasonlításából az a következtetés vonható le, hogy az örökaszfalt jobb teljesítményt tud nyújtani.

Fázadás elleni alaprégteg

A fázadás elleni alaprégteg legfontosabb vizsgálata a fázadás vizsgálat volt, ami négy pontosos hajlító vizsgálatot követelt elvégzésre. Még a keveréktípus tervezésénél, laborban kevert keverékkel az örökaszfalt fázadási ellenállása 152 $\mu\epsilon$ -re adódott, ami megfelelő eredmény, de a cél ennél is jobb fázadási ellenállás elérése volt, ezért a végleges keverék már megnövelt bitumentartalommal készült. **Az új keverék igazolta az elvárásokat, már az aszfaltkeverővel készített ömlesztett mintákból származó fázadásvizsgálatok 168 $\mu\epsilon$ fázadási ellenállást mutattak, az AC 32 alaprégteg 159 $\mu\epsilon$ eredményével szemben.** A Magyar Közút vizsgálatai ennél is jobb fázadási ellenállást mértek az örökaszfaltnak (243 $\mu\epsilon$).



7. ábra Empirikus vizsgálatok eredményei



8. ábra SHRP eredmények

A fázadási görbék egyenleteibe behelyettesítve a korábban analitikus méretező szoftverrel kiszámolt mértékadó igénybevételeket, az ismétlésszám, vagyis az élettartam visszszámolható.

A fázadási görbék egyenletei:

$$y = 652,08 * x^{-0,095}, \text{ az örökaszfalt esetében}$$

$$y = 1001,7 * x^{-0,133} \text{ az AC 32 alaprégteg esetében.}$$

A görbék paramétereiből látható, hogy az AC 32 fázadási ellenállása alacsony ismétlésszámmal magasabb (a paraméter), a görbe lefutása azonban ócskán meredekebb, mivel iránytényezője (b paraméter) kisebb. Ezzel szemben az örökaszfalt görbéje ellaposodik.

Az egyenletekben az y jelenti a fajlagos megnyúlást $\mu\epsilon$ -ben, míg az x az ismétlés számot. Rendezés után az alábbi képlettel számolható vissza az élettartam:

$$x = \sqrt[b]{\frac{y}{a}}$$

Ismerve a és b paramétereket, y helyére a korábban kiszámolt mértékadó igénybevételek értékeit kell beírni.

Megnevezés	Paraméterek		Értéktámadó [$\mu\epsilon$]	Ismétlésszám N [db]
	a	b		
Örökaszfalt 3 rétegű modell	625,08	-0,095	136	9 388 513
Örökaszfalt 4 rétegű modell			93	512 894 387
Kontroll szakasz	1001,7	-0,1333	131	4 242 821

5. Táblázat Várható élettartam visszszámítása

A tönkremenetel akkor következik be, amikor az egység tengely áthaladásából származó igénybevétel meghaladja az aszfalt fáradási ellenállását. A háromrétegű modellben az örökaszfalt mértékadó megnyúlása 136 $\mu\epsilon$ volt, ez a 9 388 513 db ismétlésszámot engedélyez. A kontroll szakasz 131 $\mu\epsilon$ értékű mértékadó igénybevételét az AC 32 leromlási görbéje mindössze 4 242 821 db ismétlésszámmal eléri. **Ez azt jelenti, hogy az örökaszfaltnak legalább kétszer nagyobb a fáradási élettartama, mint a kontroll szakasznak.** A négyrétegű modell 93 $\mu\epsilon$ mértékadó igénybevételéhez tartozó tönkremenetel 512 894 387 db ismétlésszámmal következik be. Ez a szám olyan nagy, hogy sokkal inkább határozatlannak, indefinite-nek kell nevezni, azaz ebben az esetben az örökaszfalt valóban „örökéletű”.

Kötőréteg

A kötőréteg mindkét pályaszerkezetben ugyanabból az AC 22 kötő (mNM) 25/55-65 anyagból készült. Egyedüli különbség a rétegvastagságokban van, hagyományos pályaszerkezet esetében 7 cm, az örökaszfalt pályaszerkezetnél 12 cm vastagságú a kötőréteg.

Ez leginkább beépítésben jelentett változást. A kötőréteg nagy modulusú (NM), vagyis nagy merevséggel kell rendelkeznie, hiszen ez a réteg hivatott meggátolni a nyomvályúsodást. A maradó alakváltozási hajlama ennek a rétegnek a legkedvezőbb (2,4%). A megfelelő rétegtápadás kiemelten fontos a kötőréteg alján és a kötőréteg tetején is. Előbbi hiányában korábbi fáradási tönkremenetel, utóbbi hiányában korábbi nyomvályúsodás jelentkezhet. A kötőréteg modulusa 12126 MPa, ami bőven teljesíti az előírt min. 7000 MPa értéket és nagyobb, mint az alaprégtegeké. Négy pontosos hajlító vizsgálaton a fáradási ellenállása 158 $\mu\epsilon$ értékre adódott, ami szintén teljesíti az ÜME-ban előírt 115 $\mu\epsilon$ minimális értéket. A vizsgálatokat összefoglalva elmondható, hogy a kötőréteg keveréke megfelelő merevséggel rendelkezik, maradó alakváltozásra a beépített rétegek közül a legkevésbé hajlamos, emellett jó fáradási tulajdonságokkal is rendelkezik.

Kopóréteg

A próbaszakasz kopórétege a lengyelországi francia módszerrel épített burkolatok rossz hidegviselkedése miatt lágyabb bitumennel készült. A bitumen az alaprégteghez hasonlóan Pmb 45/80-65, az eredeti Pmb 25/55-65 helyett. A lágyabb bitumen hivatott meggátolni, hogy annak ellenére, hogy hazánk klimatikus viszonyai között ritkán fordul elő, de a téli extrém hidegben az aszfaltburkolaton fentről lefelé induljanak el a repedések.

A repedésvizsgálat Dr. Török Kálmán és Dr. Pallós Imre által az Útgyi lapok c. folyóiratban megjelent tanulmánya alapján került elvégzésre. A vizsgálat a repedési hőmérséklet direkt meghatározására irányul. Egy hasáb alakú próbatest egyenletes sebességű hűtésakor a vizsgáló berendezés meg-

akadályozza a hőmérséklet-változás hatására bekövetkezni akaró hosszirányú alakváltozást. Ezáltal a próbatestben felhalmozódik a termikus húzófeszültség, ami egy bizonyos hőmérsékleten eléri az aszfalt húzószilárdságát, ekkor a próbatest eltörik, a vizsgálatnak vége. A gép rögzíti a tönkremeneteli hőmérsékletet, ez lesz az aszfalt repedési hőmérséklete (ARH) és a tönkremenetelhez tartozó feszültséget. Az előzetes várakozás az eredménnyel kapcsolatban, hogy a lágyabb bitumen számottevően (5 °C) alacsonyabb repedési hőmérsékletet biztosít az örökaszfaltnak. A vizsgálatok elvégzésére a BME Út- és Vasútépítési laboratóriumában került sor a Szerző által, labor munkatárs segítségével.



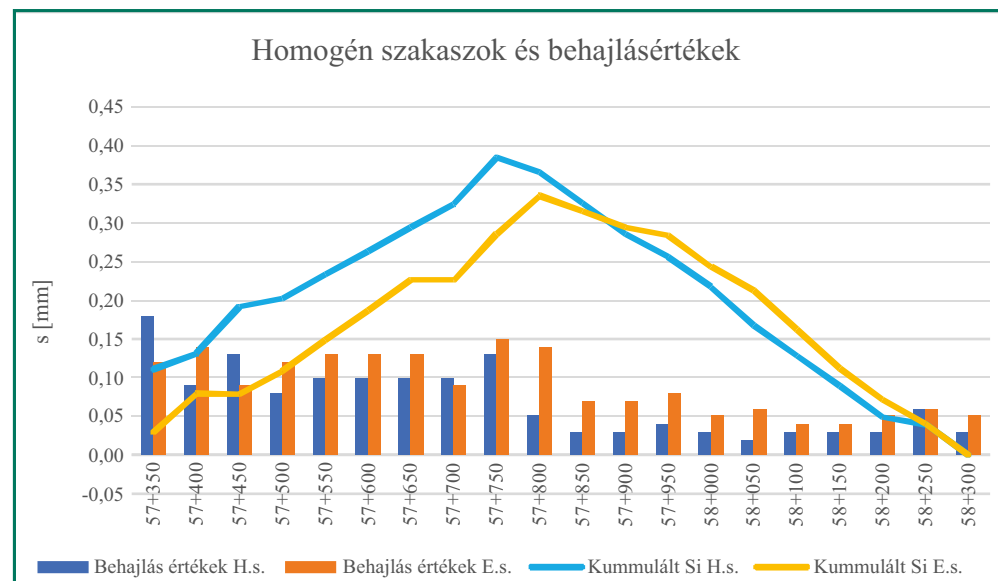
A vizsgálat sikerrel zárult ugyanis a lágyabb bitumennel készült **Örökaszfalt kopóréteg repedési hőmérséklete igen alacsony, -30,8 °C**, ami rendkívül jó eredmény, ugyanis -20 °C alatti hőmérsékleten a legtöbb aszfalt már tönkre megy (pl. M1 autópálya jobb pálya, 1975). Az eredmény alacsonyabb, mint a Kontroll szakasz kopóréteg -28,9 °C repedési hőmérséklete. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy a különbség

nem túl nagy, ami annak köszönhető, hogy a Kontroll minta is jó eredménnyel rendelkezik. A kis különbség oka lehet bitumenek közeli Fraas-féle töréspontja és a penetrációjuk közötti közepes különbség, ami lehetne akár nagyobb is.

Összességében elmondható, hogy a kitűzött célt, miszerint az Örökaszfalt jobb hidegvisselkedéssel kell rendelkezzen, sikerült teljesíteni.



Az elkészült burkolaton, a próba és a kontroll szakaszon egyidőben, az előző és haladó sávban egyaránt 50 m-ként behajlásmérést végeztek. A vizsgálatot Benkelman tartós módszerrel, statikusan végezték, 13 °C levegő hőmérsékleten, derült időben, november közepén.



9. ábra Behajlásmérés

	Mértékadó behajlás [mm]		Megengedett behajlás [mm]
	Haladó sáv	Előző sáv	
Próba szakasz	0,13	0,16	0,39
Kontroll szakasz	0,04	0,08	0,34

6. táblázat Behajlás mérés végeredményei

A behajlás adatok alapján meghatározásra került a szakaszok mértékadó behajlása az e-ÚT 06.03.13 Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése c. Ütügyi Műszaki Előírásban foglaltak szerint. Az adatsor feldolgozása során a 9. ábrán látható kummulált értékekből álló grafikont lehet kapni. Az előző- és haladósáv eredményei külön szerepelnek, előbbieket sárga színnel, utóbbiak kékkel. A próba és a kontrollszakasz határa egyértelműen látszik ebből az ábrából, az 57+800 km sz. után a behajlás értékek jóval alacsonyabbak.

Megállapítható, ahogy az várható volt, hogy a hajlékony pályaszerkezeten nagyobbak lesznek a behajlások, mint a félmerev pályaszerkezeten. Azonban megfigyelhető az az érdekesség is, hogy az előző sávban mért adatok rendre nagyobbak a haladósávban mérteknél. A jelenség valószínű magyarázata, hogy az elválasztósáv irányából a földmű tükör nedvesedik. Ennek látszólag ellentmond, hogy a Kontroll szakaszon kétszer akkorák az előzősáv behajlás értékei, mint a haladó sáv, pedig CKt-4 alapréteg a vízre kevésbé érzékeny, és merevebb, tehát nagyobb behajlási teknőt vesz fel. A megoldás az elválasztósáv anyagában rejlik: az Örökaszfalt mellett, tartva az elválasztósáv felőli elnedvedéstől, rendkívül jó vízelvezető tulajdonságú, tulajdonképpen kapilláris megszakító réteggént is beépített kavicsot alkalmaztak feltöltésként, míg a Kontroll szakasz mellett ugyanazt, az egyébként vizsgálatok szerint a kiírásnak megfelelő anyagot, ami a gyakorlatban kevésbé bizonyult vízelvezetőnek.

A számítás végeredménye olvasható a 6. táblázatban. Az Örökaszfalt próbaszakaszon mért behajlásértékek kétszer, háromszor akkorák, mint a félmerev kontrollszakaszon, a 0,13 és 0,16 mm értékek közepes eredménynek mondhatók. A megengedett behajlások így is jócskán meghaladják a mért és számított értékeket. Ez nagyságrendi eredmény feltehetően azt jelenti, hogy a pályaszerkezet jól elnyeli a terheléseket, és a relaxációs képessége miatt ezt gyakorlatilag végtelen ismétlésszám alatt is képes elviselni, és rugalmasan visszaalakulni, de fennállhat a veszélye annak, hogy mivel nem ad annyi alátámasztást az alsó alapréteg, az aszfalt alsó szélső szálában akkora megnyúlás keletkezik, hogy a tönkremenetel hamarabb bekövetkezik. A fáradás, merevség és teherbírás eredmények alapján utóbbi feltevés valószínűtlen. A mérési eredményekről elmondható, hogy homogének voltak, nem voltak kiugróan eltérő eredmények, így ez a vizsgálat sikeres, a pályaszerkezet megfelelő.

Kivitelezési tapasztalatok

A kivitelezési tapasztalatok összegyűjtése a helyszíni építésvezetőnek, művezetőnek és az aszfalt beépítő géplánc tagjainak, tehát a finishervezetőnek, hengerészeknek és a fizikai dolgozóknak a kikérdezésén alapul.

Mint az FZKA-ról szóló fejezetben már említésre került, hogy a padkán külön gréderes terítésre volt szükség. Ez okozott ugyan nehézséget nem okozott, de meg kell jegyezni, hogy plusz munkafolyamatot igényelt. Az elválasztósáv melletti hagyományos 1:1 hajlású burkolati rétegek lépcsőzése helyett 50 cm-rel kellett megnövelni a szélességet a megfelelő oldalmegtámasztás miatt. Az előző és haladósáv a szélesített vízelvezető szegéllyel 9,23 m terítési szélességet jelent, aminek eléréséhez nagy szélességű finisherpad szükséges, amivel csak a nagyobb cégek rendelkeznek, ez jelen esetben nem jelentett problémát, ugyanis a Vállalkozó nagy, több évtizedes autópálya építési tapasztalattal bír, így megfelelő géppark állt rendelkezésre. A víznyelő aknáknak környezetében minden esetben kézi tömörítés szükséges. Az FZKA természetéből fakadóan vízérzékeny, ezért csapadékos időben nem, vagy csak igen nehezen építhető. Csapadékos idő alatt nem az esőben építés értendő, az ugyanis teljesen kizárt bármilyen más burkolati réteg építésekör is, hanem a beépítést megelőző és követő napok időjárása a meghatározó. Száraz időben a jó szemmegoszlású, tehát kevés finomrész tartalommal rendelkező anyag hamar elveszíti nedvesség tartalmát, és megfigyelhető fellazulás. Ezért organizációtól függően, amennyiben nincs eltakarva néhány napon belül, folyamatos locsolás (vízpermetezés) és gumihengeres utótömörítés szükséges. Nagyon fontos, hogy homogén legyen a felület mind geodéziai, mind teherbírás szempontjából, ugyanis a következő réteg, a fáradás elleni alapréteg vékony és közepes szemnagyságú, így már beépítés közben deformálódhat. Beépítés során nehézség nem lépett fel, a keverőben meghibásodás, kisebb gyártási szünet sem történt, az anyagellátás folyamatos, az anyagminőség megfelelő volt. A hengerészek elmondása alapján „az anyag hamar beállt”, nem kellett „szétjárni”, tehát jól tömöríthető volt. A CKt alapréteggel szembeni előnye, hogy nem kell várni az eltakaráshoz kötésre, illetve szilárdulásra, sőt dilatációs hézagvágásra sincs szükség, ugyanakkor utókezelésként igényelhet locsolást és hengerlést. Eltakarásra már másnap elvi lehetőség van, a szükséges labor és geodéziai vizsgálatok elvégzésének időigénye miatt inkább a beépítést követő második napon lehet legkorábban eltakarni. A forgalmat nem érdemes ráterelni, hogy a felület megtartsa homogenitását és egyenletességét.

Az alapréteg terítése előtt mindenképpen szükséges teherbírásmérést végezni, ha szükséges, az aszfalt beépítése előtt hengerléssel kell biztosítani/helyreállítani a lecsökkent teherbírást. Az aszfaltozást az FZKA geodéziai megfelelőse esetén lehet stangával felszerelt finisherrel tervezett vastagsággal és oldaleséssel húzni. Az átmeneti zónákon mindenképpen szükséges volt két oldali zászlóssorral szintvezérléssel haladni. Ennek a rétegnek a beépítése már nem különbözik nagyban a hagyományos aszfalt réteg beépítéstől. Érdekes volt hallgatni, hogy az építésvető úgy magyarázta a gépkezelőknek, hogy mit fognak csinálni, hogy a kötőréteget és az alapréteget felcserélik. Ez egy nagyon gyakorlatias megközelítés volt, a gépkezelők pedig egyből megértették a feladatukat, ugyanakkor ez egy téves megközelítés, hiszen az egyes rétegeknek más funkciója van, nem

a rétegek cserélődtek fel, hanem a funkciójuknak megfelelőbben lettek tervezve. Ez az összetett aszfaltmechanikai megközelítés azonban nem várható el a gépkezelőktől, ezért mivel a magyarázat elérte a célját és a gépkezelők megértették feladatukat, dicséretreméltó. Mivel a fáradás elleni alapréteg nagyon vékony, mindössze 8 cm vastag és alatta kötőanyag nélküli szemcsés alapréteg van, az építési forgalmon ezen a szakaszon csak nagyon kivételes esetben megegedett. Nagy a veszélye annak, hogy a napokon, akár heteken át tartó nagytömegű szállítás, legyen az földmunkához vagy burkolatépítéshez kapcsolódó, nyomvályúsodást eredményez a hajlékony pályaszerkezetben, ezért eltakarása mielőbb ajánlott. A rossz teherbírású vagy nedves, esetleg rossz geometriájú FZKA-n nem lehet hengerelni, az aszfalt folyamatosan kitér a palást alól, illetve „gumizik”, nem tömöríthető, ezért a fáradás elleni réteg sikerességének alapköve a megfelelő FZKA alapréteg.

A kötőréteget tehát minél hamarabb rá kell húzni az alaprétegre, hogy a burkolatalap megvédése biztosított, az organizáció pedig könnyebb legyen. A szintvezérlés hasonlóan az alapréteghez történhet stangával és tervezett vastagsággal és oldaleséssel, az átmeneti zónákban pedig két oldali zászlóssorral letapogatott vezérlésre van szükség. A terítést természetesen csak megtisztított, emulziózott felületen szabad végezni, az esetleges szennyeződések (pl. szállítójárműről) el kell távolítani. A hullámoosság csökkentése érdekében érdemes előadagolót használni, az egyenletes anyagellátás és a szétosztályozódás veszélyének csökkentése miatt. A Vállalkozó előadagolót használt. A nehézséget a szemnagysághoz mért nagy vastagság jelenti. A 12 cm tömör vastagság 14-14,5 cm laza terítési vastagságot jelent, a $D_{max} = 22$ mm-hez tartozó rétegvastagság-szemnagyság arány, $h/D_{max} \approx 5,5$, ami jelentősen meghaladja az optimálisnak vélt $h/D_{max} \approx 3-4$ arányt. Gumihenger alkalmazása kötelező. Fokozott a szétterülés és az alsóbb régiók kisebb tömörségének veszélye. Elmondható azonban, hogy ezt sikerült elkerülni a megfelelő hengerkombinációk és hengerjáratok megválasztásával. A kötőréteg elkészülte után előálló 20 cm vastag aszfaltréteg már elegendő teherbírással rendelkezik ahhoz, hogy az építési forgalom közlekedjen rajta.

A nagy méretű építések esetén tehát azt a következtetést lehet levonni, hogy organizációs szempontból az a legoptimálisabb, ha kb. 2 km hosszú szakaszok épülnek egy-egy periódusban FZKA-alap-kötőréteg szinten. Ez 5-6 napos FZKA, 2-3 napos alap és 3-4 napos kötőréteg építési ütemnek felel meg.

A kötőréteg tisztítása és megfelelő emulziósorozása nagyon fontos aszfaltmechanikai szempontból, ugyanis a kopó- és kötőréteg együttléteződése kritikus pontja a repedések és nyomvályúk kialakulásának. A kopóréteg beépítése már semmiben nem tér el a hagyományos beépítéstől, a rétegvastagság és burkolatszélesség ugyanaz. A beépítésnél nem kellett kiemelni a padot, ugyanis sikerült az anyagellátást úgy biztosítani, hogy a kötőanyagot váltó keverőből kiérjen a finisher elé az első jármű úgy, hogy ne fogyjon ki az anyag. Ezután már csak elméleti döntés kérdése volt, hogy nem került kiemelésre a pad, ezáltal egy plusz, felesleges slussz-szal, mint potenciális hibaforrással kevesebb lett. Az anyagátmenet folyamatos volt. Amennyire lehetett, kijáraták a 25/55-65 bitumenű anyagot, majd csak utána öntötték a 45/80-65 bitumenűt. Az átmenet ezáltal folyamatos volt, utólagosan szemmel nem észrevehető. A végeredményül kapott felület homogén és szép.

Összefoglalás

Az M85 gyorsforgalmi út II. szakaszán az 57+300-57+800 km sz. között kivitelezett örökaszfalt próbaszakasz vizsgálatai nagyrészt lezajlottak. A vizsgálatok és az elvégzett számítások igazolták az örökaszfalt jobb teljesítőképességét. Az analitikus méretezéssel és az anyagválasztás további kísérletezésével a burkolatélettartama tovább növelhető. A gumibitumen kötőanyaggal gyártott keverékekben nagy lehetőség rejlik, fáradási tulajdonságaik nagyon jók [21] [22]. A jövőben érdemes

az örökaszfalt kutatásokat gumibitumenes kötőanyagú aszfaltkeverékekre is kiterjeszteni. A burkolatok merevsége, így a behajlása is nagyban függ a hőmérséklettől. Különböző évszakokban (hőmérsékleti körülmények között) végzett terepi vizsgálatokkal tovább lehet mélyíteni a pályaszerkezet viselkedéséről eddig gyűjtött tapasztalatokat. Az M1 autópálya háromsávúsítása várhatóan örökaszfalt pályaszerkezettel fog megépülni. Ez a projekt a hazai útépités egyik legnagyobb műszaki kihívása a következő évtizedben, mind beruházói, mind tervezői, mind kivitelezői oldalról.

Irodalom

- [1] Asphalt Pavement Alliance: Perpetual pavements: A synthesis, (APA 101). Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association, Asphalt Institute, State Asphalt Pavement Associations, 2002
- [2] e-UT 06.03.21:2018, Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok rétegeinek követelményei, Ütügyi Műszaki előírás, 2019
- [3] Igor Ruttmar, Agata Grajewska, Karolina Pelczyńska: Perpetual pavement design and construction using anti-fatigue base layer on expressway S8 in Poland, 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 2016, DOI: 10.14311/EE.2016.175
- [4] Igor Ruttmar: Perpetual Pavement Design, S8 Expressway, MAUT, 2019
- [5] David E. Newcomb, Kent R. Hansen: Mix Type Selection for Perpetual Pavements, International Conference on Perpetual Pavements, Columbus, Ohio, 2006
- [6] e-UT 06.03.53:2018, Kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú burkolatalapok, Ütügyi Műszaki Előírás, 2018
- [7] Primusz Péter, Tóth Csaba: Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének alternatív módszere, Analitikus méretezési útmutató, Kutatási jelentés, Ütügyi Lapok, 2016
- [8] e-UT 06.03.13, Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése, Ütügyi Műszaki Előírás, 2005
- [9] e-UT 05.01.26:2018, Bitumenes kötőanyagok az útpályaszerkezetek aszfaltburkolati keverékeinek gyártásához, Ütügyi Műszaki Előírás, 2018
- [10] e-UT 05.02.11:2018, Útpályaszerkezeti aszfaltburkolatok keverékeinek követelményei, Ütügyi Műszaki Előírás, 2019
- [11] NIF Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt, Utiber Kft, Unitef Zrt: „M1-es autópálya 2x3 sávra bővítése az M0 és Tata-bánya – Újváros csomópontok között”, A pályaszerkezet analitikus méretezése, 2019

Különleges kihívások bemutatása a Zala Zone tesztpálya építése kapcsán: Dinamikai platform, Fékező platform

Rosta Szabolcs

Innovációs főmérnök
Duna Aszfalt Zrt.
Fiatal Mérnökök Fóruma
III. helyezett.



1. Bevezetés

A tesztpálya funkciójából adódóan – az alacsony és magas sebességű járműdinamikai határhelyzetben végzett tesztek, ABS, ATC és ESP rendszerek tesztelése járműviselkedés, járműkezelhetőség, valamint a műszaki beállítások vizsgálata – a hazai autópályáknál előírt főként geodéziai és felületi egyenetlenség határértékeknél szigorúbb előírásoknak kell, hogy megfeleljünk. Továbbá különböző csúszásellenállással rendelkező burkolatok beépítése is feladatunk, amely szintén jóval szélesebb spektrumot ölel fel a megszokott útépitési trendhez képest. A nyomvonalas létesítményeknél megszokott útépitési „szokástól” eltérően a tesztpálya elemek közül több esetben is valamilyen homogén, nagy egybefüggő felületek építése volt a feladatunk, ilyen például a dinamikai platform és a fékező platform is.

Ennek okán olyan aszfaltépítési technológiát kellett alkalmazunk, amely ezen igényeket ki tudja elégíteni. 2018 elején cégünk nagy beruházást hajtott végre aszfaltbeépítő gépláncok kapcsán. A cégcsoportunkhoz érkezett első körben 3 db Vögele Super1900-3i beton- és aszfaltterítő gép Leica PaveSmart 3D szintvezérelt rendszerrel (2019-től cégünk már 8 db ilyen rendszerrel ellátott finisherrel rendelkezik). Ennek köszönhetően Magyarországon először a Zala Zone Tesztpálya építése kapcsán tudtunk ebből 2 gépláncot munkába állítani (a harmadik ezzel párhuzamosan M4 project pilisi szakaszán került elsőként alkalmazásra.).

A mérőállomás vezérelt rendszer előnyei a hagyományos technológiával szemben, amit a tesztpályán ki tudtunk használni a következők voltak:

- mind a magasság a dőlés, a padszélesség, mind a gép kormányzását is képes automatikusan végezni. Tehát zászlózás nélküli munkavégzés, „wireless” szintvezérlő zsinór, ultrahangos szonár, Big-Ski nélkül;
- tökéletes megvalósítása a 3D kialakításnak hossz-szelvényi lekerekítéseknél ívekben;
- kizárható a személyi hiba (zászlók pozíciójának helyszíni számítása, zászlók beállítása, sűrítése, zsinórfeszítési hiba);
- nincs szükség a hosszadalmas szintezési munkára a zászlók beállításához az adat-előállítás után egyből kezdhető a beépítés;
- a helyszínrajzi íveket is tökéletesen leköveti, megszűnik a pályaszerkezeti rétegek „húrosodása”;
- elérhető maximális pontosság ± 3 mm magasságilag és ± 10 mm ($\pm 0,03'$) vízszintesen;
- **prizmat, távvezérlő tablet használatával a beépített szint és szélesség ellenőrzése felületként biztosított, azaz bármely pontban, a 3D felületen számított tervi magassághoz képest az eltérést azonnal láthatjuk, azonnali beavatkozást tudunk végezni.**
- **prizmat segítségével a hengerjáratok beállítása lehetséges, a felület torzulások mértéke egyszerűbben nyomon követhető (burkolatszél kinyomódás, keresztcsatlakozások, hosszcsatlakozások környezetének ellenőrzése a mérőléc alkalmazása mellett), finisher által kihúzott sáv keresztmetszeti torzulásának vizsgálata a pad állításához.**



1. ábra: Mérőállomással történő felület ellenőrzés prizmatot és távvezérlő tablet segítségével

2. Dinamikai platform aszfaltrétegeinek beépítése

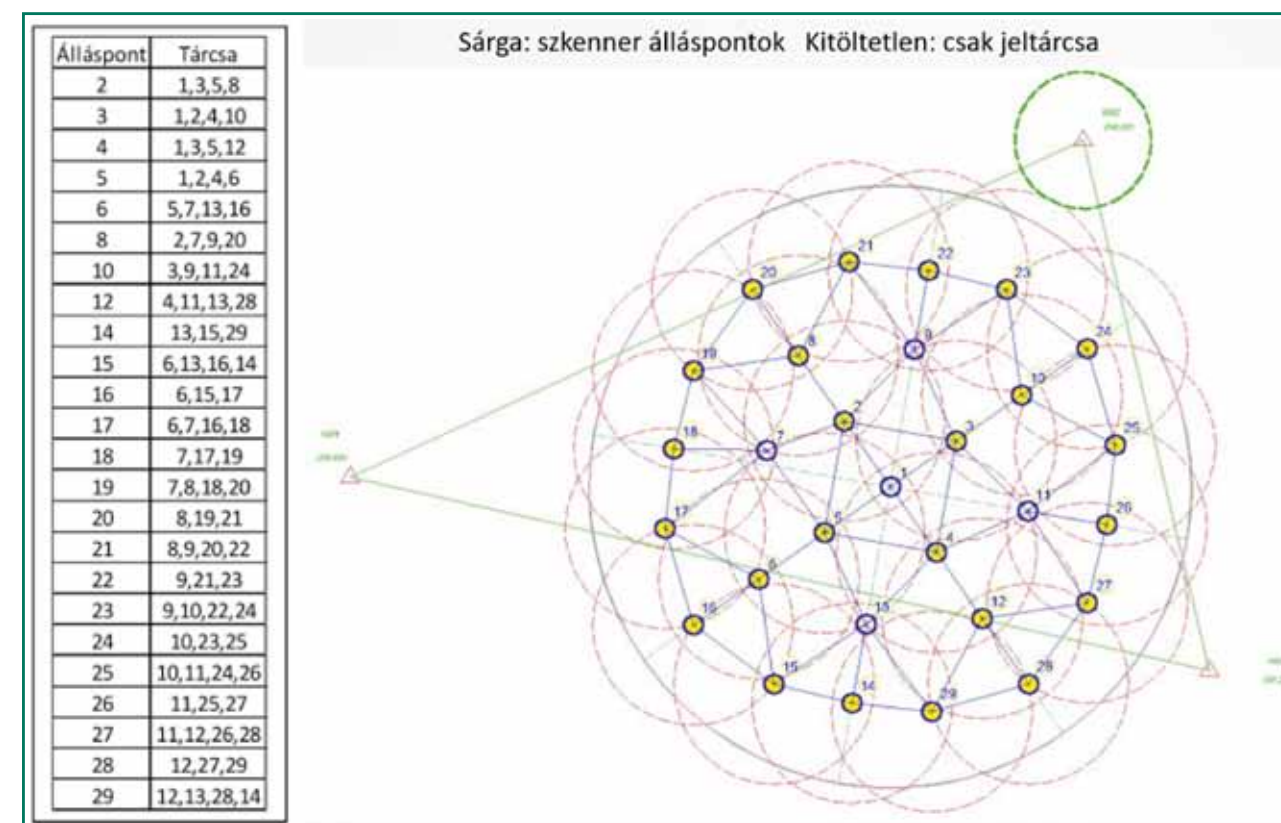
Az egyik legnagyobb kihívást az úgynevezett Dinamikai platform megvalósítása jelentette. Egy 300 méter átmérőjű (70000m²) körtárcsa és a hozzá csatlakozó rávezető háromszög (15000m²) illetve gyorsító és visszatérő út. A 8,5 hektár alapterületű körtárcsa és a háromszög pályaszerkezete 102 cm vastagságú 80 cm egyre finomabb szemeloszlású zúzottkő, illetve 22cm 4 rétegű aszfalt. (10cm alapréteg 2x4cm kötőréteg és 4cm kopóréteg). Az említett felület sajátossága, hogy 1 %-os lejtése van DK irányban, tehát egy hatalmas síkot alkot.

A pálya funkciója miatti autópályákon megszokott geodéziai és felületi hullámosági előírások jóval szigorúbb követelményt támasztottak a kivitelező felé. További nagy kihívást jelentett, hogy kereszthézagokat egyik rétegen sem engedtek alkalmazni, mivel ezen helyeken elkerülhetetlen lett volna a megengedettnél nagyobb felületi egyenetlenség, továbbá a kopóréteg esetén legalább 16m szélességben meleg a meleg technológiával kellett beépítenünk a sávokat.

Az első ütemben (2017) elkészült aszfalt alapréteg felületet nagy pontosságú földi lézerszkennerral mértük fel, és 3D pontfelhő elemzéssel határoztuk meg a követelményeknél magasabbra épített területeket. Az alkalmazott statikus lézerszkennert a 2. ábrán látható. A tervezettnél magasabbra adódott területeket csiszoló marással a megfelelő geodéziai magasságra hoztuk és a 2. ütemben folytattuk a tovább aszfaltrétegek beépítését.



2. ábra: Lézerszkenneléshez használt Leica ScanStation



3. ábra: szkennert álláspontok tervezett elhelyezése

A kötő és kopórétegek terítésénél a felületet 50 db 8 m széles 150-300 m hosszúságú aszfaltsávra (körselekre és háromszög darabra) osztottuk ki az esés irányában. A hosszcsatlakozások gyengébb kapcsolatának mérséklése érdekében ezeket legalább 1 m távolságban eltoltuk egymástól minden egymást követő réteg beépítésénél.

A beépítésnél alkalmazott gépek és személyi állomány:

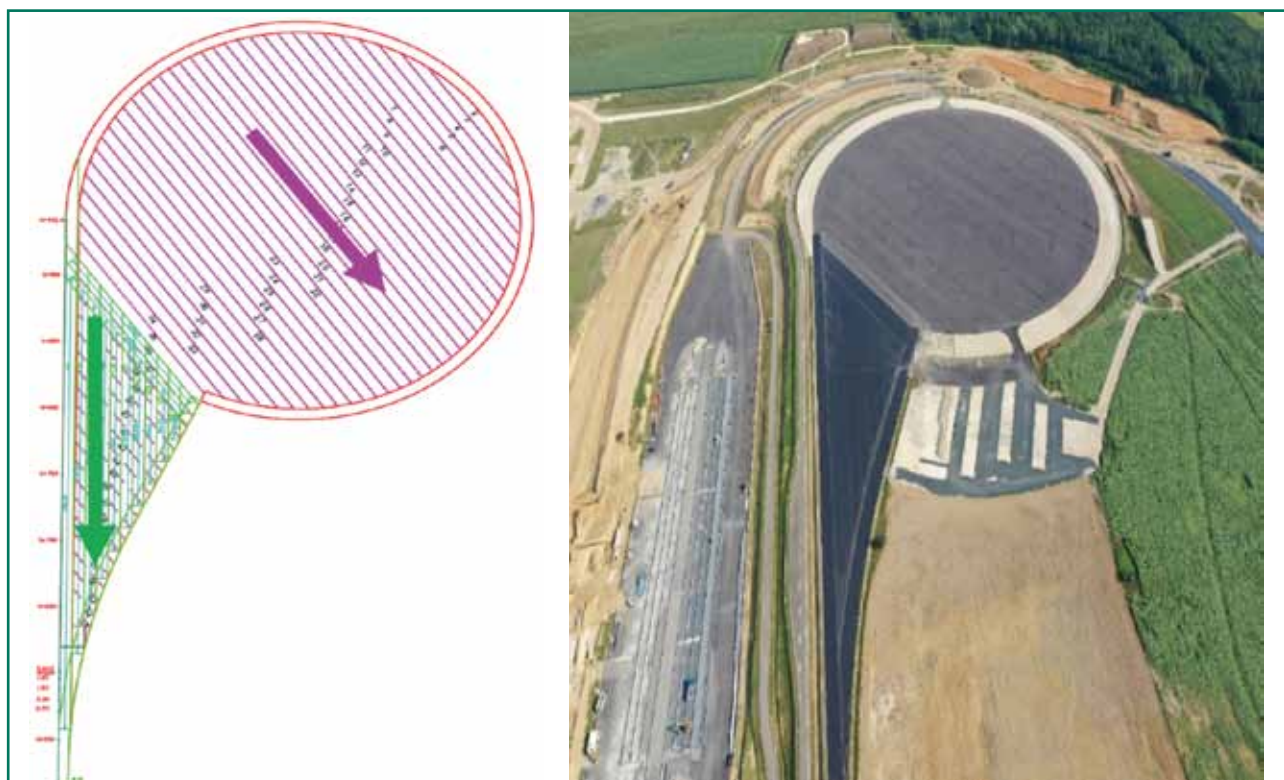
- 2 db finisher Vögele Super1900-3i SB 250-es paddal (8m terítési szélességben)
- 2 db besicher Vögele MT 3000-2i Offset
- 6-8 db henger Bomag BW 174 AP-4 Asphalt Manager és BW 206 AD-5 Asphalt Manager
- 15-25 db aszfaltszállító nyerges teherautó
- 3-6 db Mérőállomás Leica Navitronic 3D
- 1-2 db mérőbot és tablet Leica iCON 3D
- 2 művezető
- 2 geodéta
- 12-16 gépkezelő
- 4-6 segédmunkás

A 3d-s aszfaltozó rendszer egyik legfontosabb befolyásoló tényezője a jó alapponthálózat, főleg olyan esetben, ahol sok beépítési sáv készül egymás mellé. A dinamikus felület körül 6 darab fix alappontot létesítettünk, melyek távolsága kb. 200-250m re volt található egymástól. A minél precízebb tájékozás végett a DP körtárcsa és háromszög elemeken maximum 100 m távolságú tájékozást engedünk meg a mérőállomásoknak. Ezért a kör és háromszög felületére még 20 darab alappontot helyeztünk el, ezek a lézerszkennelésnél használt szkennert álláspontokban helyeztük el. Ezek az álláspontok minden aszfaltréteg elkészítése során folyamatosan eltűntek, de a pótlásukat minden beépített réteg után felsőrendű szintezéssel elvégeztük. Az alappontok fűrt perselyek voltak, ahova egy speciális csavart helyeztünk el, és arra helyeztük el a körprizmákat. Az alapponthálózat kialakításánál arra törekedtünk, hogy a felületen a mérőállomást bárhova helyezve 100 m-en belül legalább 3 darab alappontot lássunk, így mindig volt ellenőrzésünk a műszerek tájékozásánál.



4. ábra: A DP aszfaltrétegeken tájékozáshoz használt rendszer: fűrt persely, csavar és körprizma

A kopóréteg esetén a rávezető háromszögben az aszfaltozási irányt megváltoztattuk, az esés irányától a gyorsítás irányába, hogy hosszabb terítési sávok alakuljanak ki. Erre azért volt szükség, mert az alkalmazott SB 250 típusú padnak a „felúsása” nagyon rövid szakaszokon kockázatot jelentett.



5. ábra: Dinamikus platform rávezető háromszög terítési irányának megváltoztatása kopórétegen

3. Fékező platform aszfaltrétegek beépítése

Fékfelület az ABS, ATC és ESP rendszerek tesztelésére kialakított, speciális burkolati elemekkel és beépített vizezőrendszerrel ellátott pályaszakasz, amely modul a zalaegerszegi teszt pályán nyolc különböző, sávonként nedvesíthető burkolatával biztosítja széles spektrumon a fékezési lehetőséget.

A pálya felépítése a következő: gyorsításáv, visszatérő út, fékezőplatform bukótér, északi kihajtó, déli kihajtó és speciális felületek. A kb. 50 000m² területű elemen kb. 25000 tonna aszfaltot építettünk be. A speciális felületeken és a bukótérben összesen 4 db összetételében különböző kopóréteg beépítése történt.

A speciális felületek megnevezése a csúszósurlódási ellenállás alapján sorrendben:

- Kerámia lapok $\mu_{ue} \approx 0.1$
- Öntött bazalt lapok $\mu_{ue} \approx 0.3$
- Csiszolt bazaltbeton $\mu_{ue} \approx 0.5$
- Alacsony tapadású aszfalt $\mu_{ue} \approx 0.7$
- Normál aszfalt $\mu_{ue} \approx 0.8$
- Saktábla felüle: aszfalt/epoxy $\mu_{ue} \approx 0.9/0.1$
- Magas tapadású aszfalt $\mu_{ue} \approx 1.0$
- Aquaplane felület (max. 2 cm-es mélységű medence)

Az elemen található összes aszfalt alaprég és kötőréteg „egy részének” beépítése 3D-s technológiával történt. A legnagyobb kihívást a speciális felületek előterénél kialakított bonyolult felület kialakítása, a sávok között beépített vízelvezető folyókák közötti beépítés és tömörítés megoldása, az aquaplane pálya kialakítása és az alacsony tapadású aszfaltkeverék megtervezése adta.

3.1 Alacsony tapadású aszfalt

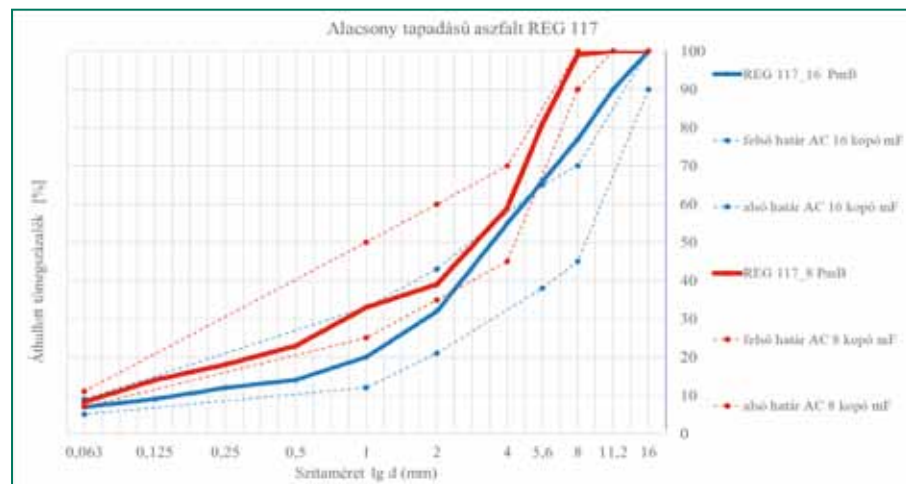
Az alacsony tapadási értékű aszfalt tervezése laboratóriumi kísérletezések alapján majd két különböző receptúrájú keverék próbabeépítésének értékelésével határoztuk meg. Közismert tény, hogy az aszfaltrétegek csúszásellenállását annak makro és mikrotesztúrája is befolyásolja. A makrotextúrára a legnagyobb hatással az aszfaltkeverékek fázisos összetétele hat, amiben fontos paraméter a kőanyagok szemeloszlása hogy az mennyire folytonos, vagy szemkihagyásos, és bitumentartalma az előzőek kombinációjából adódó keverék hézagtartalom, illetve a keverékben alkalmazott durva kőanyag nagyságok legfőképp a névleges legnagyobb szemcse mérete: D_{max} . A mikrotextúrát legfőképp a durva kőanyagok geometriai és fizikai tulajdonságai befolyásolják. (Főképp a zúzott szemek aránya, lemezességi szám, illetve a polírozódási ellenállás).

Tapasztalattal rendelkezünk továbbá arról is, hogy az üledékes kőanyagok polírozódási ellenállása alacsonyabb, mint a vulkanikus köveké. A durva kőanyagok PSV44 és PSV 50 kategóriák elő vannak írva kopórétegek esetén B, illetve C és az fölötti forgalmi terhelésű osztályú utak esetén hazánkban. Az alacsony tapadású aszfaltkeverék esetében azonban első körben elvetettük az üledékes durvaszemcsés kőanyagok használatát, ugyanis tapasztalatok alapján az ilyen keverékek az idő múlásával válnak egyre csúszósabbá, kezdetben a zúzott szemek még aktívan fenntartják a kerék-szemcse súrlódását, majd idővel a forgalmi terhelés hatására polírozódnak és az aszfaltréteg elkezdi „besimulni”. Tehát egy intenzíven használt fékező pályán hosszú távon nem lehet az ilyen keverékekkel biztosítani a beépítéskori csúszásellenállást, feltételezhetően az időben változik.



6. ábra: Fékezőfelület gyorsításáv, bukótér és speciális felületek

Ennek okán olyan aszfaltkeveréket terveztünk, amelynek a durva kőanyagát osztályozott kavics alkotta. A laboratóriumi keveréktervezés során különböző származási osztályozott kavicsokkal és osztályozott homokkal, illetve NZ 0/4 Gánt zúzott kőanyaggal kísérleteztünk. Végül két tervezett összetételű aszfaltkeverék eredményei alapján (8. ábra) ezek próba-keverésén és próbabeépítésén folytattuk az optimális keverék meghatározását.



7. ábra: REG 117_16 PmB 25/55-65 és REG 117_8 PmB 25/55-65 típusú alacsony tapadású aszfaltok tervezett szemeloszlása

Az úgynevezett REG 117_16 PmB 25/55-65, illetve a REG 117_8 PmB 25/55-65 típusú keverékek szemeloszlását a fellelhető osztályozott kavicsok paraméterei szerint határoztuk meg. A REG 117_16 típusú keverék szemeloszlását tekintve a hazai előírásban szereplő AC 16 kopó mF szemeloszlásánál finomabb a felső frakciókat tekintve, de az AC 11 kopó mF-nél durvább. Kőanyagát tekintve az előírt minimális bitumentartalommal értünk el 4,0 Vm hézagtartalmat. A hézagtartalmat tekintve a felső határ közelítése volt a cél, hogy a nagyobb kerek szemcsék ne simuljanak be a felületen, azok mikrotextrúrája „dolgozzon”. A bitumen igénye alacsonyabbra adódik a „hagyományos zúzottkőves aszfaltbeton keverékénél, ennek oka, hogy a kerek szemcsés osztályozott kavicsok geometriai szögletessége és azok pórustartal-

ma minimális, így kisebb a bitumenfelvétel képessége, mint a megegyező szemcseméretű zúzottkővé. A REG 117_8 típusú keverék esetén a hézagtartalmat 2,7% állapítottuk meg, amelytől egy zártabb felületet vártunk el. Mindkét esetben modifikált bitumént alkalmaztunk, amely a nagy igénybevétel miatti ellenállóbb keveréket volt hivatott teljesíteni, továbbá kompenzálni a kerek szemcsés kavicsok és bitumen tapadási képességét, illetve plasztikus deformációs hajlamát. A teljesítményalapú vizsgálati eredmények alapján kellő merevség volt megállapítható mindkét keveréknél. A REG 117_16 típusnál megfelelő keréknyomképződési ellenállás a REG 117_8 típusnál adódó 7,5%-os PRDair érték is elfogadhatónak tűnt kopóréteg esetén (a szaktervező ilyen paramétereket nem határozott meg a keverékekkel szemben).

REG 117_16 PmB 25/55-65			REG 117_8 PmB 25/55-65		
Tervezett összetétele:					
OK 8/16	Szemenye	16,50%			
OK 4/8	Szemenye	35,00%	OK 4/8	Szemenye	41,00%
NZ 0/4	Gánt	45,00%	NZ 0/4	Gánt	55,00%
Mészkelet	Tatabánya	3,50%	Mészkelet	Tatabánya	4,00%
PmB 25/55-65	OMV	5,10%	PmB 25/55-65	OMV	5,60%
laboratóriumi vizsgálati eredmények					
S [%]	5,15		S [%]	5,71	
Vm [%]	4		Vm [%]	2,8	
pt ssd [Mg/m ³]	2,402		pt ssd [Mg/m ³]	2,397	
pmv [Mg/m ³]	2,502		pmv [Mg/m ³]	2,466	
PRDair [%]	4,02		PRDair [%]	7,49	
WTSair[mm/10 ³]	0,08		WTSair[mm/10 ³]	0,1	
IT CY Sm [Mpa]	4400		IT CY Sm [Mpa]	3550	
Próbabeépítés Helyszíni vizsgálatok					
	vizsgált eredmény	előírt érték		vizsgált eredmény	előírt érték
Makroérdesség [mm]	0,91	0,7±0,3	Makroérdesség [mm]	0,42	0,7±0,3
SRT inga PTV [-]	52-53	55±3 *	SRT inga PTV [-]	49-52	55±3 *
* szórás tényező < 10%					

8. ábra: Alacsony tapadású aszfaltok lényeges paramétereinek összefoglaló táblázata

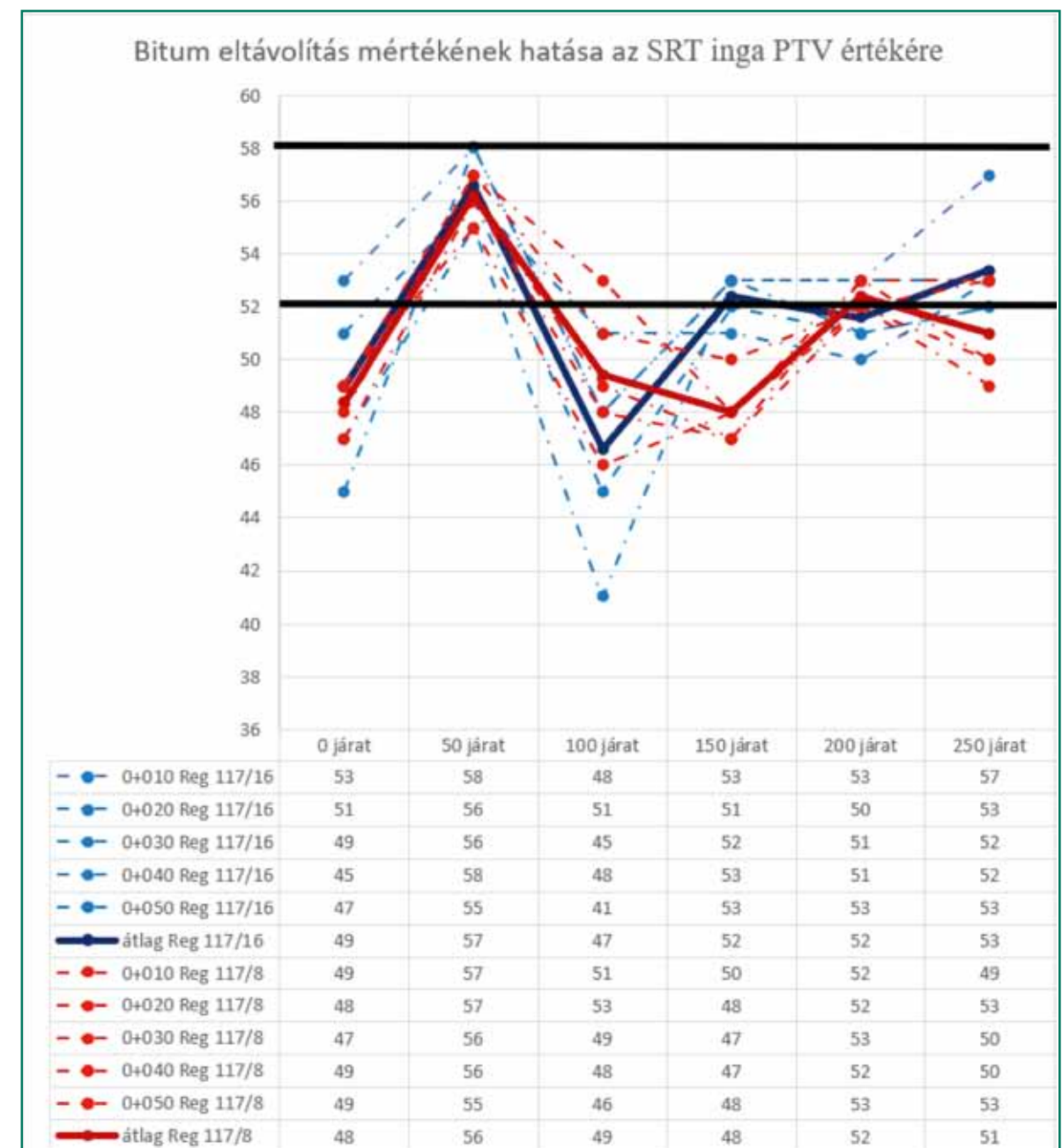
A próbabeépítés eredményei alapján a tervezett keveréket sikerült legyártanunk, mindkét keverékből 60-60 m hosszú próbaszakaszt építettünk be. A beépített rétegek csúszásellenállást jellemző paramétert tekintve szűk tartományban meghatározott SRT inga PTV érték volt meghatározva. Mégpedig a tervezett 200m-es tesztszakaszon a az MSZ EN Utak és repülőtér felületi jellemzői. Vizsgálati módszerek. 4. rész: A felület csúszásellenállásának mérési módszere. Az ingás vizsgálat szerinti PTV=55±3 értéket kellett a felületnek biztosítania úgy, hogy 20m-ként bal, illetve jobb keréknyomban kell a vizsgálatot végrehajtani és a kapott értékek szórásának tényezőjének kisebbre kellett adódnia 10%-nál (ami a homogenitást biztosítja).

Emellett egy nagyon tág tartományban 0,7±0,3 a makroérdesség volt a felület csúszási tulajdonságát jellemző paraméter. (Ennek értelmében próbálkoztunk laboratóriumban különböző szemnagyságú és összetételű aszfaltkeverékek

tervezésével). Sok tapasztalat alapján bizonyított, hogy az aszfaltburkolatok beépítést követően a felső szemcséken elhelyezkedő bitumenfilmnek köszönhetően alacsonyabb tapadási értékkel rendelkeznek, mint amikor a forgalom ezt a bitumenfilmet elkezd eltávolítani. Ezért is „szokás” az új építésű utakat átadást követő 3. hónap után a csúszásellenállás szempontjából vizsgálni pl. SCRIM, ASFT mérési módszerekkel.

A fékfelület funkciójából adódóan és a megrendelő igényei szerint, az „alacsony tapadású aszfalt” felületet olyan felületi tulajdonsággal kellett átadnunk, amely jellemző lesz az élet-tartam alatt is. Ennek következtében és a szaktervező javaslatára a bitumenfilmet mechanikus módon egy speciális eszközzel (traktorra szerelt teherautógumikkal) távolítottuk el. A próbaszakaszokon 50 járatonként vizsgáltuk a felület csúszási ellenállását Az ingás vizsgálatl. A vizsgálatokat 10 méterenként hajtottuk végre.

A kapott eredmények a 9. ábrán láthatók.



9. ábra: Alacsony tapadású aszfalt próbaszakaszain bitumenfilm eltávolítás mértékének hatása az SRT inga vizsgálatra

REG 117_16 PmB 25/55-65							
	előírt érték	próbabeépítés tesztszakasz	próbabeépítés tesztszakasz bitumenfilm eltávolítás mechanikusan 150-250 járat	beépítés	beépítés bitumenfilm eltávolítás mechanikusan 200 járat	1 év üzem	1,5 év üzem
dátum		2019.08.21	2019.10.03	2019.11.03	2019.11.20	2020.10.30	2021.05.19
Makróérdesség [mm] átlag	0,7±0,3	0,85	x	0,91	x	0,87	0,84
SRT inga PTV [-] átlag	55±3 *	48	52-53	47	53	52	54

10. ábra: REG 117_16 PmB 25/55-65 típusú keverék makróérdessége és SRT inga PTV értékei összefoglalva

A vizsgálati eredményekből látható, hogy a burkolatok bitumenfilm bevontságának mértékének változása befolyásolja a felület csúszási ellenállását. Mindkét keverék esetében a kezdeti beépítés után egy nappal mért 48-49 PVT értéket prognosztizáltunk. Az eredmények tekintetében megállapítható, hogy a burkolatok beépítést követő korai időszakban még a friss bitumenfilm miatt alacsonyabb tapadási ellenállással bírnak. A bitumenfilm eltávolítását követően (50 járat) magasabb tapadási ellenállás figyelhető meg. 150-200 járatot követően az értékek közelítették az előírt paramétereket, (a REG 117_16 keverék teljesíti azt minden esetben).

A keverékek teljesítményét és a próbabeépítések tapasztalatai alapján láthatóvá vált, hogy a **REG 117_16 teljesít minden előírt követelményt, ezért emellett a keverék mellett döntöttünk.**

A fékezőplatformon beépített réteget 200 járattal alakítottuk ki, a beépítést követően, illetve a bitumenfilm eltávolítása után, majd 1 és 1,5 év használat

után is mértük a felület PTV értékét, az eredmények tekintetében megállapítható, hogy megfelelő aszfaltot terveztünk gyártottunk és építettünk erre a speciális funkcióra.

4. Összegzés

Összeségében elmondható, hogy a Dinamikai Platform és a Fékező platform projectelemek kivitelezései a szokványos utépítési szokásoknál jóval összetettebb mérnöki feladatot jelentettek. A legnagyobb előrelépést egy gyorsforgalmi út kivitelezéséhez képest a 3D-s szintvezérlésű gépek körültekintő alkalmazása jelentette, továbbá az érvényes útügyi műszaki előírásokban foglalt geodéziai ellenőrzések gyakoriságának nagymértékű növelése, továbbá a kritikus helyeken akár nagyon részletes felületi jellemzés. Így voltunk képesek a szigorú követelményeknek megfelelni.

ÚJGENERÁCIÓS ASZFALT MOL GUMIBITUMENBŐL

A MOL többéves kutató-fejlesztő munkával dolgozta ki az új összetételű, gumiabroncsok újrahasznosításából származó, gumiőrleményt is tartalmazó MOL Gumibitument.

Az aszfaltburkolat ennek köszönhetően hosszabb élettartamú, nagyobb teherbírású, és összetételéből adódóan csökken a kátyúk kialakulásának esélye.

Tartson Ön is velünk a jövő útján!

A Magyar Közút Nonprofit Zrt. által kezelt extrém szállítások bemutatása és azok sajátosságai

Puskás Dárisz

útvonalengedélyező mérnök
Magyar Közút Nonprofit Zrt.



Előadás

A túlsúlyos, túlméretes járművek szállításának számai folyamatos növekedésbe vannak az elmúlt évek tendenciáját tekintve.

Fontos megemlíteni, hogy a tervezési előírások és úti előírások standard méretei nem megfelelőek ezen szerelvények számára.

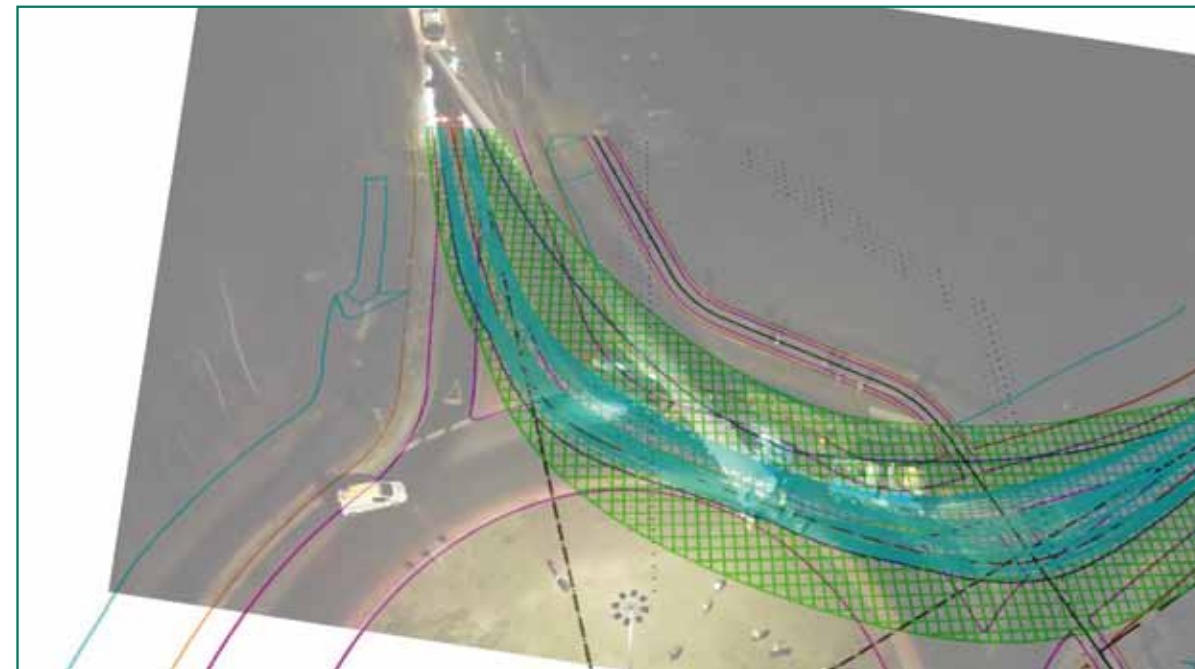
2019 év végén Gönyűből Tiszaújvárosba ment ez a 100m hosszú szerelvény.



Előzetesen 5m magas szerelvényről lett volna szó, ám megérkezéskor derült ki, hogy a tényleges mérete 10-15 cm-el nagyobb. Ez a méret különbség okozta azt, hogy az előzetes útvonal helyett Miskolcon újrászervezett útvonal kellett, mely majdnem 2 teljes napba telt. Fontos megjegyezni, hogy ezen szerelvények csak éjszaka és általában több napig közlekednek, a megállóknál benzinkút mellett,

forgalomtól lezárt területen, bolyával elzárva. Rengeteg körforgalom típus van, egy ideje minden évben megszavaztatják az ország legjobb körforgalmát. Ez egy remek kezdeményezés, viszont extrém méretű szállításokat figyelembe véve ez okozhat problémát az elbontásukkal kapcsolatban, ha a haladást tekintjük. Túlméretes szállítmányok esetén a részletezőbe kisserkesztett kanyarodási diagram szükséges.

Az ábrán itt látható a diagram élő megvalósításában.



Szűk árkos utcák kanyarodása ilyen mérettel is rengeteg problémát okozhat. Itt érdemes különböző

segítő megoldásokat alkalmazni, mint az árkok feltöltése, lemezelések, vasúti talpfák használata.



Magasságnál megemlíthető, hogy az úrszerelvény tervezésekkor már 4,7 m, a VEDA kapuk esetén 5,5 m volt, ez nagyon extrém eseteket leszámítva egy jó viszony szám arra, hogy mi határolja be a maximális méreteket.

Természetesen megoldható ennél magasabb járművek szállítása, ilyenkor előfordulnak, bontások, vasúti felsővezetékek, jelzőlámpák, portáltáblák esetén.



Széles járművek útvonaltervezése függ, milyen úttípuson kell haladnia a szerelvénynek. 8 m szélesek esetén az autópályán lévő haladások viszonylag egyszerűnek számítanak hiszen ott a 2 sáv és leállósáv elegendő. Vasúti

átjárók esetén a két jelző közti méret határolja be a szerelvény közlekedését. Mindegyik túlméretnél, de kiemelkedően a szélesnél, igyekezni kell a forgalom feltorlódást és a balesetveszélyt kerülni



Túlsúlyos szerelvények esetén a kisebb települések megközelítése a legnehezebb. Főúton és autópályán egy elég magas súlyhatárig egy két kivételtől eltekintve megoldható 80 tonnáig a szerelvény zavartalan haladása. Ennél nagyobb súly esetén már forgalom kizárás is előfordulhat, igazán extrém esetekben pedig statikai számításokra van szükség.

Összefoglalva az útvonalak tervezésénél sok paramétert kell figyelembe venni, akadályok, útkategóriák, gazdaság-

gosság stb. Az útvonal akadályokat két nagy csoportra osztjuk, azok, amelyeket a jármű, járműszerelvény adott paraméterei mellett mindenképp ki kell kerülni, illetve azok, amelyeket ellenőrizni kell, hogy az áthaladás lehetséges-e, és ha igen akkor milyen feltételek mellett. A sok tervezési paraméter mellett a végső cél, hogy egy olyan gazdaságilag, és úthálózatvédelem szempontjából is optimális útvonalakat találjunk, melynél a forgalombiztonság kiemelt szerepet játszik.

Burkolatból visszanyert aszfaltok fiatalítása különböző rejuvenáló szerekkel

Bartus Adrienn

vegyésmérnök
BSc Logisztikus
Inreco Kft.



Visszanyert bitument és 3 különböző típusú modifikált bitument használtam fel, illetve egy rejuvenátort tartalmazó keveréket készítettem.

A gyakorlatban a bontott/mart aszfalt visszaadagolt mennyisége új aszfaltkeverékekhez a visszaadagolás módjától függően (hideg /vagy meleg eljárás) 10-60 % lehet. A bontott/mart aszfalt visszaadagolása esetén az új aszfaltkeverék így maximum 60 %-ban a bontott/mart aszfaltból származó régi, leöregedett bitument és maximum 40 %-ban friss bitument tartalmazhat.

Vizsgálati program

A vizsgálat során alapanyagként a hazai útépitésben leggyakrabban használt PmB 10/40-65, PmB 25/55-65 fokozatú és egyre jobban alkalmazott PmB 45/80-65 fokozatú modifikált bitumeneket és egyfajta aszfaltkeverékből visszanyert bitument használtam.

Négy mérési sorozatot végeztem. Sorozatonként három-három fajta - összesen 12 keveréket készítettem. A vizsgáltokhoz 80%-60%-40%-ban adagoltam modifikált bitument a visszanyert, leöregedett bitumenhez. A visszanyert bitumen adagolási mennyisége így 20, 40 és 60 % volt az egyes keveréktípusok esetén.

A negyedik sorozatnál a visszanyert bitumenhez 5%-ban adagoltam rejuvenálószeret és ezt követően készítettem el a keverékeket. A bontott/mart aszfalt visszaadagolás maximum 60%-ban lehet a jelenlegi gyakorlat szerint.

Mindhárom modifikált bitumen csehországi ASTECH bitumen volt, a visszanyert mart aszfalt pedig a Colas Hungária Zrt. Dunaharaszti található keverőtelepéről származott és normál bitument tartalmazott.

Bevezetés

21. század nagy kihívása a környezetvédelem, melynek fontos szerepe van az útépitésben is. A meglévő úthálózat felújítása, illetve új pályaszakaszok megépítése rengeteg erőforrást emészt fel.

Az aszfalt előállításához szükséges kőanyag mennyisége miatt a bányáink kimerülőben vannak.

Az úthálózat felújítása során keletkező bontott/mart aszfalt újra felhasználásával, illetve ehhez megfelelő bitumen adagolásával a kapott termékünk élettartama hosszabb lesz, mely jelentős mértékben növeli a fenntarthatóságot, valamint csökkenti a környezeti terhelést.

Kutatás fejlesztések által ma már vannak olyan eljárások, illetve adalékanyagok, amely akár 40°C-os hőmérséklet csökkentést is lehetővé tesz az aszfaltkeverék gyártása és beépítése során (mérsékelt meleg aszfalt). Ez által jelentősen csökkenthető az energiafogyasztás, a széndioxid lábnyom, valamint az új aszfalt előállításával járó költségek.

Célkitűzés

Nagyon fontos az aszfaltkeverékek tulajdonságainak meghatározása annak érdekében, hogy használati viselkedésüket megismerjük. Az aszfaltkeverékek tulajdonságait döntő mértékben határozzák meg az alkalmazott kötőanyag tulajdonságai, ezért fontos annak ismerete, hogy az új és régi bitumenek keveréke milyen tulajdonságokkal rendelkezik. Ez különösen új bitumenként modifikált bitument tartalmazó aszfaltkeverékek esetén nagy jelentőségű, mivel ezeket az aszfaltkeverékeket jellemzően nagy forgalmú utakon (autópályák, főutak) építik be.

A vizsgálati program célja a régi aszfaltból visszanyert bitumenhez meghatározott százalékban új bitumen adagolása és annak vizsgálata.

Modifikált bitumen	Visszanyert bitumen		
PmB 45/80-65	0,2	0,4	0,6
PmB 25/55-65	0,2	0,4	0,6
PmB 10/40-65	0,2	0,4	0,6
PmB 10/40-65	Visszanyert bitumen + 5% rejuvenálószer		
PmB 10/40-65	0,2	0,4	0,6

1. ábra: Vizsgálati program

Rejuvenátor: Kraton Corporation-Sylvaroad RP1000

Rejuvenátorként a Kraton Corporation Sylvaroad RP1000 termékét használtam. A terméket az aszfalt kötőanyag tulajdonságainak helyreállítására tervezték, mégpedig úgy, hogy az aszfaltének és maltének mennyiségét, arányát visszaállítja az eredeti állapotba. Az adalékanyag hőálló, ezért megkönnyíti a termék adagolását az újrahasznosított aszfaltba. Az adalék teljes mértékben helyreállítja a keverék rugalmasságát, különös tekintettel az alacsony hőmérsékleten történő repedésekre való hajlamra. Az eredeti tulajdonságok helyreállításához kevesebb, mint egy kilogramm adalékanyagra van szükség aszfalt tonnánként. Az adalékanyag fenntarthatóbbá teszi az útépitést az által, hogy lehetővé teszi a visszanyert aszfalt csúcskategóriás felhasználását. Alacsonyabb szárítási

hőmérsékletet tesz lehetővé a szárítódobban, amely alacsonyabb energiafogyasztást eredményez, így csökkenti a burkolat széndioxid lábnyomát.¹

Bitumen visszanyerése

A bitument a szabvány szerint a mintából diklórmetánnal (vagy más alkalmas oldószerrel) való kioldással nyerjük vissza.² A bitumen visszanyeréshez először a mart aszfaltot kiszárítottam, majd oldószerbe beáztattam. Ezután az ásványi anyagot és a bitument tartalmazó oldószer szétválasztottam extrakciós berendezéssel, majd az oldószeret vákuumban ledesztilláltam a bitumenről. A desztillálást forgóbepárló készülékkel végeztem vákuum alatt működő forgóbepárló berendezés segítségével. Oldószerként tetraklór-etilént használtam. A desztilláció után visszamaradt bitument vizsgáltam.



2. ábra: Bitumen visszanyerése

Alkalmazott vizsgálati módszerek

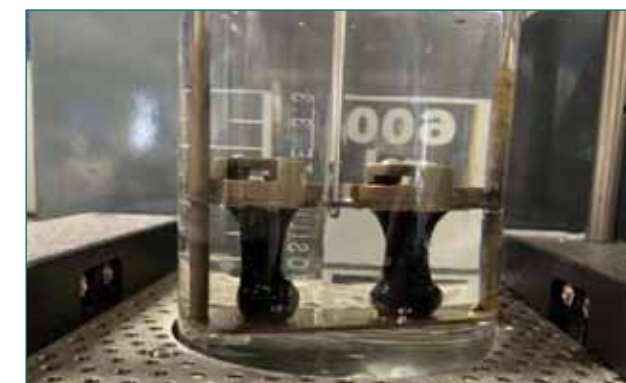
Az alábbiakban a Colas Hungária Zrt. Technológiai Igazgatóságának laboratóriumában általam elvégzett vizsgálati módszereket ismertetem.

- Bitumen keménységének meghatározása **penetráció** méréssel
- Meleg viselkedés **lágyuláspont** méréssel
- Meleg viselkedés oszcillációs nyírófeszültség hatására **BTSV** vizsgálattal
- Alacsony hőmérsékleti tulajdonság, repedésképződési hajlam **Fraass- féle töréspont** vizsgálattal
- Magas hőmérsékleten rugalmasság és kúszási hajlam vizsgálata oszcillációs nyírófeszültség hatására - **MSCRT** teljesítmény alapú vizsgálat

Vizsgálóberendezések



3. ábra: Fraass-töréspont vizsgálati minta



4. ábra: Lágyuláspont mérés (Gyűrűs-golyós módszer)



5. ábra: DSR készülék a BTSV és MSCRT mérésekhez



6. ábra: A vizsgálatokhoz használt penetrométer

A jól ismert penetráció, lágyuláspont, töréspont vizsgáló berendezések mellett a DSR reométer látható. Ezzel BTSV vizsgálatot és MSCRT vizsgálatot végeztem.

A BTSV vizsgálati módszer megmutatja a komplex modulus és a fázisszög kapcsolatát a vizsgálati hőmérséklettartományban. A vizsgálati eredmény A G* = 15 kPa merevségi modulusához és ehhez tartozó fázisszöghöz tartozó hőmérséklet °C-ban kifejezve.

Az MSCRT vizsgálat több feszültséglépcsős kúszás-visszalakulás vizsgálat. A mintát 1 másodpercig adott feszültséggel terheljük, majd ezt követően 9 másodpercig pihentetjük. A pihentetés során az alakváltozás egy része visszaalakul. Ezt a folyamatot 10-szer ismételjük meg 0,1 kPa majd 3,2 kPa terheléssel. A vizsgálatot 60°C-on végezzük. Vizsgálati eredményként a két terhelési lépcsőn mért rugalmas visszaalakulást és a visszamaradó kúszási hajlamot adjuk meg.

8. Eredmények

A diagramokon:

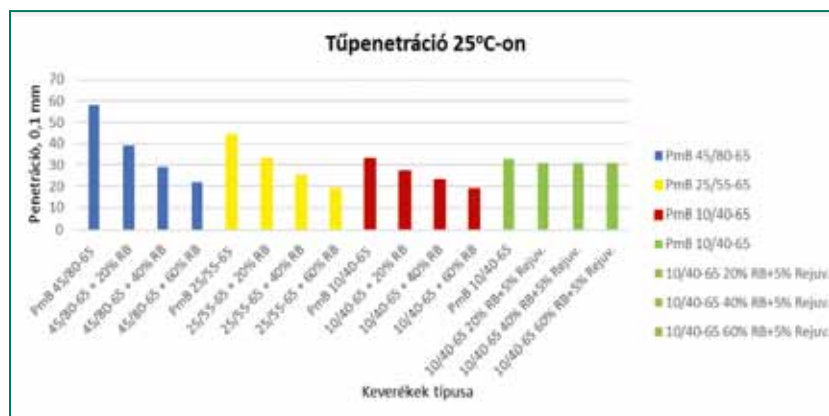
- PmB 45/80-65 és keverékei
- PmB 25/55-65 és keverékei
- PmB 10/40-65 és keverékei
- PmB 10/40-65 + 5% rejuvenátor és keverékei

$$\text{Változás mértéke, \%} = \left[\frac{(\text{param } 0\% - \text{param } x\%)}{\text{param } 0\%} \right] * 100, ^1$$

ahol

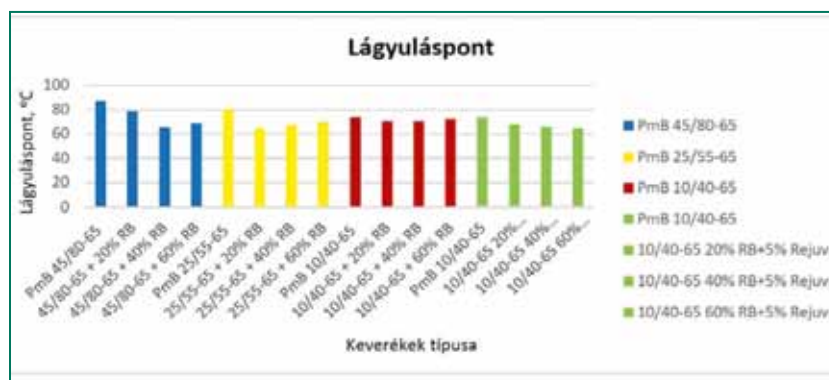
- param 0 % - a modifikált bitumenek paraméterei, amelyek RB-t nem tartalmaznak
- param x% - a különböző visszanyert bitumen mennyiséget tartalmazó bitumen paraméterei

8.1. A vizsgált keverékek penetráció értékeinek változása



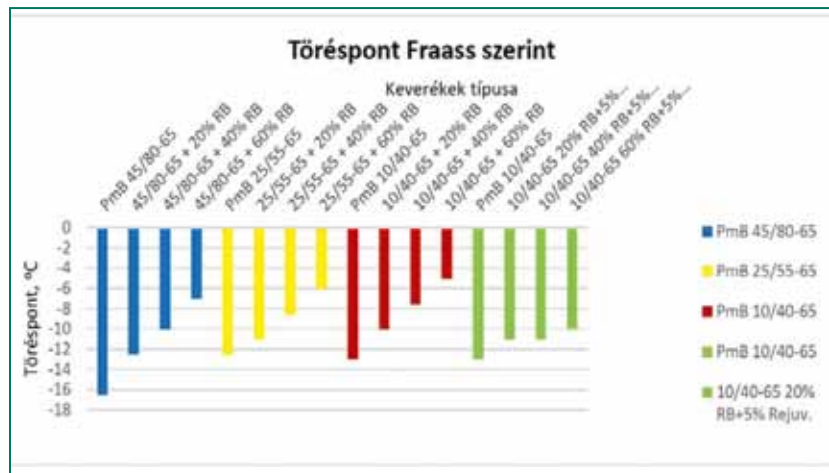
7. ábra: Penetráció értékek változása

8.2. Különböző keverékek lágyuláspont értékeinek alakulása



8. ábra: Lágyuláspont értékek alakulása

8.3. Különböző keverékek töréspont értékeinek alakulása



9. ábra: Töréspont értékeinek alakulása

Mind a három modifikált bitumen típus esetén a visszanyert bitumen adagolási mennyiségének növekedésével csökken a bitumenek penetrációja, tehát a keverékek merevednek. Kivételt képeznek a rejuvenálózott tartalmazó keverékek, ahol a penetráció csökkenés a 0 % RB-t tartalmazó bitumenhez képest csekély és az RB adagolás növekedése gyakorlatilag nem befolyásolja a penetráció értékeit.

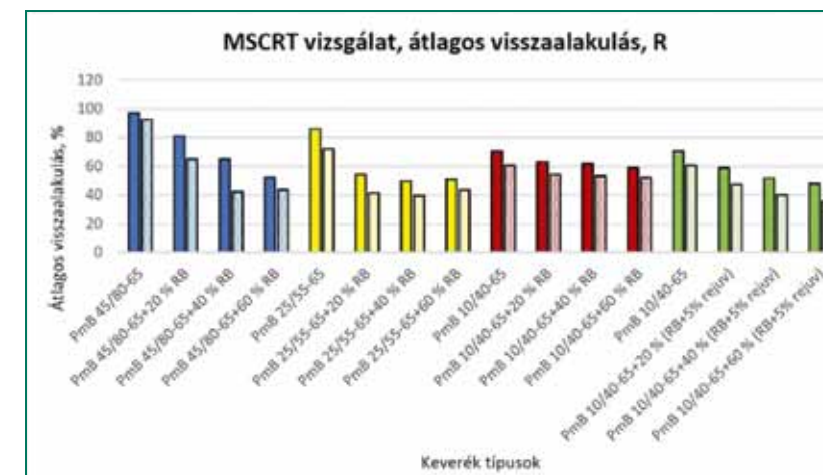
Mind a négy keverék esetén az RB adagolás növekedés hatására lágyuláspont csökkenés jön létre, de ennek mértéke a PmB 45/80-65, PmB 25/55-65 és PmB 10/40-65 bitumenek keverékei esetén nem függ az RB adagolási mennyiségtől. A rejuvenálózott tartalmazó RB esetén a lágyuláspont az RB adagolás növekedésével csökken.

A lágyuláspont változás mértéke 40 és 60 % RB adagolás esetén PmB 45/80-65 bitumen keverékei esetén a legnagyobb, a legkisebb a változás mértéke PmB 10/40-65 bitumen keverékei esetén. A rejuvenálózott tartalmazó keverékek esetén a lágyuláspont csökkenés mértéke nagyobb, mint a PmB 10/40-65 rejuvenálózott nem tartalmazó keverékek esetén.

Az ábráról látható, hogy minden keverék esetén a töréspont növekszik, vagyis a repedésképződési hajlam nő az RB adagolás növekedés függvényében.

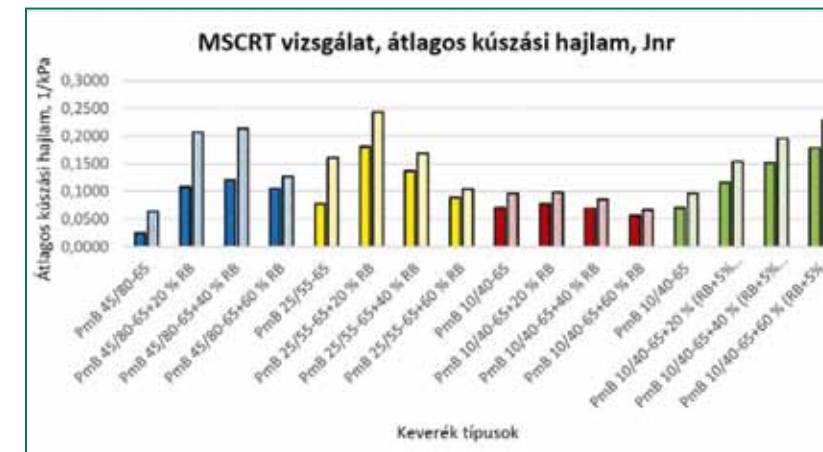
A töréspont növekedés mértéke 20 % RB adagolásnál a PmB 45/80-65 bitumen esetén, 40 és 60 % RB adagolásnál pedig a PmB 10/40-65 bitumen esetén a legnagyobb. A növekedés mértéke rejuvenátort tartalmazó RB adagolás esetén a legkisebb, és a töréspont nem függ az RB adagolástól.

8.4. Különböző keverékek átlagos visszaalakulás értékeinek alakulása



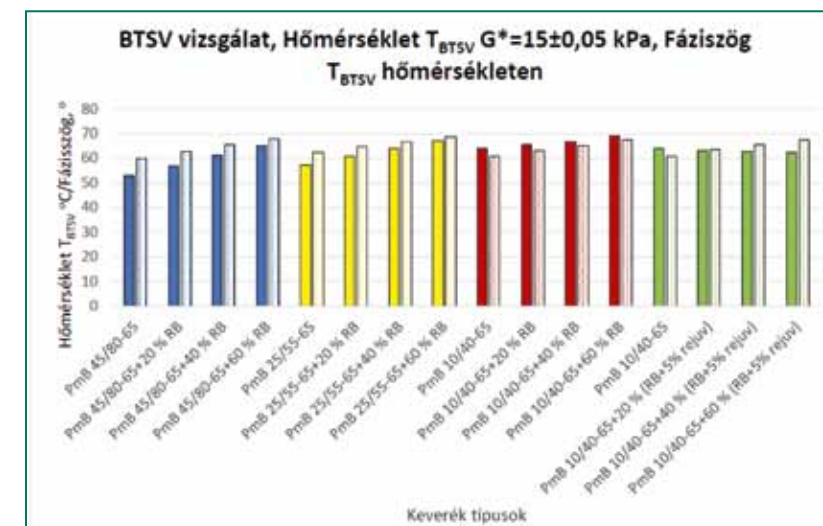
10. ábra: Átlagos visszaalakulás értékek alakulása

8.5. Különböző keverékek átlagos kúszási hajlam értékeinek alakulása



11. ábra: Átlagos kúszási hajlam értékeinek alakulása

8.6. Különböző keverékek TBTSV és fázisszög értékeinek alakulása



12. ábra: TBTSV és fázisszög értékeinek alakulása

MSCRT vizsgálat esetén négy paramétert értékeltem. Az átlagos visszaalakulást 0,1 kPa és 3,2 kPa terhelés esetén 60 °C-on és az átlagos kúszási hajlamot 0,1 kPa és 3,2 kPa terhelés esetén szintén 60 °C-on. Az ábra az átlagos visszaalakulást (rugalmasságot mutatja. A sötétebb színű oszlopok a 0,1 kPa, a világosabb színű oszlopok a 3,2 kPa terheléshez tartozó mérési értékeket ábrázolja.

Látható, hogy a terhelés nagyságától függ a visszaalakulás nagysága, vagyis 0,1 kPa terhelés esetén nagyobb visszaalakulás értékek adódtak, mint 3,2 kPa terhelés esetén. Minden keverék esetén az RB adagolás növekedésével a visszaalakulás csökken. A visszaalakulás, vagyis a rugalmas tulajdonságok a legkedvezőbbek a 20 % RB tartalmú PmB 45/80-65 bitumen esetén, ezután a PmB 10/40-65 bitumen keverékei következnek.

A visszaalakulás csökkenés a legnagyobb mértékű a 40 és 60 % RB tartalmú PmB 45/80-65 bitumen esetén, legkisebb mértékű a PmB 10/40-65 bitumen keverékei esetén.

A kúszási hajlam nagysága szintén függ a terhelés nagyságától, vagyis 0,1 kPa esetén a kúszási hajlam mind a négy keverék esetén alacsonyabb, mint 3,2 kPa terhelés esetén. PmB 45/80-65, PmB 25/55-65 és PmB 10/40-65 bitumenek keverékeinél 20 és 40 % RB adagolás esetén a kúszási hajlam a legnagyobb, 60 % RB adagolás esetén a kúszási hajlam csökken. A rejuvenátort is tartalmazó RB keverékek esetén az RB adagolás növekedésével növekszik a kúszási hajlam.

A kúszási hajlam növekedés mértéke a legnagyobb a PmB 45/80-65 bitumen keverékei esetén, a legkisebb a PmB 10/40-65 bitumen keverékei esetén. Ennél a keveréknél 40 és 60 % RB adagolás esetén a kúszási hajlam a 0 % RB tartalmú bitumenhez képest csökkenés tapasztalható.

A BTSV vizsgálat esetén két paramétert értékeltem a $G^*=15\pm0,05$ kPa nyírófeszültséghez tartozó hőmérsékletet és ehhez a hőmérséklethez tartozó fázisszöveget. Az ábrán a sötétebb színű oszlopok a $G^*=15\pm0,05$ kPa nyírófeszültséghez tartozó hőmérsékletek, világosabb színű oszlopok pedig a fázisszögek.

A BTSV hőmérséklet értékek a PmB 45/80-65, PmB 25/55-65 és PmB 10/40-65 bitumen keverékek esetén az RB adagolás növekedésével növekszenek. A rejuvenátort tartalmazó keverékek esetén az RB adagolás növekedésével gyakorlatilag állandó értékek és 0% RB-t tartalmazó bitumen hőmérsékletéhez képest csak kis mértékben csökkennek.

A BTSV hőmérséklet a legnagyobb mértékben a PmB 45/80-65 bitumen keverékei esetén növekszenek, a legkisebb a növekedés a PmB 10/40-65 bitumen keverékei esetén. A rejuvenátort tartalmazó keverékek esetén a hőmérséklet csökkenés kis mértékű a rejuvenátort nem tartalmazó bitumenhez képest.

9. Következtetések

Rejuvenálószeret nem tartalmazó PmB keverékek esetén:

A PmB 45/80-65, PmB 25/55-65 és PmB 10/40-65 keverékek esetén a visszanyert bitumen mennyiségének növelésével a keménységet jellemző penetráció csökkent, a meleg viselkedést jellemző lágyuláspont változás nem mutatott összefüggést a visszanyert bitumen mennyiségével, ugyanakkor a BTSV hőmérséklet növekedett. A hideg viselkedést jellemző töréspont a visszanyert bitumen mennyiségével növekedett, vagyis nőtt a repedés-képződési hajlam. Az MSCRT vizsgálat által jellemzett rugalmas visszaalakulás csökkent, ugyanakkor a kúszási hajlam maximumon keresztül növekedett.

A rejuvenálószeret is tartalmazó PmB keverékek esetén:

A rejuvenálószeret tartalmazó visszanyert bitument tartalmazó keverékeknel, a penetráció a visszanyert bitumen mennyiségének növelésével állandó értéken maradt. A lágyuláspont a visszanyert bitumen mennyiségének növelésével csökkent, a BTSV hőmérséklet pedig közel állandó értéken maradt. A töréspont a visszanyert bitumen mennyiségének növelésével állandó értéken maradt, illetve kis mértékben növekedett. A visszanyert bitumen mennyiségének növelésével a rugalmas visszaalakulás csökkent és a kúszási hajlam növekedett.

10. Összefoglalás

Minden keverék esetén azonban közös jellemző, hogy a vizsgált paraméterek a visszanyert bitument nem tartalmazó bitumenek tulajdonságaihoz képest keményedést, a repedés érzékenység növekedését, a rugalmasság csökkenését és a kúszási hajlam növekedését mutatják, vagyis a visszanyert bitumen adagolás ezeket a bitumen tulajdonságokat különböző mértékben rontják. Egyedül a meleg viselkedés javult, ami az aszfaltok keréknyomvályú képződésével van összefüggésben.

11. Irodalomjegyzék:

- [1] KRATON SYLVAROAD RP1000 Performance Additive; Take recycling to the next level
[2] MSZ EN 12697-3:2013 Aszfaltkeverékek. Vizsgálati módszerek., Magyar Szabványügyi Testület 2019. május



A Fialat Mérnökök Fóruma résztvevői

Különböző sajátporok hatása AC 11 kopó aszfaltkeverékek aszfaltmechanikai tulajdonságaira

Gajdán Zsófia

technológus
COLAS Hungária
Technológiai Igazgatóság



1. Bevezetés

Az aszfaltgyártás során a kőanyagok egymással való ütközése hatására keletkező sajátporok kezelésének kérdése, nem újkeletű dolog, évtizedes megoldatlan probléma. Az általános megoldás rá, hogy a porleválasztón keresztül elszívjuk a rendszerből, és hulladékként elszállítjuk. Mindamellett, hogy a képződő exhaust por kezelése műszaki problémákat és gazdasági terheket jelent, a napjainkban egyre nagyobb hangsúlyt kapó környezetvédelem szempontjából is negatív jelenség jelenlegi formájában, ezért a sajátporok visszaadagolása a keverékekbe alapvető érdeke az ágazat minden szereplőjének. Diplomamunkámban a TPA HU Kft. innovációs projektjébe bekapcsolódva azt vizsgáltam, hogy ez az esetleges visszaadagolás, milyen hatással van egy adott keverék aszfaltmechanikai paramétereire.

2. Célok

A kutatás célkitűzései:

- különböző magyar kőbányák sajátporainak és néhány aszfaltkeverékekben gyakran használt mészköliszt közetfizikai és kémiai tulajdonságainak összehasonlítása,
- a vizsgált porok és mészkölisztek felhasználásával készült aszfaltkeverékek aszfaltmechanikai tulajdonságainak összehasonlítása (plasztikus deformáció, fáradási ellenállás, merevség),
- a vizsgálati eredmények alapján annak megállapítása, hogy a különböző mészkölisztek és sajátporok jelentős hatással vannak-e a keverékek aszfaltmechanikai paramétereire, és megfelelnek-e a vonatkozó Útügyi Műszaki Előírás követelményeinek,
- az elkészült keverékek ITFT vizsgálatának részletes kiértékelése mind az eltérések tekintetében, mind a vizsgálati tapasztalatok bővítésének érdekében.

3. Sajátporok problémái

Az exhaust porokat, az aszfaltgyártás során a porleválasztón keresztül eltávolítjuk a rendszerből, majd ezt követően az anyagot hulladék státuszban, egy engedéllyel rendelkező lerakóhelyre szállítjuk. A sajátpor hőmérséklete az eltávolítás során megegyezik a szárítódobban lévő kőanyag hőmérsékletével. Az aszfaltkeverékek tervezése során az ásványi anyagok szemmegoszlása kiemelt fontosságú, különösen igaz ez a finom frakcióra, a töltőanyagra. Ez a 0,063 mm-es szemcseméretnél finomabb anyaghalmoz (mészköliszt) fontos alkotórésze a burkolatnak, mivel bitumennel együtt stabilizáló szerepet tölt be, növeli az útpályaszerkezet merevségét [1]. Ezt a töltőanyagot, a mészköliszt késztermékként vásároljuk, beszállítjuk, előmelegítjük, majd ezt követően adjuk a keverékhez. Ha helyettesíthető lenne az egyik a másikkal, megspórolnánk a mészköliszt anyagköltségét, a beszállítás, és az elszállítás költségét, a felmelegítéshez használt energiát, és a hulladéklerakás díját is. Azonban a sajátpor visszaadagolásának kérdése jelentős részben gépészeti probléma is. Ha mindig pontosan tudni szeretnénk a hozzáadott sajátpor származását és minőségét, akkor minden váltásnál ki kellene járni a gépet, ha előtte más kővázal gyártottunk. Ez főleg a nagyobb méretű a keverőtelepeknél jelent problémát, ahol rengetegféle típusvizsgálatot használnak, különböző bányákból származó alapanyagokkal. Ott se idő, se hely nincs annak az organizációjára, hogy minden ilyen jellegű keverékváltásnál kijárássá a gépet, ezért ez nem megoldható. A kisebb telepeken, ahol egy-kétféle bányára van szervezve minden, és csak pár típusvizsgálatot gyártanak nagyobb mennyiségben ez nem gond, mert a sajátpor lehet homogén, állandó minőségű és összetételű. A kutatásom során azt feltételeztem, hogy a sajátpor állandó minőségű, és egy bánya anyagából származik.

4. Sajátporok és mészkőlisztek vizsgálatai

A porokon és a mészkőliszteken egyaránt elvégeztük a következő vizsgálatokat:

-A töltőanyagok szemeloszlásának vizsgálata; MSZ EN 933-10:2009 *Kőanyag-halmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 10. rész: A finomszem-tartalom meghatározása. A köliszt szemmegoszlása (légsugaras szitálás) szerint légsugaras szitálással készült*

-Töltőanyagok sűrűsége; MSZ EN 1097-7:2008 *Kőanyag-halmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 7. rész: A köliszt anyagsűrűségének meghatározása. Piknométeres módszer szabvány szerint, kapilláris piknométeres módszerrel*

-A töltőanyagok ásványi összetételének meghatározása, röntgen pordiffrakciós módszerrel típusú röntgen diffraktométer alkalmazásával [2]

-Metilénkék vizsgálat; MSZ EN 933-9:2009+A1:2013 *Kőanyag-halmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 9. rész: A finomszem-tartalom meghatározása. Metilénkékmódszer szabvány szerint*

A kutatásom során a laboratóriumi vizsgálatok a TPA HU Kft. laboratóriumaiiban készültek.Összesen öt féle mészkőlisztet és exhaust portt használtam az aszfaltkeverékekben, az 1. táblázatban ismertetett arányokban:

Felhasznált keverékek és arányok	
100 % Uzsa	
100% Dorog	
100% Komló	
100% Iszka	
50% Uzsa	50% Dorog
50% Komló	50% Királyegyháza
50% Iszka	50% Dorog

1. táblázat felhasznált sajátporok és mészkőlisztek

Az uzsai, a komlói és az iszkai bányák sajátporát 100%-ban, illetve a dorogi és a királyegyházi mészkőliszttel 50-5%-ban keverve használtuk fel töltőanyagként.

- Sajátporok és mészkőlisztek vizsgálati eredményei
- Szemmegoszlás, testűrűség eredményei

A 2. számú táblázatban láthatók a szemmegoszlás és a sűrűségvizsgálati eredmények:

Származási hely	Típus	Sűrűség	Szemmegoszlás			Jegyzőkönyv iktatószáma
			Szita: 2	0,125	0,063	
		Mg/m ³	Átesett m/m%			
Dorog	Mészkőliszt	2,700	100%	96%	83%	BUA/2018/00756
Uzsa	Sajátpor	2,770	100%	94%	82%	BUA/2018/00755
Iszcaszentgyörgy	Sajátpor	2,803	100%	94%	82%	BUA/2018/00754
Királyegyháza	Mészkőliszt	2,687	100%	99%	76%	BUA/2018/01238
Komló	Sajátpor	2,683	100%	99%	89%	BUA/2018/01234

2. táblázat Szemmegoszlás és testsűrűség vizsgálati eredményei

Az eredmények azt mutatják, hogy az iszcaszentgyörgyi sajátpor testsűrűsége a legnagyobb, azonban nincs jelentős különbség. Az is kijelenthető, hogy a két mészkőliszt teljesítménynyilatkozatán feltüntetett testsűrűség, igazodik az általunk végzett vizsgálatok mérési eredménye-
ihez, nincs jelentős eltérés.

- Metilénkék vizsgálati eredményei

Az eredményeket a 3. számú táblázatban ismertetem:

Metilénkék vizsgálat			
Származási hely	Típus	MB _F	Iktatószám
		g	
Dorog	Mészkőliszt	3,3	PEC/2018/05208
Uzsa	Sajátpor	6,7	PEC/2018/05205
Iszcaszentgyörgy	Sajátpor	1,7	PEC/2018/05209
Királyegyháza	Mészkőliszt	3,3	PEC/2018/05207
Komló	Sajátpor	10	PEC/2018/05206

3. táblázat Metilénkék vizsgálati eredményei

Az MSZ EN 13043:2013 *Kőanyag-halmazok (adalékanyagok) utak, repülőterek és más közforgalmú területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonataihoz* című szabvány szerint ezek az eredmények két kategóriába sorolhatók. A dorogi és királyegyházi mészkőliszt, illetve az iszkai sajátpor az MB_F7-es kategóriának megfelel (≤ 7g/kg), az uzsai és a komlói sajátpor pedig az MB_F10 (≤ 10g/kg) kategóriába fér be. Az e-ÚT 05.01.15-2018 *Útépítési kőanyag-halmazok* című Ütügyi Műszaki Előírás 10. pont 13. táblázata (Kőlisztek követelményei és osztályozása) szerint a káros finomszemek követelménye a köliszt termékcsoport esetén az MB_F10. Ez alapján az összes mészkőliszt és sajátpor adagolható az aszfaltkeverékeknek, mert megfelel a követelményeknek. A komlói sajátpor értéke pont a határon van, így egy ilyen keverékterv elkészítéséhez érdemes lenne több vizsgálatot is elvégezni, elkerülve az esetleges későbbi üzemi gyártásellenőrzés során felmerülő nem megfelelőségeket.

5. Aszfaltkeverékek

Ahogy a korábbi táblázatban látható minden egyes exhaust porból készült egy 100 %-ban az adott sajátport finomrész-ként tartalmazó keverék, illetve egy 50-50 %-ban saját port és mészkőlisztet tartalmazó keverék, így összesen 7 féle keveréket készítettünk kétféle bitumennel: 70/100-assal és modifikált 25/55-65-össel is lekevertük. Így összesen 14 különböző keverékünk lett. A 25/55-65-ös bitumennel készült keverék, egy gyakran tervezett és beépített anyag, ezért választottuk ezt a meglévő típusvizsgálatot. Mivel szerettük volna több típusú bitumennel vizsgálni a sajátporok hatását, ezért mellé egy merőben eltérő bitument választottunk, a modifikált, nagy merevséget adó bitumenhez képest.

A felhasznált bitumeneket penetrációra és lágyuláspontra vizsgálatuk:

Bitumen típus	Penetráció 25°C-on	Lágyuláspont gyűrűsgolyós módszerrel
25/55-65	51 mm	86,5°C
70/100	87 mm	48°C

4. táblázat Bitumenvizsgálatok eredményei

Az AC 11 kopó (mF) keverék egy régebbi típusvizsgálat, melyet az e-ÚT 05.02.11.-2010 *Útépítési aszfaltkeverékek: Aszfaltbeton (AC) című Ütügyi Műszaki Előírás* szerint készült. A vízerzékenységre (ITSR) a ≥ 80 % , a maradó alakváltozásra ≤ 5,0 % az előírás. A típusvizsgálat ezek alapján megfelel az előírásoknak. A merevség és a fáradás megadandó érték. A típusvizsgálat elkészítése óta már az új, 2018-ban kiadott Ütügyi Műszaki Előírás van érvényben azonos címmel, és azonosítóval. Ebben a követelmények szigorúbbak lettek, a kötőanyag tartalom minimum értéke nőtt, a házagtartalom határai szűkebbek lettek. Bár az új előírásnak ez a keverék már nem felelne meg, mivel az innovációs projekt az új ÜME előtt indult, ezért annak feleltettem meg minden esetben az értékeket.

A sima AC 11 kopó 70/100 kis terhelésű utakra, mint gyalogos vagy biciklitak és például betonpálya alá elválasztórétnek megfelelő. Az AC 11 kopó (mF) 25/55-65 már fokozott terhelésnél is beépíthető. A keverékek kódo-
lása a következő módon alakult:

Kód	Összetétel	Típus	Bitumen
BUD19	100 % Uzsa	SP	70/100
BUD23	100% Dorog	ML	70/100
BUD17	100% Komló	SP	70/100
BUD21	100% Iszka	SP	70/100
BUD20	50% Uzsa 50% Dorog	SP-ML	70/100
BUD18	50% Komló 50% Királye.	SP-ML	70/100
BUD22	50% Iszka 50% Dorog	SP-ML	70/100
BUD26	100% Uzsa	SP	25/55-65
BUD30	100% Dorog	ML	25/55-65
BUD28	100% Iszka	ML	25/55-65
BUD24	100% Komló	SP	25/55-65
BUD29	50% Iszka 50% Dorog	SP-ML	25/55-65
BUD25	50% Komló 50% Királye.	SP-ML	25/55-65
BUD27	50% Uzsa 50% Dorog	SP-ML	25/55-65

5. táblázat Keveréktípusok

6. Aszfaltvizsgálatok

Az aszfaltkeverékeken elvégzett vizsgálatok és vizsgálati módszerek a következők voltak:

- Vízerzékenység vizsgálat; MSZ EN 12697-12:2009 *Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverékek vizsgálati módszerei. Aszfalt próbatestek vízerzékenységének meghatározása szabvány szerint. A szabvány három féle módszert enged a vizsgálat elvégzéséhez, ezek közül az „A” módszert alkalmaztuk.*

- Keréknyomképződés; MSZ EN 12697-22:2003+A1:2008 *Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei. 22. rész: Keréknyomképződés szerint. A szabvány szerint engedélyezett előzőleg említett háromféle berendezés közül, a kiskerekű módszerrel készültek a vizsgálatok.*

- Merevség; MSZ EN 12697-26:2005 *Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei. 26. rész: Merevség, indirekt-húzó vizsgálat (IT-CY)*

- Fáradás; MSZ EN 12697-24:2018 *Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverékek vizsgálati módszerei. Fáradási ellenállás szabvány szerint hasító-húzó vizsgálatot végeztünk henger alakú próbatesten (ITFT).*

7. Aszfaltkeverékek vizsgálati eredményei

• Vízerzékenység

Az AC 11 kopó 70/100 keverék vízerzékenység vizsgálati eredményei:

Keverék	Hasító-húzó szilárdság		ITSR
	Száraz próbatest	Nedves próbatest	
AC 11 kopó 70/100	kPa	kPa	%
100% Komló	1340	1270	94,8
50 Komló - 50 Királye.	1450	1350	93,1
100% Uzsa	1340	1330	99,3
50 Uzsa 50 Dorog	1650	1590	96,4
100% Iszka	1770	1650	93,2
50 Iszka 50 Dorog	1900	1590	83,7
100% Dorog	1730	1710	98,8

6. táblázat AC 11 kopó 70/100 vízerzékenység eredményei

Az e-ÚT 05.02.11-2010 *Útépítési aszfaltkeverékek. Aszfaltbeton (AC) című Ütügyi Műszaki Előírás* az összes kopórétgre az ITS_R ≥ 80 % kritériumot adja meg. Ennek az összes vizsgálati eredmény megfelel, sőt alapvetően jóval meghaladták a keverékek a minimum értéket. A 7/6 keverék 90 % feletti eredményeket ért el. Az egyetlen a többihez képest gyengébb, az 50 %-ban iszkai sajátport és 50%-ban dorogi mészkőlisztet tartalmazó keverék lett.

Az AC 11 kopó (mF)25/55-65 keverék vízerzékenység vizsgálati eredményei:

Keverék	Hasító-húzó szilárdság		ITSR
	Száraz próbatest	Nedves próbatest	
	kPa	kPa	%
AC 11 kopó (mF) 25/55-65			
100% Komló	1300	1200	92,3
50% Komló – 50% Királye.	1790	1600	89,4
100% Uzsa	1300	1250	96,2
50% Uzsa – 50% Dorog	2050	1940	94,6
100% Iszka	2450	2030	82,9
50% Iszka – 50% Dorog	2230	1690	75,8
100% Dorog	1630	1520	93,3

7. táblázat AC 11 kopó 25/55-65 keverékek vízerzékenység eredményei

A keverék eredményeinek a hagyományos bitumenes keveréke eredményeihez képes nagyobb a szórása. Az 50 %-ban iszkai sajátport és 50%-ban dorogi mészkölisztet tartalmazó keverék eredménye 75,8 % lett, ami nem megfelelő az ÜME követelményeinek. Mivel mindkét típusú keverék esetében ennek lett a leggyengébb vizsgálati eredménye, kijelenthető, hogy ez az összetétel érzékenyebb a víz hatására. Egyértelműen kijelenthető az eredmények alapján, hogy kifejezetten az iszkaszentgyörgyi sajátpor okozza ezt a vízerzékenységet. Az eredményekből az is kiolvasható mindkét keveréktípus esetében, hogy a száraz szilárdságok az iszkai port tartalmazó keverékekben kiemelkednek a többi közül, viszont ugyanezeknél vannak a legnagyobb csökkenések, összehasonlítva a nedves keverékekkel.

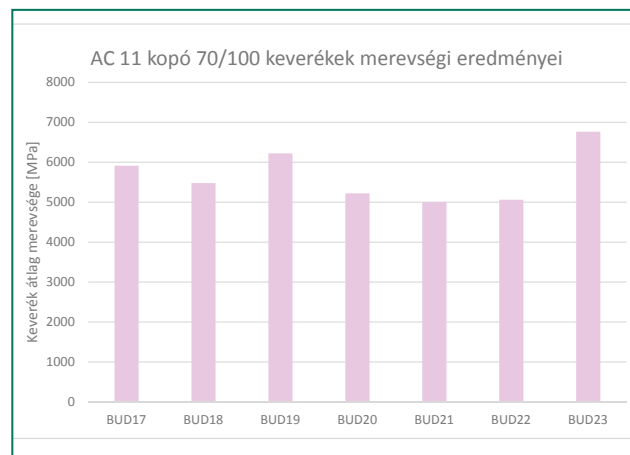
• Merevség eredmények (IT-CY vizsgálat)

A 14 vizsgált keverékből keverékenként 4 darab vizsgálatot, összesen 56-ot végeztünk. Az eredmények a 70/100-as bitumenek esetén a következők:

Azonosító	Felhasznált por		Bitumen	Merevség eredmények átlaga
				MPa
BUD17	100%	Komló	70/100	5 912
BUD18	50% Komló	50% Királye.	70/100	5 477
BUD19	100%	Uzsa	70/100	6 223
BUD20	50% Uzsa	50% Dorog	70/100	5 222
BUD21	100%	Iszka	70/100	5 003
BUD22	50% Iszka	50% Dorog	70/100	5 061
BUD23	100%	Dorog	70/100	6 763

8. táblázat IT-CY eredmények AC 11 kopó 70/100

Hogy szemléletesebbek legyenek az eredmények, oszlopdiagramon is ábrázoltam őket.



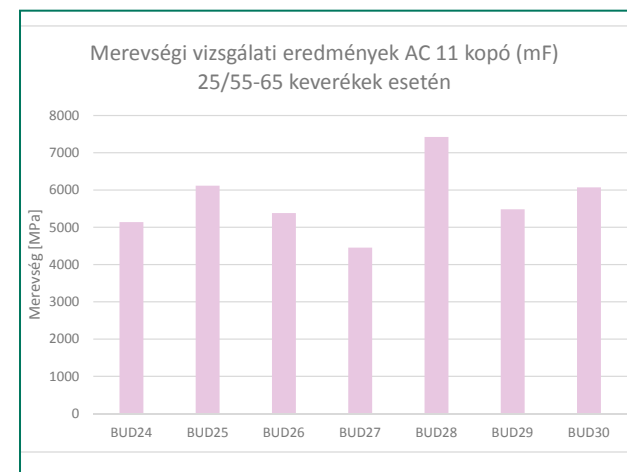
1. grafikon IT-CY vizsgálat eredményei AC 11 kopó 70/100 esetén

A sima AC 11 kopó 70/100 esetén a legnagyobb merevséget a dorogi sajátporos keverék érte el 6 763 MPa értékkel, ami az MSZ EN 10308-1:2016 Aszfaltkeverékek. Anyagelőírások. 1. rész: Aszfaltbeton szerint az Smin5500 osztályba sorolható, mivel a 5 500 MPa minimális értéket eléri. Ezen kívül a komlói és az uzsai sajátporral készült keverék felel meg ugyanennek a követelménynek, a többi az Smin 4 500 kategóriába sorolható. A kopórétegeknél ebben az osztályban (az új Ütügyi Műszaki Előírás szerinti megnevezés (N) azaz normál lenne) nincs merevségi követelmény és nem is kell megadni az értékét sem.

Azonosító	Felhasznált por		Bitumen	Merevség eredmények átlaga
				MPa
BUD24	100%	Komló	25/55-65	5 140
BUD25	50% Komló	50% Királye.	25/55-65	6 116
BUD26	100%	Uzsa	25/55-65	5 383
BUD27	50% Uzsa	50% Dorog	25/55-65	4 456
BUD28	100%	Iszka	25/55-65	7 426
BUD29	50% Iszka	50% Dorog	25/55-65	5 484
BUD30	100%	Dorog	25/55-65	6 073

9. táblázat AC11 kopó (mF) 25/55-65 keverékek merevségeredményei

Kopóréteg esetén a fokozott terhelési osztályba tartozó (F) és (mF) típusú keverékeknek megadandó a merevség értéke a típusvizsgálatban, azonban nem tartozik hozzá kritérium.



2. grafikon IT-CY vizsgálat eredményei AC 11 kopó (mF) 25/55-65 keverékeknel

Az iszkai pornak lett a legjobb merevsége 7 425 MPa eredménnyel, ami a szabvány szerint már az Smin7000 kategóriába tartozik. Az összes keverék közül ez az egy, ami elérte ezt a kategóriát. Ennek a keveréknek az eredményeiben jelentős szórás van, a legnagyobb és a legkisebb közötti eltérés közel 3 000 MPa. A modifikált kötőanyagoknak növelnie kellene a keverék merevségét [3] ehhez képest ez az eltérés vizsgálataim során nem minden esetben teljesül, sőt például az Uzsa - Dorog keverék esetén míg a sima 70/100-as keveréknél 5 222 MPa eredményt ért el, addig a modifikált bitumenes keverékből az eredmények átlaga 4 456 MPa.

A vizsgálat előtt a laboratóriumi tapasztalatok alapján azt vártuk, hogy a kopórétegek merevségi értékei a 3 000 – 4 500 MPa tartományba esnek. Az eredményekből viszont látszik, hogy a több sajátpor jelentősen merevíti a keveréket. Ha összehasonlítjuk a tisztán sajátporból, illetve a sajátpor-mészköliszt keverékeket azonos bitumenek esetében, az esetek döntő többségében a hozzáadott 50% mészköliszt hatására a gyengébb merevségértékeket értek el. Ez főleg a 70/100-as bitumenes keverékeknel érdekes, normál esetben a tapasztalataink alapján olyan 2 000 MPa körüli értékre várnánk a merevségeket, ehhez képest 5 000 - 6 000 MPa körüli értékeket kaptunk. A modifikált bitumenes merevségek is nagyobbak az alapesetnél, de ott nem olyan szignifikáns az emelkedés, mint a 70/100-asnál.

• Keréknyomvályú eredmények

A kopórétegek leggyakoribb tönkremeneteli módja a nyomvályú képződés, ezért az aszfalt burkolatok élettartamának ez a tulajdonság az egyik legszűkebb keresztmetszete. Főleg jelentős forgalmi terhelésű utak esetén nagyon fontos, hogy a kopóréteg megfelelő maradandó alakváltozási ellenállással rendelkezzen.

AC 11 kopó 70/100 TRRL eredményei			
Azonosító	Felhasznált finomrész %		Átlag süllyedés
BUD17	100%	Komló	21,75
BUD18	50% Komló	50% Dorog	24,2
BUD19	100%	Uzsa	21,8
BUD20	50% Uzsa	50% Dorog	23,5
BUD21	100%	Iszka	21,2
BUD22	50% Iszka	50% Dorog	19,95
BUD23	100%	Dorog	19,15

10. táblázat AC 11 kopó 70/100 nyomvályú eredményei

Az AC 11 kopó aszfaltkeverékeknek normál terhelés esetén (a 2018-ban érvénybe lépett Ütügyi Műszaki Előírás szerinti (N) osztály) nincs követelmény a maradandó alakváltozási ellenállásra. Az eredmények 19-25 % között változtak, ami elég jelentős deformációnak tekinthető, ha belegondolunk, hogy egy átlagos 4 cm vastag kopóréteg esetében már 1 cm mély nyomvályú keletkezne (25 %).

Ezeket a jelentős nyomvályú-mélység eredményeket alapvetően a 70/100-as bitumen okozza. Azonban egy ilyen keverék, jelentős terhelésű burkolatba nem kerülhet, gyalogos vagy kerékpáros utak kopórétegébe építhető, így a nyomvályúsodásnak nincs nagy valószínűsége.

Az eredmények azt mutatják, hogy a komlói és az uzsai 50 %-ban sajátport tartalmazó keverékei érték el a legrosszabb eredményeket (23-24 %), míg a legjobb a dorogi sajátporos keveréke lett.

AC 11 kopó (mF) 25/55-65 TRRL eredményei			
Azonosító	Felhasznált finomrész		Átlag süllyedés
BUD24	100%	Komló	3,7
BUD25	50% Komló	50% Dorog	4,25
BUD26	100%	Uzsa	3,6
BUD27	50% Uzsa	50% Dorog	3,65
BUD28	100%	Iszka	3,5
BUD29	50% Iszka	50% Dorog	3,65
BUD30	100%	Dorog	3,5

11. táblázat AC 11 kopó (mF) 25/55-65 nyomvályú eredményei

Az érvényben lévő Útügyi Műszaki Előírás szerint az AC 11 kopó (F) típusú keverékek esetén, ha gumival vagy poli-merrel modifikált bitumenes a keverék, akkor a maradandó alakváltozási ellenállás PRDAIR legfeljebb 5 % lehet. A vizsgálati eredményeim alapján az összes keverék megfelel a szabvány szerinti követelményeknek, így mind beépíthető. Az eredmények nem mutatnak jelentős eltéréseket sem, de a követelmény elég szigorú, így megfelelőség esetén ez nem is valószínű.

Az általános tapasztalatunk az, hogy az ilyen keverékek süllyedése 4 – 5 % között szokott lenni, a típusvizsgálatban szereplő tatabányai mészkölisztet használó, azonos keveréke például 4,5 %. Ehhez képest az eredményeink egy kivételével 3 – 4 % között mozognak, ami jelentős javulást jelent. Ez összecseng a merevségnél tapasztalt magasabb értékekkel. Mivel a szabvány érelég szigorú követelményt állít, számos esetben előfordult, hogy a gyakorlatban a keverék vizsgálata nem megfelelőséget hozott. Ennek a problémának a megoldására jó módszer lehet a keveréktervezés során a sajátpor adagolásával a merevség növelése, és ezzel egyidőben a keréknyomvályú képződés csökkentése.

• Fáradás

Az ITFT vizsgálat kiértékelése jelentette a diplomamunkám legnagyobb kihívását, ugyanis, míg a keréknyom képződés vagy az IT-CY vizsgálatoknál a szoftver kiadja a jegyzőkönyvön feltüntethető eredményt, addig itt a vizsgálat lefutását Excel fileba kell konvertálni, ezután az Excel segítségével a vizsgálati eredményeket kielemezni. Ennek a vizsgálatnak az esetében a vizsgált keverék merevségétől és a terhelés szintjétől függően 5 000-200 000 ciklusig, vagy tovább tarthat a vizsgálat lefutása. A fáradási élettartamnak sok megközelítése van, több tönkremeneteli kritérium szerint is lehet vizsgálni. 13 keverék esetén keverékenként 6 vizsgálatot végeztünk, azaz összesen 78 vizsgálatot értékeltem ki.

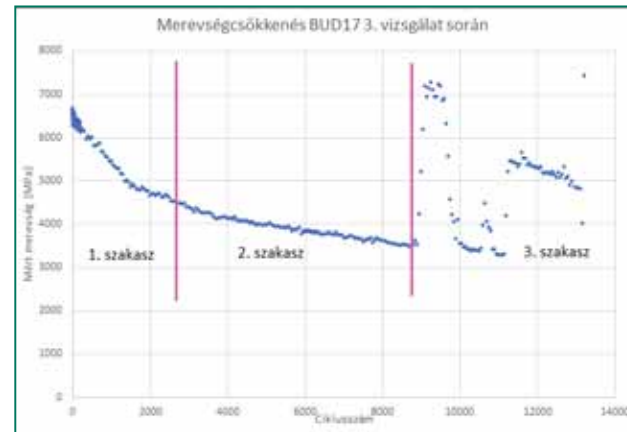
A fáradási egyenes előállítására három megközelítést használunk: a fenomenológiai, a törésmechanikai és a disszipált energia alapú. [5] A megfelelő tönkremeneteli kritérium megtalálásához ezek közül több megközelítés tönkremeneteli kritériumait is vizsgáltam:

- ER (Energy Ratio),
- DER (Dissipated Energy Ratio)
- kezdeti megnyúlás kétszerese, mint tönkremeneteli kritérium

azonban egyikből sem tudtam minden vizsgálat esetén fáradási élettartamot számolni.

A különböző módszerekkel való vizsgálat után, végül a kezdeti merevség 50 %-ra való csökkenését választottam, a vizsgálat elemzésére. Az aszfaltkeverékek fáradásának vizsgálata során több megközelítés is meg-egyezik abban, hogy a fáradás folyamata három szakaszra bontható. Mind törésmechanikai kritérium, ami a mikropedések mennyiségének az ugrásszerű növekedését veszi alapul [5], vagy az RDEC kritérium is kihasználja ezt a tulajdonságot, ugyanis ez a vizsgálat vezérlésétől független, feszültség és alakváltozás vezérelt módon is azonos képet mutat. A fáradás első szakaszá-

ban nagy sebességgel csökken a merevség, majd a második szakaszban beáll egy állandó trendű csökkenésre, gyakorlatilag egy egyenes mentén állandó sebességgel zajlik a fáradás. [4] A harmadik szakaszban a szerkezeti tönkremenetel történik, ekkor a vizsgálati értékek elszállnak, nem értelmezhetőek.



4. grafikon A fáradás szakaszai

A folyamatnak ezt a tulajdonságát használtam ki a kiértékelésem során. A kezdeti merevségnek, ahogy a kezdeti megnyúlás esetén is a 100. ciklusban mért merevség értéket vettem a szabványnak megfelelően, majd ezt minden esetben elosztva kettővel, megkaptam a kezdeti merevség 50 %-át, amit tönkremeneteli kritériumként alkalmaztam.

A kiértékelésem lépései röviden a következők voltak:

1. kiszámoltam a merevség 50 %-át
2. grafikonon ábrázoltam a vizsgálat lefutását, merevség/ciklusidő függvényben
3. a grafikon alapján megállapítottam, hogy nagyjából hol kezdődik a fáradás második szakasza
4. csak a második szakaszt ábrázoltam egy új grafikonon
5. lineáris regresszióval trendvonalat illesztettem rá
6. amennyiben elérte az ideális (80 % feletti) korrelációt, a trendvonal képletébe visszahelyettesítve megkaptam az 50 %-os kezdeti merevség értékhez tartozó ciklusszámot.

Miután 4. számú grafikonon ábrázoltam a számolt merevségértékeket a ciklusidő függvényében, viszonylag könnyedén meghatározható volt, hogy hol áll be nagyjából állandóra a merekség, azaz, hol válik a merevségcsökkenés állandóvá. Azoknak a vizsgálatoknak az esetében, ahol a fáradás elérte a 3. szakaszt, ott alsó határt is adtam a grafikonnak, tehát csak a 2. szakaszt vizsgáltam. Az Excel segítségével könnyedén illeszthető trendvonal a grafikonokra, illetve ennek az egyenlete, és a vizsgált pontokhoz való korrelációja is könnyedén kinyerhető. Minden esetben ellenőriztem az első körben kapott korrelációt, hogy minimum 0,8 legyen, de ha lehetséges volt, még javítottam rajta, a vizsgált intervallum változtatásával. Alapvetően elmondható, hogy a korrelációk 95 % felett voltak, 0,8 és 0,9 között összesen 6 darab vizsgálat volt a 84-ből.

Összességében az is elmondható ajánlásnak, hogy az AC 11 kopó (mF) és (F) keverékek esetében a 150 kPa minimum kritérium fáradás esetén bevezethető lenne, jelen vizsgálatomban mindegyik keverék megfelelt ennek a követelménynek.

8. Eredmények összehasonlítása

Összességében az eredmények pozitívnak mondhatók a sajátporok felhasználása szempontjából. A keréknyomvályú vizsgálatoknál, bár az AC11 kopó 70/100 esetében jelentős volt a maradandó alakváltozási hajlam 19-24 %, azonban ezt a felhasznált 70/100-as bitumen okozta. Ezt megerősítették a bitumenvizsgálataink is, amelyek során a penetráció 87 mm-re alakult a lágyuláspontja pedig 48 °C-os eredményt adott. A vizsgálati terv készítése során, azért ezt a kötőanyagot választottuk a 25/55-65-ös modifikált bitumen mellé, hogy ezáltal egymáshoz képest két végletes jellemzőkkel bíró kötőanyagot használjuk fel. Az AC 11 kopó keverék esetében előírásban nincs kritérium megadva erre a vizsgálatra, így az eredmények nem akadályozzák az esetleges sajátpor felhasználást ebben az esetben.

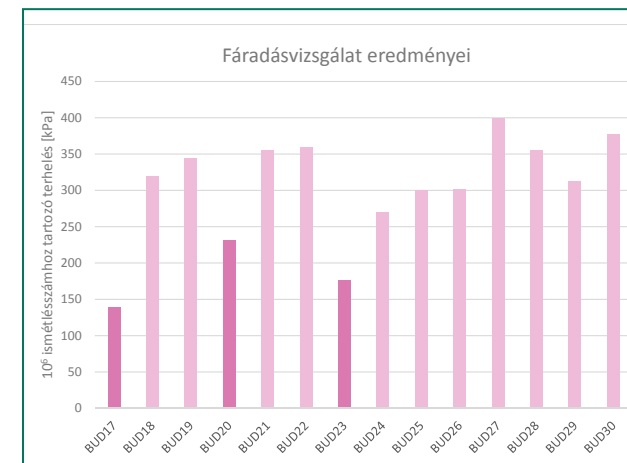
Az AC 11 kopó (mF) 25/55-65 modifikált bitumenes keverék esetében, 5 % a megengedett maximális alakváltozás, ennek a kritériumnak pedig az összes vizsgált keverék megfelelt. Az eredményeken nem láthatók jelentős különbségek, nem kijelenthető ez alapján, hogy valamelyik sajátpor vagy mészköliszt lényegesen jobb eredményeket hozna, mint a többi. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a sajátpor merevíti a keverékeket. Az AC 11 kopó (mF) 25/55-65 esetében a nyomvályú értékek a vártnál jobbak lettek, ugyanis a tapasztalatok szerint, a hasonló keverékeknek 4 – 5 % között várható, amit megerősíti az azonos kövőzzal és bitumennel készült eredeti típusvizsgálatban található TRRL vizsgálat, ami 4,5 %-ot adott. Ezzel ellentétben vizsgálatunk stabilan 3 – 4 % közötti nyomvályúsodási hajlamot adtak, ami lényegesen jobb.

A fáradás vizsgálati eredmények is azt mutatták, hogy a modifikált bitumenes keverékeknek jobb a fáradási ellenállások, mint a sima 70/100-as bitumennel készítették. Az eredmények alapján tendencia, hogy a 100 %-ban komlói sajátport tartalmazó keverékek a leg-
alacsonyabb a fáradása. A legjobb eredményeket pedig a 100 %-ban iszkai sajátport tartalmazó keverék érte el. A kapott értékek a 70/100-as keverék esetében 139 kPa és 359 kPa között változtak, míg a 25/55-65-ös bitumen felhasználásával 270 kPa és 399 kPa között változtak.

A legkiemelkedőbb 399 kPa fáradással rendelkező BUD27 jelű 50%-ban uszai sajátport és 50 %-ban dorogi mészkölisztet tartalmazó keveréknek lett a leg-
alacsonyabb a merevsége. Ezek az eredmények összecsengenek, hiszen minél merevebb az anyag, annál könnyebben fárad. Megállapítható, hogy 250 - 350 kPa közötti fáradások esetében a merevségek 5 000 – 6 000 MPa között vannak, és ez tekinthető a középtűnk, ha nő a fáradás csökken a merevség, és fordítva. A sajátporok a fáradások esetében alapvetően jól szerepeltek, semmivel nem maradtak el a dorogi mészköliszttel készült hagyományos keverék értékeihez képest.

Azonosító	Finomrészek aránya	Bitumen	Fáradás
			[kPa]
BUD17	100% Komló	70/100	139
BUD18	50 Komló - 50 Dorog	70/100	319
BUD19	100% Uzsa	70/100	344
BUD20	50 Uzsa 50 Dorog	70/100	231
BUD21	100% Iszka	70/100	356
BUD22	50 Iszka 50 Dorog	70/100	359
BUD23	100%Dorog	70/100	177
BUD24	100% Komló	25/55-65	270
BUD25	50 Komló 50 Dorog	25/55-65	300
BUD26	100% Uzsa	25/55-65	301
BUD27	50 Uzsa 50 Dorog	25/55-65	399
BUD28	100% Iszka	25/55-65	355
BUD29	50 Iszka 50 Dorog	25/55-65	313
BUD30	100% Dorog	25/55-65	377

12. táblázat Fáradási eredmények



5. grafikon ITFT vizsgálati eredmények

A 5. számú grafikonon, oszlopdiagramként ábrázoltam az eredményeket a könnyebb összehasonlíthatóság érdekében. Jól látható, hogy a három keverék ért el gyengébb eredményt, ezek a 100 % komlói sajátporból készült AC 11 kopó 70/100, az 50 % Uzsa - 50 % Dorog keverékből készült AC 11 kopó 70/100, a 100 % Dorogi mészkölisztből készült AC 11 kopó 70/100-as keverék. Az eredmények jól mutatják, hogy a hagyományos bitumennel készült keverékeknek alacsonyabb a fáradási élettartama, mint a modifikált bitumenes keverékeké. A legjobb fáradási eredményeket az iszkai sajátport tartalmazó keverékek adták, a 100 % iszkai AC11 kopó 70/100 esetében 356 kPa, az 50 % Iszka - 50 % Dorog AC 11 kopó 70/100 359 kPa, a 100 % iszkai AC 11 kopó (mF) 25/55-65 355 kPa, és az 50 % Iszka – 50 % dorogi keverékből készült AC 11 kopó (mF) 25/55-65 keverék 313k Pa-os eredményt ért el.

9. Összefoglalás

A kőanyagok sajátporainak beépítése a típusvizsgálatokba, és aszfalt alapanyagként való felhasználása, mint gazdasági mind környezetvédelmi igény. Jelenleg az exhaust porokat a gyártás során keletkező végerméként hulladékként kezeljük, kivonjuk a gyártási technológia során a keverékből, miközben egy hozzá hasonló szerkezetű anyagot, a mészkölisztet külön erre a célra nagy mennyiségben vásárolunk és beszállítunk. Belátható, hogy ez nem gazdaságos megoldás. A kutatás során ezért azt vizsgáltuk három hazai bánya sajátporán, hogy annak visszaadagolása milyen hatással lesz az AC 11 kopó 70/100 illetve AC11 kopó (mF) 25/55-65 keverékek aszfaltmechanikai tulajdonságaira. Az eredmények alapján a sajátporok felhasználása az aszfaltkeverékekben aszfaltmechanikai szempontból nem ütközik akadályokba. A metilénkék vizsgálat bár nem aszfaltmechanikai vizsgálat, a típusvizsgálat szempontjából alapkövetelmény. Az eredményeink alapján a komlói sajátpor további vizsgálatokat igényel, mert bár megfelel a kritériumfeltételeknek, de pont a határértéken van. Ahogy azt mondani szokás, „egy mérés, nem mérés”, így ennek esetleges keveréktervben való tiszta felhasználása előtt mindenképpen érdemes lenne több vizsgálatot elvégezni, vagy csak mészkölisztet keverve felhasználni.

A porok fizikai és kémiai vizsgálatait követően a sajátporokból 100 %-ban illetve 50 - 50 %-ban mészköliszttel keverve készített AC 11 kopó 70/100, valamint AC 11 kopó (mF) 25/55-65 keverékeken aszfaltmechanikai paramétereket vizsgáltam. Összesen 14 féle keverék készült, melyeknek a vízerzékenységét (ITSR), merevségét (IT-CY), a keréknyomvályú képződését (TRRL) illetve a fáradási ellenállását (ITFT) vizsgáltam. A vízerzékenység eredmények alapján egy keverék nem felelt meg a követelményeknek, az AC 11 kopó (mF) 25/55-65 típusú 50 %-ban iszkai sajátport és 50 %-ban dorogi mészköliszttel töltőanyagként tartalmazó anyag. Az összes többi anyag az előírások szerint megfelel a 80%-os kritériumnak. Az a tendencia is felállítható volt az eredményekből, hogy az iszkai sajátpor kifejezetten érzékeny volt a vízre, nagyobb szilárdságokat hozott a száraz vizsgálat, mint a többi keverék, azonban a víz hatására ezek jelentősen lecsökkentek.

A nyomvályú eredmények mind megfeleltek a vonatkozó Ütügyi Műszaki Előírások követelményének. Normál terhelés esetén nincs kritérium, ezek a keverékek 19-24 % közti eredményt értek el a fokozott terhelési osztályban (modifikált bitumen esetén) megadott 5 %-os kritériumnak pedig az AC 11 kopó (mF) keverékek feleltek meg. Az eredményekből a megállapítást tettem, hogy a hozzáadott sajátpor merevíti a keverékeket. Ez a sima AC 11 kopó esetében nem volt mérhető, a 70/100-as bitumen lágyasága

miatt, ami elvitte a deformációs hajlamot. Viszont a modifikált bitumenes fokozott terhelési osztályra tervezett aszfaltkeverék esetében közel 1 %-al jobb eredmények születtek, ami a maximális 5 %-os deformáció esetében jelentős javulásnak tekinthető.

A merevségnek a kopórétegek esetében nincs kritériuma, fokozott terhelési osztályokban megadandó. Az eredmények 5 003 – 6 760 MPa között alakultak a normál AC 11 esetében, és 4 456 – 7 426 MPa között adódtak a (mF)-es keverék esetében. Itt az az érdekes jelenség alakult ki, hogy több esetben a 70/100-as bitumennel készült keverék, jobb eredményeket adott, mint a modifikált bitumenes, ami pont az ellenkezője a várakozásoknak. Az is elmondható, hogy az összes keverék, a várt merevségekhez képest magasabb eredményeket ért el, ami összecseng a nyomvályúsodásnál tett megállapításommal, hogy a hozzáadott sajátpor merevíti a keverékeket.

A fáradási ellenállás megállapításához a hasító-húzó fáradási vizsgálatot henger alakú próbatesten (ITFT) választottam. Mivel a vizsgálat kiértékelésére több tönkremenneti kritérium is létezik, több lehetőséget is megvizsgáltam és végül a kezdeti merevség 50 %-ra csökkenését választottam. A vizsgálat kiértékelését manuálisan Excelben készítettem el, ami 84 darab vizsgálat kiértékelését jelentette. A vizsgálati eredményekből mind a 14 keverékre fáradási egyenest készítettem, ebből tudtam a fáradási ellenállás értékét leolvasni, azonban a korrelációk helyenként gyengék voltak ~ 0,6 körüli, így ezekből a pontosabb eredmények érdekében további vizsgálatok szükségesek.

A tendencia azt mutatta, hogy a legjobb fáradási élettartammal az iszkai sajátport tartalmazó keverékek rendelkeztek, míg a leggyengébb eredményeket a komlói sajátporból készült keverékek hozták. A vizsgálataim alapján javasolnám az AC 11 kopó (mF) keverék esetében, hogy erővezérelt módban az ITFT vizsgálat eredményeiből a minimum 200 kPa kritérium bevezetését.

Összességében elmondható, hogy a vizsgálatokból számolt 56 különböző eredmény közül mindössze egy, az iszkai-dorogi keverék vízerzékenysége nem felelt meg az előírás kritériumainak. Ezt persze árnyalja az, hogy több vizsgálati típus esetében nincs kritérium csak megadandó érték. Az azonban jól látható, hogy a hozzáadott sajátpor, jelentős mértékben sehol sem rontotta a keverékek aszfaltmechanikai paramétereit, sőt a merevség és a nyomvályú vizsgálat esetében kifejezetten javította. Így érdemes lenne azoknál a keverőgépeknél, ahol erre megfelelő gépészeti adottságok vannak, olyan típusvizsgálatokat készíteni, amik nagyobb mennyiségben tartalmaznak sajátport. Ez jelentős gazdasági előnyt jelentene, és közben környezetvédelmi szempontból is pozitív előrelépés lenne.

10. Források:

1. Tóth Csaba: Hazai aszfaltkeverékek merevségingadozásának tapasztalatai; Ütügyi lapok 1. évfolyam 1. szám 2013. tavasz
2. Géber Róbert: Mészköliszt és dolomit töltőanyagok hatása aszfalthabarcok reológiai tulajdonságaira Ütügyi Lapok 1. évfolyam 1. szám 2013. március 3
3. Tóth Csaba: Aszfaltkeverékek merevsége a terhelési idő, a hőmérséklet és a köváz szemeloszlásának függvényében; Ph.D. értekezés Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 2010. Letöltve: 2020.05.04. link: <https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/1005/ertekezés.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. Cinzia Maggiore: A comparison of different test and analysis methods for asphalt fatigue; PhD thesis, University of Nottingham, 2014.
5. Soós Zoltán: Aszfaltkeverékek hasító-húzó fárasztási vizsgálata és az eredmények feldolgozásának lehetőségei; Az Aszfalt, 2016/2. szám 2016.

Georadar szerepe a roncsolásmentes útpályadiagnosztikában

Runa Boglárka
geológus

Balogh Péter
geológus

RODEN Mérnöki Iroda Kft.



1. Bevezetés

Hazánkban a felújítás tervezéshez és minőségellenőrzéshez szükséges útpályadiagnosztikai vizsgálatok során az útpálya rétegeinek mechanikai állapotát és anyagi összetételét jellemzően fúrt minták laboratóriumi elemzésével határozzák meg. Ez egyrészt időigényes folyamat és a pályaszerkezet roncsolása miatt lokális hibákhoz vezethet, másrészt csak pontszerű információt ad a pályaszerkezet felépítéséről és tényleges állapotáról.

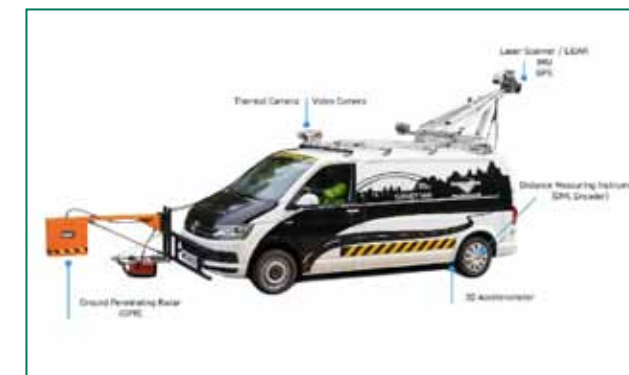
Nyugat-Európában a pályaszerkezetgazdálkodás a technológiai fejlődést kihasználva egyre erősebben támaszkodik a fejlett roncsolásmentes eljárásokra az útállapot felmérések-nél. Ezen módszerek idő és költséghatékony módon, a forgalom csekély zavarásával képesek meghatározni az új vagy meglévő utak pályaszerkezeti rétegeinek állapotát. Cégünk, a RODEN Mérnöki Iroda Kft. 2018-ban elnyert egy K+F+I pályázatot, melynek célja egy a hazai viszonyokra adaptálható, roncsolásmentes útpályadiagnosztikai módszertan kifejlesztése, amely kellő megbízhatósággal képes feltárni az új vagy meglévő utak pályaszerkezeti felépítését és rétegeinek mechanikai állapotát, így alkalmazható tervezési, minőségellenőrzési és felújítástechnológiai célokra. A projektben szereplő fejlesztés központjában a georadar technológia és az azzal integrálható egyéb roncsolásmentes útpályadiagnosztikai módszerek állnak.

2. Különböző non-destruktív pályadiagnosztikai módszerek integrációjának lehetőségei

A különböző mérőrendszerek integrációjának jelentősége abban rejlik, hogy képesek egymás adatait fel-

használni a mérések minőségét nagymértékben javítani, és olyan hibákra felhívni az elemző mérnök figyelmét, amire külön-külön nem lennének képesek, és így végül a tervezett beavatkozások is sokkal nagyobb műszaki értéket képviselnek, jelentős költségmegtakarítások mellett.

Az útpályadiagnosztikában a georadar technológiával integrálható roncsolásmentes módszerek közé tartozik a teljesség igénye nélkül az ejtősúlyos behajlásmérő (FWD), a videokamera, a hőkamera, a 3D gyorsulásmérő és a 3D lézerszkennerek. Ezen mérőeszközök gépjárműre szerelésével kialakítható az úgynevezett „RoadScan” rendszer, amely a forgalommal együtt haladva, idő és költséghatékony módon képes széleskörű információt szolgáltatni az új vagy meglévő utak pályaszerkezeti rétegeinek állapotáról.



1. kép: „RoadScan” rendszer mérőautójának bemutatása (<https://www.roadscanners.com>).

3. Georadar technológia bemutatása

3.1. A georadar működésének fizikai alapjai

A georadar (GPR - Ground Penetrating Radar) rendszer alapvetően 3 egységből épül fel (Daniels 2000):

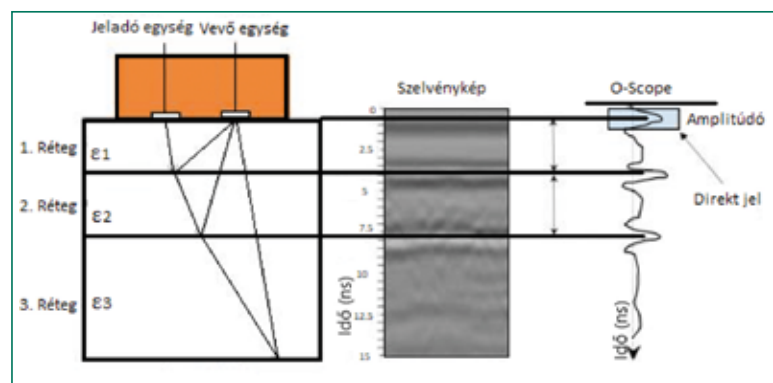
1. → Vezérlő egység.

2. → Antenna, amely egy jeladó és egy vevőegységből áll. Az antennák frekvenciartomány alapján két nagy csoportba sorolhatók.

Kisfrekvenciájú antennák (≤ 400 MHz): nagy behatolási mélységgel, de gyengébb felbontással jellemezhetők, így elsősorban geológiai, földtani kutatásokra alkalmazhatók.

Nagyfrekvenciájú antennák (500 MHz – 2,6 GHz): igen jó vertikális felbontást, de kisebb behatolási mélységet lehet elérni alkalmazásukkal. Ezen frekvenciartományba eső antennákat használják mérnöki célú kutatások során.

3. → Energiaforrás.



2. kép: Georadar működését bemutató sematikus ábra (Hu. 2017 alapján).

A georadar jeladó antennája nagyfrekvenciájú elektromágneses impulzusokat bocsájt ki a felszín felé. Ezek a elektromágneses hullámok a vezetőképesség függvényében részben elnyelődnek, részben visszaverődnek a különböző fizikai tulajdonságú felületek határaitól, részben pedig megtörve tovább haladnak a nagyobb mélység felé. A visszaverődő jelek amplitúdóját és fázisát a vevő antenna detektálja az idő függvényében. Az így kapott idő szelvényen követhető a rétegződés, a földtani szerkezet, valamint minden felszín alatti objektum. Ha ismerjük, vagy becsülni tudjuk a radarhullám terjedési sebességét akkor az idő szelvény mélység szelvényé alakítható. A radarhullám terjedési sebességét elsősorban a közeg elektromos tulajdonságai, a dielektromos állandó (permittivitás) és a vezetőképesség (konduktancia) határozzák meg. A hullámterjedési sebesség könnyen kiszámítható, ha ismerjük az anyag dielektromos állandóját, vagy ha van egy ismert mélységű reflektorunk (Pattantyús- A. és mtsai. 1994).

A georadart igen széles körben alkalmazzák földtani, régészeti és műszaki célú kutatások során. Az elmúlt években egyre elterjedtebbé vált a technológia közúti és vasúti célú alkalmazása is köszönhetően a folytonos adat-

gyűjtésnek és a roncsolásmentes információszolgáltatásnak. A georadar az útpályadiagnosztikában a teljesség igénye nélkül a következő fizikai paraméterek vizsgálatára használható: pályaszerkezet és rétegvastagság nagy pontosságú meghatározása, aszfalt és földmű tömörségének, sűrűségének és homogenitásának meghatározása, felszíni és felszín alatti burkolathibák például repedések, felszín alatti üregek, réteg elcsúszások és deformációk azonosítása, relatív nedvességtartalom meghatározása (Plati és Loizos 2012).

3.2. A RODEN Mérnöki Iroda „RoadScan” rendszerének bemutatása

A cégünk tulajdonában álló mérőautó egy komplett rendszert kínál az útpálya állapotát jellemző adatok gyűjtésére és elemzésére. Rendszerünk kizárólag roncsolásmentes diagnosztikai eszközökből áll, amelyek alkalmassá teszik napjaink technológiai fejlettségének megfelelő roncsolásmentes pályadiagnosztika gyakorlati megvalósítására. A rendszer legnagyobb előnye az idő és költséghatékonyság, valamint a folytonos nagy pontosságú adatszolgáltatás. „RoadScan” rendszerünk a következő pályadiagnosztikai eszközökből tevődik össze:

Georadar rendszer: Mérőautóunk levegőkapcsolt úgynevezett Horn antennákkal van felszerelve, melyek 46 cm magasságban vannak rögzítve a burkolat felszíne felett. Ennek legnagyobb előnye a mérés jó reprodukálhatósága, valamint az útpálya nagy sebességgel (akár 50-60 km/h) történő felmérése a forgalom csekély zavarásával. Méréseink során három, különböző középfrekvenciájú antennát használunk a kutatás céljának megfelelően. A földalag vizsgálatához rendelkezésünkre áll egy 400 MHz középfrekvenciájú levegőkapcsolt antenna, amellyel 3-5 m behatolási mélységet érhetünk el. Az aszfalt és az útalap teljeskörű vizsgálatához nagyfrekvenciájú, így nagy felbontású, de kisebb behatolási mélységű (1-2 GHz középfrekvenciájú) antennákat használunk a következő sorrendben elhelyezve: 1 GHz - 2 GHz - 1 GHz - 2 GHz. Ez az elrendezés biztosítja a teljes felmérni kívánt sáv antennákkal történő lefedését.

A georadar rendszer része még az úgynevezett SIR30 vezérlőegység, amely digitalizálja és egyben tárolja a felvett radarszelvényeket, valamint egy kerékfordulatszám-mérő (Survey Wheel), amellyel detektáljuk a megtett távolságot.

Helymeghatározó rendszer: A helymeghatározást egy Leica Viva GS14 GPS biztosítja, növelve a mérések reprodukálhatóságát. A nagyobb pontosságú felmérés elérése érdekében ezen koordináták a radarfájlokban is rögzítésre kerülnek.

Kamera rendszer: Négy darab GoPro kamera és a hozzájuk kapcsolt videórögzítő rendszer teszi lehetővé, hogy a georadar felméréssel párhuzamosan videófelvételt is készítsünk az útpálya felszínéről és környezetéről. A két mérőrendszer integrálhatóságát a videófelvételek hang-sávjában rögzített koordináták biztosítják.



3. kép: A RODEN Mérnök Iroda „RoadScan” rendszere.

3.3. A GPR útpályadiagnosztika lépései

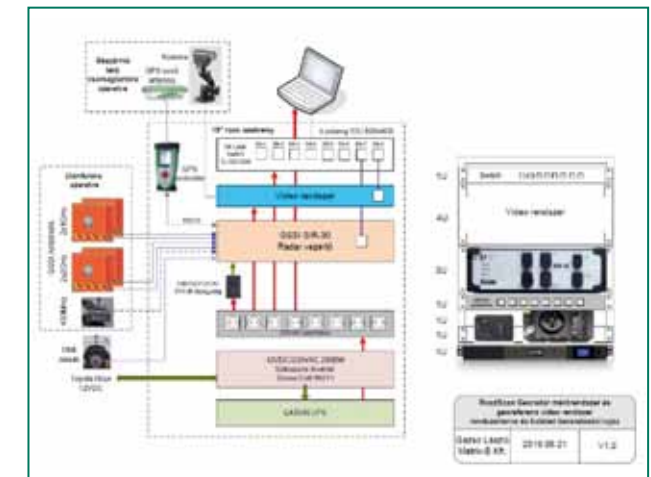
A GPR útpályadiagnosztika négy lépésből tevődik össze:

1. Terepi felmérés, melynek elengedhetetlen része a megfelelő radarbeállítások kiválasztása, valamint a távolságmérő rendszer (Survey Wheel) és a fémlemez kalibráció. Előbbi során egy 20 méteres mérőszalagot feszítünk ki és detektáljuk ezen szakaszon a kerék fordulatszámát. Utóbbi során egy tökéletes reflektorként viselkedő fémlemezt helyezünk az antennák alá, majd a kocsin ugrálva rögzítjük a kalibrációs fájlt. Ezzel célunk a dinamikai zavaró hatások kiszűrése, valamint a pontosabb vastagságmérés elérése.

2. A terepi mérések során felvett nyers adatfájlokat az adatfeldolgozás során szűrjük, dolgozzuk fel. Ennek célja a kis- és nagyfrekvenciájú zajok szűrése, a jelek felerősítése és a réteghatárok, felszín alatti objektumok meghatározása. Ehhez többek között használhatjuk a gyártó által javasolt RADAN7 szoftvert, valamint a komplex kiértékelést biztosító ROAD DOCTOR szoftvert. Ez utóbbi alkalmas a videófelvételek, radarszelvények, FWD mérések, 3D lézerszenzor adatok és hőkamera felvételek együttes feldolgozására és kezelésére.

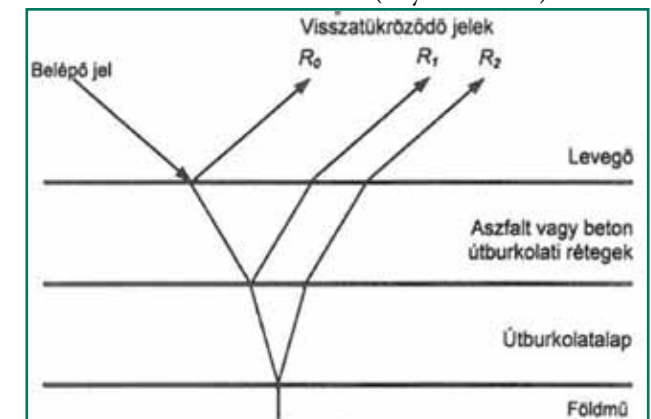
3. A megjelenítés az adatok feldolgozásának leglátványosabb része. Leggyakrabban az Excel segítségével hossz- és keresztshelvényeken ábrázoljuk a georadar adatokból meghatározott fizikai paramétereket, úgy mint a rétegvastagság és mélység adatok, amplitúdó- és sűrűségértékek. Emellett cégünk kifejleszt egy online térkép (WebMap) alapú ábrázolási rendszert is, melyen lehetőség nyílik az előbb említett paraméterek szintvonalas térképen történő megjelenítésére, valamint tetszőleges távolságonként automatikus keresztshelvény generálására. Ennek segítségével a mérnöki tervezést támogató információkat egyszerűen és gyorsan el lehet érni.

4. A végső lépés az adatok értelmezése és más mérőeszközök mérési eredményeivel történő validálása.



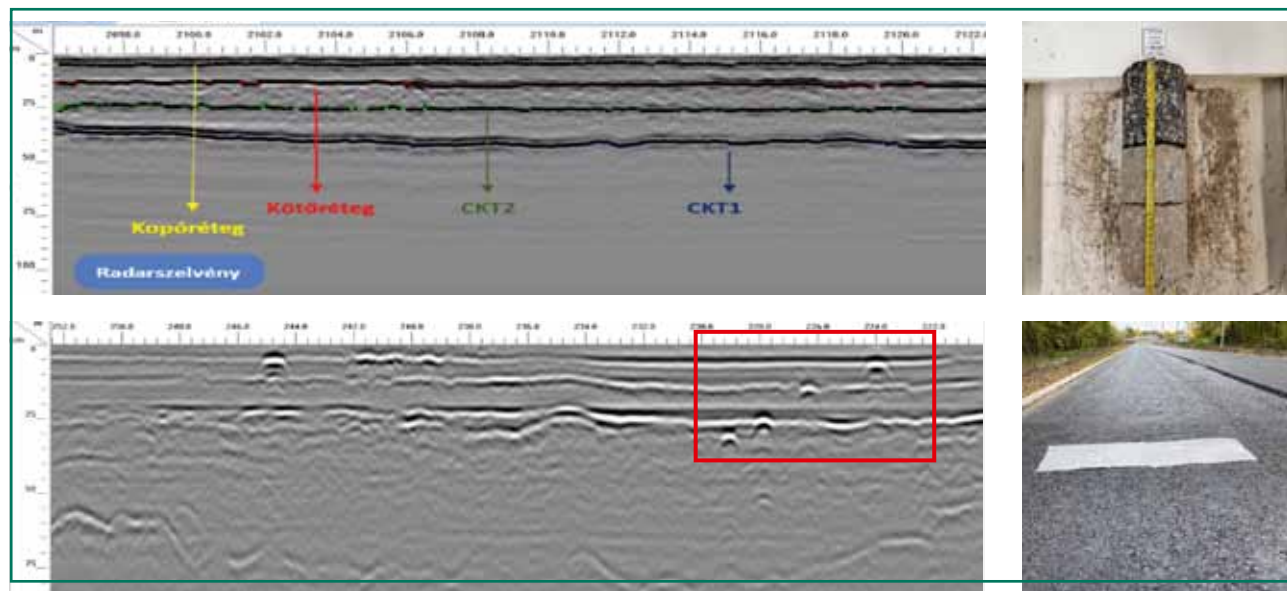
4. Rétegvastagság meghatározása és gyenge teherbírású szakaszok leválogatása (GPR-FWD technológiák integrációja)

A georadar technológiát legszélesebb körben a pályaszerkezeti rétegek vastagságának meghatározására alkalmazzák. A fúrómag mintavétellel szemben hatalmas előnyt jelent, hogy nem csak pontszerű, hanem folytonos információt szolgáltat a pályaszerkezet rétegrendjéről és a rétegek vastagságáról. Ennek fizikai alapja a radarhullámok különböző dielektromos tulajdonságú szerkezeti rétegek határaitól történő visszaverődése (Reynolds 1997).



4. kép: Radarhullámok visszaverődése a különböző pályaszerkezeti rétegek határaitól (Petőcz, Schváb és Szarka 1999).

Amennyiben ismerjük, vagy becsülni tudjuk a radarhullám terjedési sebességét a visszatérési időből kiszámítható a rétegvastagság. A hullám terjedési sebességét könnyen megadhatjuk, ha van egy ismert mélységű reflektorkunk, vagy ismerjük az egyes rétegek dielektromos állandóját (Reynolds 1997). Az útpályát felépítő rétegek dielektromos állandójára vonatkozóan vannak irodalmi adatok (aszfalt: ~4-8; beton: ~9-11), amelyek alkalmazásával könnyen, fúrómagmintavétel nélkül kiszámíthatjuk a rétegvastagságokat.



5. kép: Szelvénykép a réteghatárok azonosításával és validáló fúrómaggal (fent). Építés során az egyes rétegek közé egymástól 1 méterrel elcsúsztatva lehelyezett antipólusok és azok megjelenése a radarszelvényen (lent).

A dielektromos állandó értéke azonban erősen függ a keverék összetételétől, a környezeti viszonyoktól (nedvességtartalom), valamint a tömörítettségétől, így ezen módszer kisebb pontosságú vastagságmérést tesz lehetővé. A dielektromos állandóból (ϵ) a hullámterjedési sebesség (v) a következő képlet felhasználásával számolható ki:

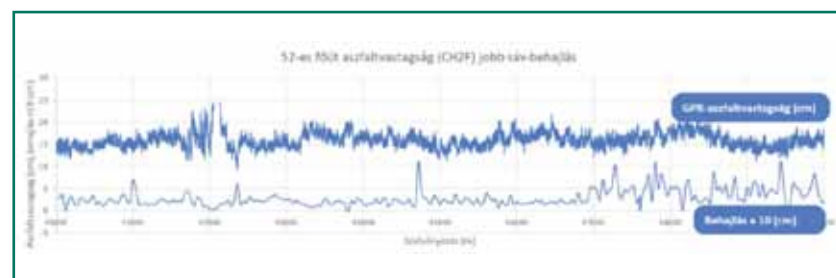
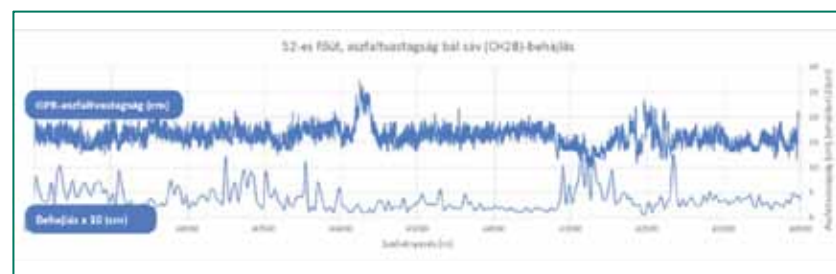
$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \#$$

ahol c a fénysebesség vákuumban (0,30 m/ns) (Bigman 2018).

Kutatási eredményeink alapján a georadaros vastagság meghatározás pontossága 90-95 %-ra növelhető, amennyiben van egy fúrómagunk az adott útszakaszról, vagy az építés során lehelyeztünk egy ismert mélységű antipólust. Ez utóbbi esetben teljes roncsolásmentesség mellett adható meg nagy pontossággal a rétegvastagság. Az antipólus egy tökéletesen reflektáló fémlemez, amely leggyakrabban alumínium anyagú.

A GPR és az FWD technológiák közötti fő kapcsolódási pontot az útpályaszerkezetek rétegfelépítése adja. A pontos rétegvastagság kritikus fontosságú adat, ha az FWD mérésekből szeretnénk vissza-számolni a rétegmerevségeket. A georadar képes megfelelő kalibráció

után olyan rétegvastagság adatsort előállítani, ami már jól felhasználható az FWD adatok visszaszámolásához (Borecky és mtsai. 2019). Az FWD mérésekből levezett teknőparaméterek, vagy a visszaszámolt rétegmerevségek viszont segíthetik a GPR adatok jobb megértését, valamint a kiugró értékek elbírálását. A felmért útszakasz minden szelvényében rendelkezésre álló georadar rétegvastagságok alapján elvégezhető a homogén útszakaszok pontos kijelölése, amely sokkal precízebb diagnosztizálást tesz lehetővé, mint a lokálisan fúrt burkolatminta adatok alapján elvégzett szakaszolás (C. Plati és Loizos 2012). A GPR és az FWD adatok együttes elemzésével lehetőség nyílik a gyenge teherbírású szakaszok nagyobb pontosságú leválogatására is, ugyanis ezen szakaszokon a pályaszerkezet vastagsága kisebb, míg a behajlás nagyobb az átlagosnál.



6. kép: GPR és FWD mérési eredmények összehasonlítása az 52. sz. főút példáján (Fi 2021).

5. Átfedések toldások és úthibák azonosítása (GPR-videófelvétel)

A georadar szelvények szakértői elemzésével meghatározhatók a pályaszerkezetben megjelenő burkolatváltások, azok környezete, a pályaszélesítések valamint a meglévő rétegek átfedések toldásai (Al-Qadi és mtsai. 1999). Ezek a kritikus helyek nagy jelentőséggel bírnak a következő felújítás tervezése során, hiszen a korábbi munkatechnológia megfelelő-ségének értékeléséhez elengedhetetlen a burkolatváltás geometriájának pontos megismerése.

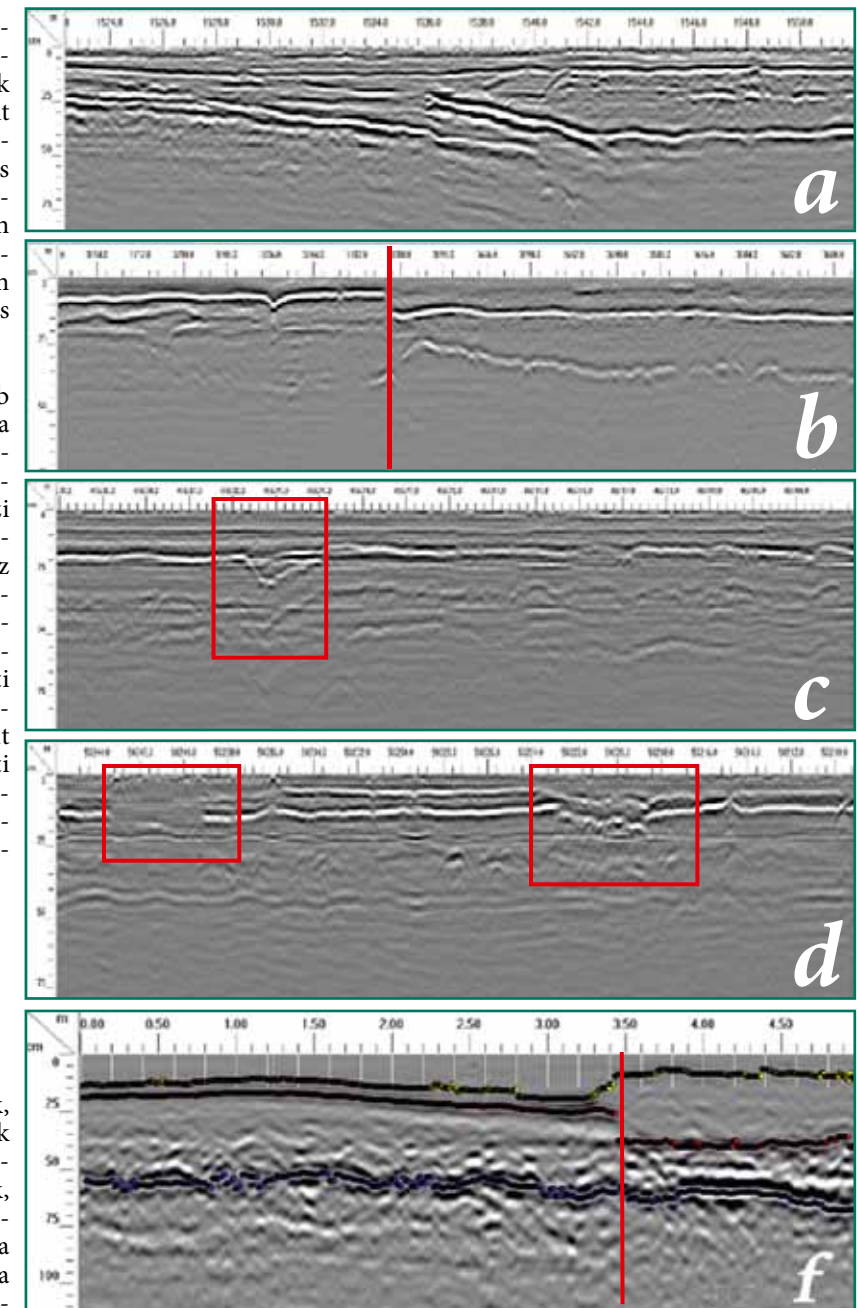
A burkolathibák kialakulását legtöbb esetben a növekvő forgalmi terhelés, a környezeti hatások, a rossz vízelvezetés, anyaghiány, vagy az útpálya szerkezetének hibás kialakítása eredményezi (Kearney et al. 2004). A georadar szelvények és az azokkal párhuzamosan, az útpálya felszínéről és annak környezete-ről készített videófelvételek GPS koordinátáinak szinkronizálásával lehetőség nyílik a felszíni és felszín alatti úthibák azonosítására, potenciális kialakulási okainak feltárására, valamint az úthiba által érintett pályaszerkezeti rétegek azonosítására. Ezen információk birtokában a pályaszerkezet gazdálkodás racionalizálása megvalósítható-vá válhat.

6. Folytonos sűrűségterképek készítése és tömörítésvizsgálat georadarral

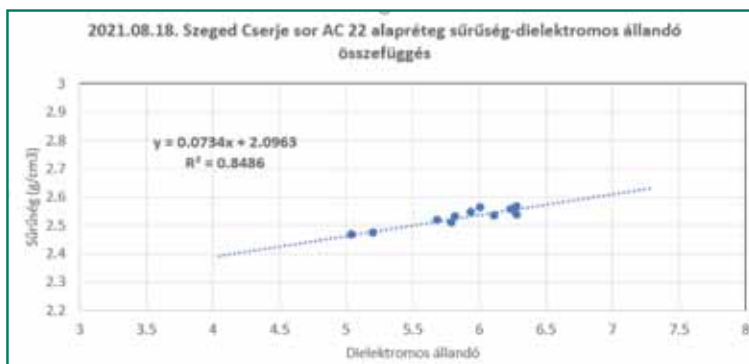
Korábbi tanulmányok már feltárták, hogy száraz állapotban az aszfaltok dielektromos állandóját az aszfaltkeverék összetétele, azaz a fázisalkotók, a kőváz, a bitumen és a hézagok térfogataránya és dielektromos állandója határozza meg. Ezen paraméterek a hézagterfogattal kivételével az adott aszfaltkeverékre állandónak tekinthetők, így a dielektromos állandó változása a hézagterfogattal és a sűrűség változásával mutat összefüggést (Saarenketo 1997).

A projekt keretein belül sor került ezen összefüggés vizsgálatára. A BME Pályaszerkezeti Laboratóriumában készült ismert sűrűségű és hézagterfogattal gyártott próbatesteken 1 GHz középfrekvenciájú GPR antennával (SZTE) történt dielektromos állandó mérések során meghatározásra került, hogy a dielektromos állandó a sűrűséggel egyenesen, míg a hézagterfogattal fordítottan arányos.

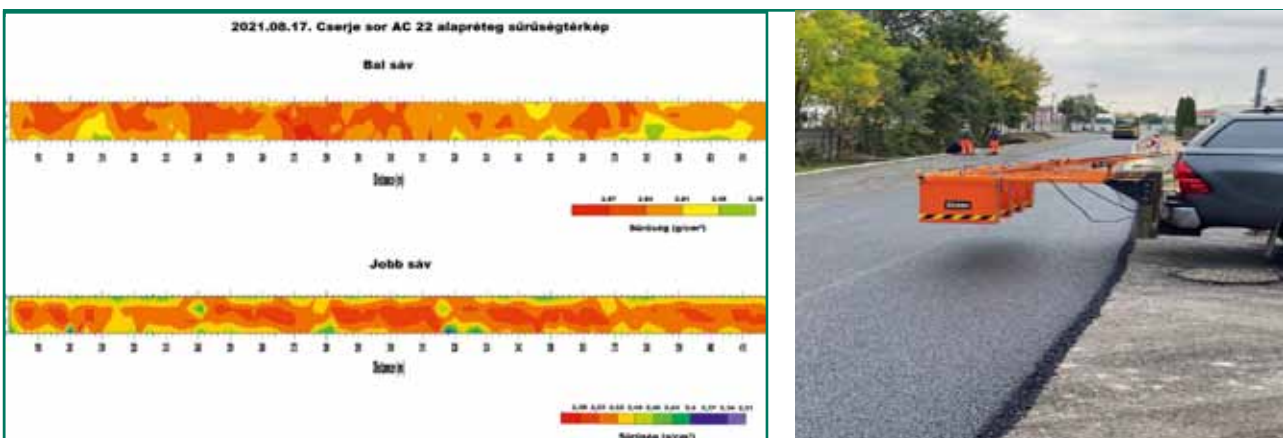
A GPR rendszer Horn antennáival rögzített reflexiós amplitúdóértékekből kiszámítható a felszíni aszfalttréteg dielektromos állandója a felmért útpálya minden pontjára. A dielektromos állandóból a sűrűség meghatározható, amennyiben kalibráljuk a változók közötti összefüggést az adott aszfaltkeverékre. A kalibrációhoz fúrómag mintavételre, vagy az adott aszfaltkeverékből előállított gyrtoros próbatestekre van szükség (Hoegh és mtsai. 2019).



7. kép: Átfedések toldás (a), burkolatváltás (b) és úthibák (c, d) megjelenése GPR hossz-szelvényeken. GPR kereszt-szelvényen azonosítható pályaszélesítés (f).

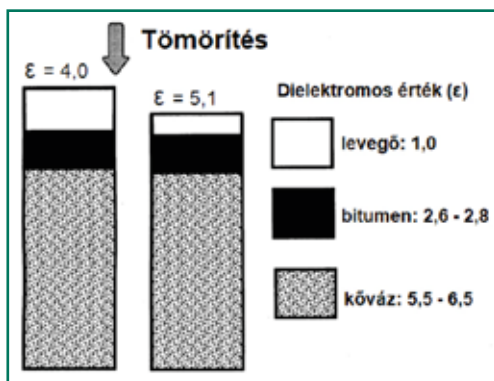


8. kép: Fúrómagokon mért sűrűség és dielektromos állandó közötti összefüggése a Cserje sor AC 22 alaprétégek példáján



9. kép: Cserje sor AC 22 alaprétgen történt GPR felmérés eredményei alapján készített sűrűségterkép (bal oldal). Tömörítésvizsgálat a Vásár utca kopórétégének építése során GPR Horn antennákkal (jobb oldal).

A kalibrációt követően elkészített sűrűségterképeken egyértelműen megállapítható, hogy az aszfalt sűrűsége a sávközépen a legnagyobb, míg a peremek felé haladva fokozatos csökkenés tapasztalható. A legalacsonyabb sűrűségértékek a két sáv illeszkedésénél mérhetők. Az aszfaltok tömörítése során a bitumen és a kőváz térfogata állandó csak a szabad hézagtartalom csökken. Tömörítő hengerjáratonként a hézagterfogat fokozatos csökkenésével a 10. képen látható módon növekszik az aszfalt dielektromos állandója (Saarenketo 1997). Ennek vizsgálatára Szegeden a Vásár utcán a kopórétég építése során tömörítő hengerjáratonként idő alapú méréseket végeztünk 1 és 2 GHz középfrekvenciájú Horn antennáinkkal.



10. kép: Tömörítés hatására bekövetkező dielektromos állandó változás (Saarenketo 1997).

A kopórétégen történt méréseket elemezve megállapítható, hogy közvetlen kapcsolat van a georadar mérések és az úthenger szükséges tömörítési járatszáma között. Ezt az összefüggést legegyszerűbben az 1 GHz középfrekvenciájú antennák dielektromos állandó görbéi mutatják. Az aszfaltkeverék dielektromos állandója erőteljesen növekszik az első pár tömörítő járat után, viszont elérve a hatodik járatszámot, a dielektromos állandó viszonylag konstanssá válik, amit azt jelzi, hogy elértük a maximális halomsűrűséget.



11. kép: Dielektromos állandó tömörítő hengerjáratonként bekövetkező változása

7. Szerkezetben jelenlévő víz meghatározása georadarral

Kutatásainkat a továbbiakban a pályaszerkezetben jelenlévő víz kimutatására tervezzük kiterjeszteni. Célunk a vízelvezető rendszer, a padkák, szegélyek, árkok, egyéb műtárgyak, valamint a pályaszerkezet alatti vízelvezetés állapotának értékelése a pályaszerkezetbe szivárgott víz kimutatásával és a vízbeszivárgás okának feltárásával.

A georadar technológia vízkimutatásra történő alkalmazása azon alapszik, hogy az útpályát felépítő rétegek dielektromos állandója növekszik a szerkezetbe szivárgott víz hatására. Ennek fizikai hátterében az áll, hogy a víz dielektromos állandója jóval magasabb (~80), mint az útpályát felépítő anyagok dielektromos állandói (például aszfalt: ~4-6; beton: ~9; homok: ~3-5). A vízbeszivárgás által érintett réteg(ek) határáról visszaverődő jel amplitúdója növekszik, ugyanis a reflexió erőssége annál nagyobb minél nagyobb a két réteg dielektromos állandója közötti kontraszt, így a módszerrel a nedvesség jelenléte jól kimutatható (Zhang és mtsai. 2020).

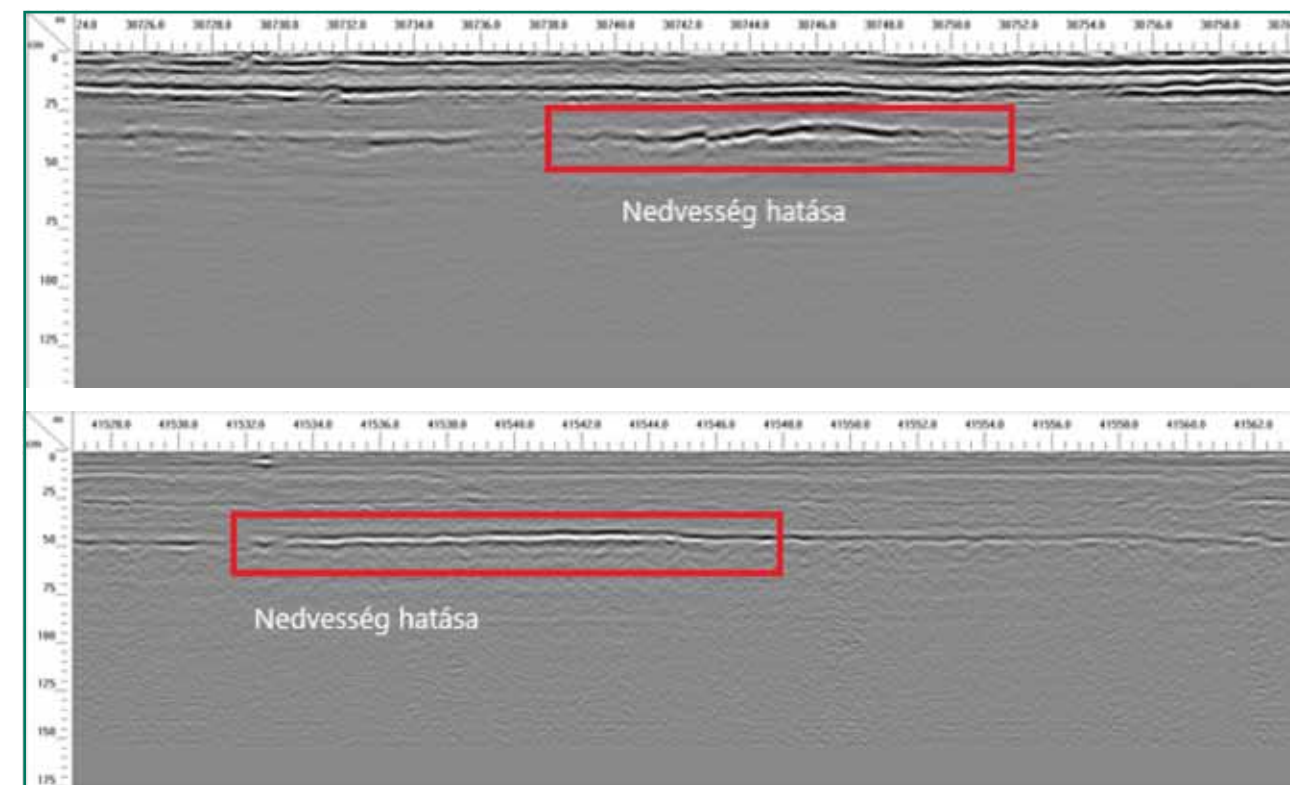
Az integrált mérőrendszernek köszönhetően kiértékeléskor a szakemberek össze tudják vetni az eredményeket a videófelvételen rögzített útállapottal. A vizuális szemrevételezés segítséget nyújthat a problémák okának feltárásában is.

A nedvességkárosodás értékelésére a nemzetközi szakmai gyakorlatban bevezetésre került az úgynevezett nedvességkárosodási index (MDI - Moisture Damage Index), amely a georadar eredményeiből számítható mértékegység nélküli relatív érték. Az index az anyag nedvességtartalmát és nedvességérzékenységet meghatározott mélységek között írja le. Ezen mélységtartományok a következők: felső 230 mm, középső 230-450 mm, alsó 450-700 mm. A teljes pályaszerkezetre vonatkozó MDI értéket az előbb bemutatásra került három mélységtartomány értékeinek súlyozott átlaga adja meg. A kapott indexértékek 10 (nagyon száraz) és 120 (telített) között mozognak (Arnold és mtsai. 2017).

A vízbeszivárgás okának feltárásában segítséget nyújthat a georadar adatok elemzésével feltárt pályaszerkezet vastagság és a 3D lézerszkennerrrel, vagy geodéták által meghatározott árokmélység összehasonlítása. Amennyiben az árokmélység kisebb, mint a pályaszerkezet vastagsága feltételezhető a víz pályaszerkezetbe történő beszivárgása majd ennek hatására vízkárok kialakulása.

8. Összefoglalás

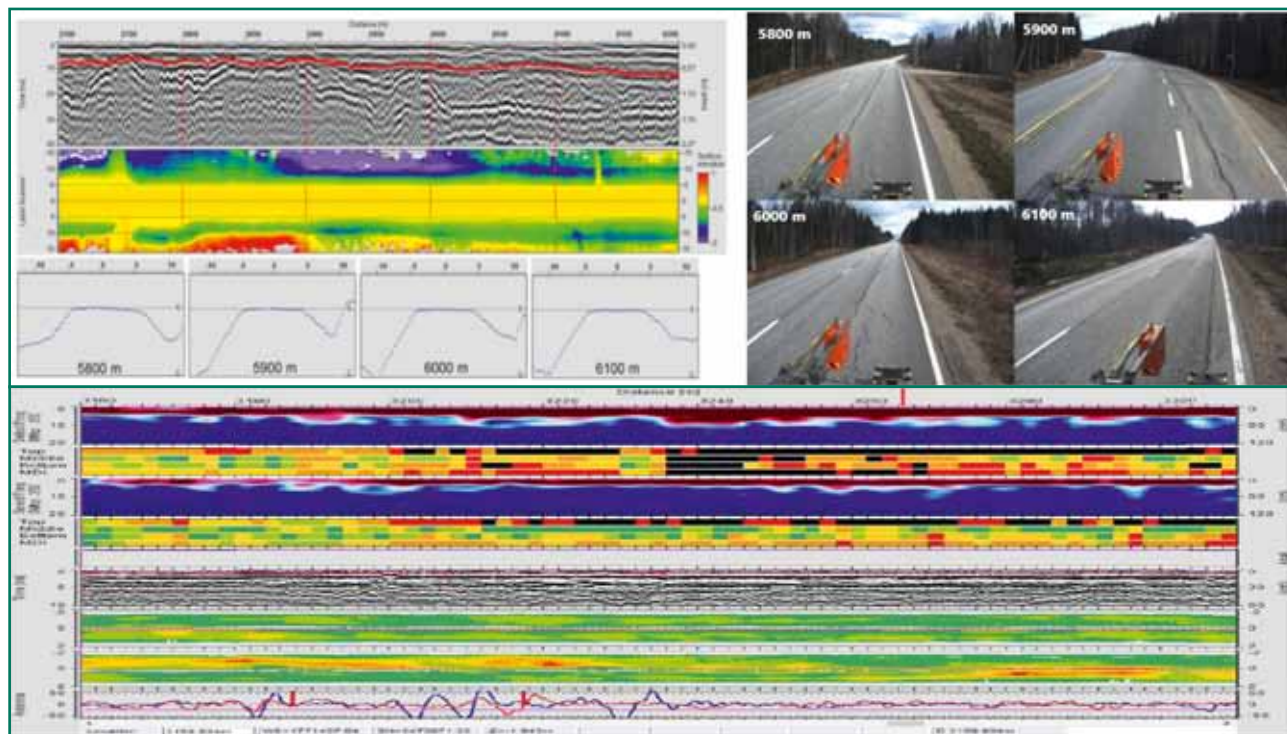
A georadar roncsolásmentes útpályadiagnosztikában történő alkalmazási lehetőségeinek rövid és szubjektív bemutatásával az volt a célunk, hogy felhívjuk a tervezésben, minőségellenőrzésben és pályaszerkezet gazdálkodásban résztvevő hazai szakemberek figyelmét ezen technológia alkalmazásában rejlő potenciálra. Reményeink szerint a K+F+I projekt befejeztével egy olyan roncsolásmentes útpályadiagnosztikai módszertant sikerül kidolgozni mely gyökeres változásokat eredményez a hazai felújítás tervezési és pályaszerkezet gazdálkodási gyakorlatban.



12. kép: Megnövekedett nedvességtartalomra utaló erősreflexió.

9. Köszönetnyilvánítás

A cikk a RODEN Mérnöki Iroda Kft. támogatásával, valamint a BME Út és Vasútépítési Tanszék és az SZTE Geoinformatikai, Természet- és Környezetföldrajzi Tanszék szakmai hozzájárulásával készült.



13. kép: Vízelveztető árok hatékonyságának vizsgálata GPR és 3D lézerszkennerek adatok alapján (fent) (<https://www.roadex.org>). Nedvességtárolás értékelése Moisture Damage Index használatával (lent) (Arnold és mtsai. 2017).

10. Irodalomjegyzék

- /1 / Al-Qadi, I. L.: Radar Testing of Concrete, Where Are We Now. Keynote Presented at the 8th International Conference and Exhibition on Structural Faults and Repair, London, United Kingdom, 1999
- /2 / Arnold, G., Sing, F. P., Saarenketo, T. és Saarenpaa, T.: Pavement Moisture Measurement to Indicate Risk to Pavement Life. New Zealand Transport Agency research report 611, 1–160., 2017
- /3 / Bigman D. P.: GPR Basics: A Handbook for Ground Penetrating Radar Users. Bigman Geophysical, LLC, Sunwanee, GA, USA, 2018
- /4 / Borecky, V., Haburaj, F., Artagan, S. S. és Routil, L.: Analysis of GPR and FWD Data Dependency Based on Road Test Field Surveys. Materials Evaluation 77 (2): 12., 2019
- /5 / Daniels, J. J.: Ground Penetrating Radar Fundamentals. Appendix to a report to the U.S. EPA, Region V, Department of Geological Sciences, The Ohio State University, 2000
- /6 / Hoegh, K., Roberts, R., Dai, S. és Teshale, E. Z.: Toward Core-Free Pavement Compaction Evaluation: An Innovative Method Ralting Asphalt Permittivity to Density. Geosciences, 9 (280): 1–24., 2019
- /7 / Hussein, H. K., Hasan, H. J. és Sabah, S. M.: Assesement of Water Content for Sub-Pavement Layers Using GPR. Globar Journal of Engineering Science and Research Management 4 (10): 138–151., 2017
- /8 / Kearney, E. és Blades, C.: Asphalt Paving Principles. Cornell Local Roads Progra, 33–42., 2004
- /9 / Pattantyús-Á., M., Neduczka, B., Prónay, Zs. és Törös, E.: A földradar módszerfejlesztés másfél éves tapasztalatai az ELGI-ben. Magyar geofizika 35 (1): 32–41., 1994
- /10 / Petőcz, M., Schváb, J. és Szarka, I.: Útpályaszerkezeti rétegek roncsolásmentes vastagságmérése. Közúti és mélyépítési szemle 49 (6): 219–25., 1999
- /11 / Plati, C., és Loizos, A.: Using Ground-Penetrating Radar for Assessing the Structural Needs of Asphalt Pavements. Nondestructive Testing and Evaluation 27 (3): 84–273., 2012
- /12 / Reynolds, J. M.: An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, New York, 1997
- /13 / Saarenketo, T.: Using Ground-Penetrating Radar and Dielectric Probe Measurements in Pavement Density Quality Control. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1575 (1): 34–41., 1997
- /14 / Zhang, J., Yang, X., Li, W., Zhang, S. és Jia, Y.: Automatic Detection of Moisture Damages In Asphalt Pavements from GPR Data with Deep CNN and IRS Method. Automation in Construction, 113: 1–11., 2020
- /15 / <https://www.roadscanners.com>
- /16 / <https://www.roadex.org>

Visszanyert aszfaltok bitumenjének reológiai vizsgálatának lehetősége, szükségessége

Rosta Szabolcs

Innovációs főmérnök
Duna Aszfalt Zrt.



Zvekán Fanni

Innovációs mérnök
HÓDÚT Kft.



Bevezetés

Az utóbbi 10 évben a magyarországi aszfalttermelés jelentősen nőtt, és az elmúlt években ez a szám elérte az 5 millió tonnát. Ezen nagy mennyiségű újonnan előállított aszfalt mellett azonban nem szabad megfeledkezni a már beépített, és valamilyen okból visszanyerni szükséges aszfaltokról sem. Ezek értékes ásványi anyagot és bitument tartalmaznak, melyeket nem szabad veszni hagyni, amikor az aszfalt pályaszerkezet elérte a hasznos élettartamát.

Felhasználás előtt a visszanyert aszfaltot számos szempont szerint kell megvizsgálni, hogy megállapítsuk, megfelel-e azon követelményeknek, amelyek lehetővé teszik a meleg aszfaltkeverékekben történő felhasználását. Ehhez kapcsolódóan fontos megismerni a visszanyert aszfalt kötőanyagát, a bitument, annak típusán és jellemző tulajdonságain keresztül.

A bitumen összetétele és tulajdonságai

A bitumen nagyrészt szénhidrogén molekulákból áll, néhány ezek közül heterociklusos, illetve tartalmazhatnak különböző funkciós csoportokat, amelyekben heteroatomok (kén-, nitrogén- és oxigénatomok) vannak. A bitumen nyokban fémeket is tartalmaz, például nikkelt, vanádiumot, vasat, kalciumot és magnéziumot, amelyek fémsók, oxidok vagy porfirinkomplex szerkezetekben fordulnak elő. A pontos összetétel a bitumen gyártásához használt kőolaj eredetétől függően, valamint a gyártási folyamat és az üzem közbeni öregedés során előidézett kémiai módosulásoktól függően változik.

A bitumen kémiai összetétele rendkívül összetett, komplex. Így a bitumen teljes kémiai analízise rendkívül munkaigényes lenne, és olyan nagy mennyiségű adatot generálna, hogy a reológiai tulajdonságokkal való korreláció nem lenne praktikus, ha az egyáltalán lehetséges. Ezenkívül a kapott adathalmaz csak egy adott bitumenmintára lenne érvényes, nem lehetne általánosítani belőle a mindennap használt bitumenekre.

Hagyományosan a bitumen alkotóelemeit két nagy kémiai csoportra osztják, aszfalténekre és malténekre. A malténeken belül további csoportok különíthetők el: beszélhetünk telített zsírsavakról, aromásokról és gyantról. A négy csoport nincs pontosan definiálva, lehetnek és vannak is közöttük átfedések. Ez a fajta besorolás azonban lehetővé teszi a bitumen reológiájának összehasonlítását az ilyen módon meghatározott (szélesebb) kémiai összetétellel.

A bitumen különböző komponenseinek hatását annak tulajdonságaira már korábban is tanulmányozták. Különböző vizsgálatokat folytattak az aszfaltének koncentrációját állandó értéken tartva a többi komponens mennyiségének variálásával. A tapasztalatok azt mutatták, hogy

- az aromás tartalom növelése állandó telített komponens/gyanta arány mellett, a nyírási érzékenység elhanyagolható csökkenésén kívül, csak minimális hatással van a reológiára,
- állandó gyanta/aromás arány esetén a telített komponensek hányadának növelése lágyítja a bitument,
- a gyanták hozzáadása keményíti a bitument, csökkenti a penetrációs indexet és a nyírási érzékenységet, de növeli a viszkozitást. [1.]

Az útépitésben használható bitumenek esetén jelenleg nem az összetevők aránya, hanem a termékként forgalmazott bitumen egyes tulajdonságainak értéke szabályozott (pl. penetrációs érték, lágyuláspont, lobbanáspont, keménnyedéssel szembeni ellenállóképesség, stb.). Egy adott határérték különböző komponensarányokkal teljesíthető. Ebből kiindulva nem feltétlenül a kémiai összetételt célszerű a reológiai tulajdonságokkal párba állítani, sokkal inkább az egyes bitumen fokozatokat.

A bitumenes kötőanyagok hőre lágyuló folyadékok, amelyek különböző hőmérsékleteken változó reológiai viselkedést mutatnak. Alacsony hőmérsékleti tartományban (-15°C alatt) szilárd testként, közepes hőmérsékleti tartományban (-15°C – 80/90°C) viszkoelasztikus anyagként, magas hőmérsékleti tartományban (80/90°C felett) pedig newtoni folyadékként viselkednek [2.]. A bitumen életciklusát tekintve az aszfaltban a középső hőmérsékleti tartományban tölti a leghosszabb időt, így a viszkoelasztikus anyagi tulajdonságainak megismerése az egyik legfontosabb feladat ahhoz, hogy modellezni tudjuk a pályaszerkezet élettartama alatt a bitumenben bekövetkező deformációs és egyéb változásokat.

Dinamikus nyíróreométerrel meghatározható reológiai tulajdonságok

A bitumenek deformációs viselkedése reológiai paraméterekkel határozható meg. Mind a viszkózus, mind a rugalmas tulajdonságok hőmérséklet- és időbeli változását az anyag periodikus erők általi alakváltozásra adott válaszként mérjük. Ezen reológiai tulajdonságokat a viszkózitáson túl a leggyakrabban fázisszöggel és a komplex nyírási modulussal jellemzik.



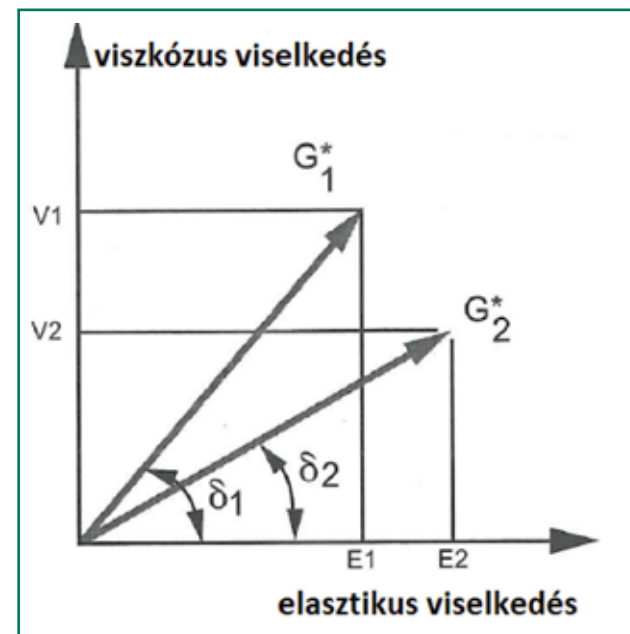
1. ábra: Dinamikus nyíróreométer (DSR)

A dinamikus nyíróreométer (DSR, 1. ábra) aszfaltok kötőanyagának vizsgálatára használható. Ennek folyamán széles hőmérséklet-tartományban mérhetjük meg a reológiai paramétereiket, mint amilyen a komplex nyírási modulus (G^*) vagy a fázisszög (δ). Ezeket a paramétereket használhatjuk az aszfaltok kötőanyagának viszkózus és elasztikus viselkedésének jellemzésére.

A komplex nyírási modulus az anyag deformációval szembeni ellenállásának mérőszáma, amikor az szinuszos nyírófeszültség terhelésnek van kitéve: a fellépő feszültség (τ) és az alkalmazott alakváltozás (γ) hányadosa:

$$G^* = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}}$$

Reológiai szempontból elasztikus (visszaalakuló) és viszkózus (nem visszaalakuló) komponensekből tevődik össze. A fázisszög viszkózus és elasztikus komponensek relatív mennyiségét mutatja meg, mérés technikai szempontból az alkalmazott feszültség és a fellépő alakváltozás közötti (időbeli) fáziskülönbségként definiálható. A két paraméter értéke aszfalt kötőanyagok esetén nagyban függ a vizsgálati hőmérséklettől és a terhelési frekvenciától. Magas hőmérsékleten és alacsony terhelési frekvenciánál az aszfalt kötőanyagok viszkózus folyadékként viselkednek, kis visszaalakulási képességgel. Ezzel szemben nagyon alacsony hőmérsékleten ezek a kötőanyagok elasztikus szilárd anyagként viselkednek, amelyek teljes mértékben visszaalakulnak a deformációból. Normál burkolati hőmérséklet és forgalmi terhelés mellett a bitumenek mindkét tulajdonsággal (viszkózus folyadékok és elasztikus szilárd anyagok) rendelkeznek, így méltán nevezhetők viszkoelasztikus anyagoknak. A komplex modulus és a fázisszög meghatározásával a DSR vizsgálat információt szolgáltat a bitumen viselkedéséről a burkolat üzemi hőmérsékletének széles tartományában. A viszkoelasztikus tulajdonság két „komponensének” viszonyát szemlélteti az 2. ábra.



2. ábra: A viszkoelasztikus viselkedésben szerepet játszó viszkózus és elasztikus „komponensek” viszonya

Abban az esetben, ha csak viszkózus viselkedés lenne megfigyelhető (G^* -nak nincs elasztikus komponense, egybeesés az ordináta tengellyel), $\delta = 0^\circ$. Ha azonban csak elasztikus viselkedés megfigyelhető (G^* -nak nincs viszkózus komponense, egybeesés az abszcissza tengellyel), $\delta = 90^\circ$. Az ábrán bemutatott két komplex modulus érték (G^*1 és G^*2) azonos nagyságú, és két bitumen viszkoelasztikus tulajdonságait szemléltetik. Az ábra jól szemlélteti, hogy nem elegendő az egyik paraméter a bitumen reológiai tulajdonságainak leírásához, hiszen a két bitumen azonos G^* értékük ellenére különbözik: a 2-es számú nagyobb elasztikus komponenssel rendelkezik, ezáltal kisebb a mért fázisszög értéke. [3.]

DSR mérések végrehajtása

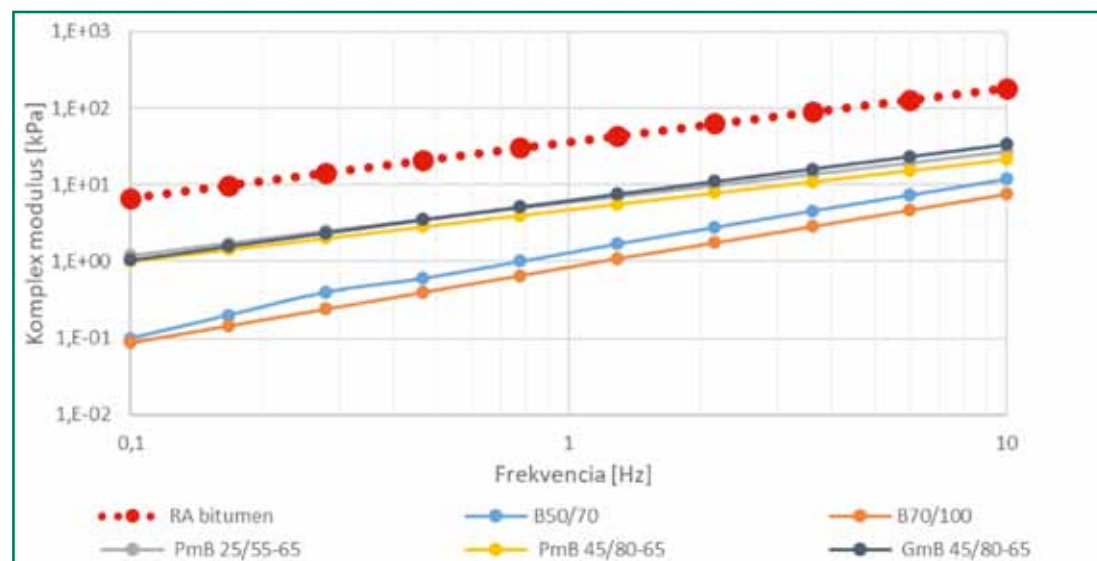
A dinamikus nyíróreométer üzemeltetése viszonylag egyszerű feladat, nem igényel komoly szakmai továbbképzést. A mérés elvégzéséhez megfelelő szilikon sablonnal henger alakú bitumen mintát készítünk, bár bizonyos esetekben a bitumennek közvetlenül a lemezre történő juttatása is megengedett. Attól függően, hogy milyen hőmérsékleten fogunk mérni, és mi a várható komplex modulus érték, 8 vagy 25 mm átmérőjű sablont használunk. Az MSZ EN 14770 szabvány 25 mm mintaátmérőt javasol 1 kPa – 100 kPa merevség mérésekhez (ezt kb. 40-50°C fölött érjük el), 8 mm mintaátmérőt pedig 100 kPa – 10 MPa merevség esetén (kb. 0-50°C). A vizsgálat előnyei közé sorolható, hogy egy mérés elvégzéséhez csak nagyon kis mennyiségű bitumenre van szükség: kb. 0,49 cm³ bitumenre 25 mm-es minta esetén, és kb. 0,1 cm³ bitumenre 8 mm-es minta esetén). Ez előnyt jelent egy penetráció vagy lágyuláspont vizsgálat anyagigényéhez képest, hiszen ezekkel ellentétben a DSR vizsgálat nagyon kis mennyiségű bitumen rendelkezésre állásakor is elvégezhető. Az elkészült mintát a reométer két párhuzamos mérőlemeze közé helyezzük, melyek átmérője megegyezik a minta átmérőjével. A reométer kialakításából adódóan az egyik lemez rögzített, fix kialakítású (jellemzően az alsó lemez), a másik pedig forgatható, az oszcillációs terhelések végrehajtásához. Adott típusú lemezátmérőhöz meghatározott lemeztávolság (rés) is társul. Miután beállítottuk a helyes réstávolságot (25 mm lemez esetén 1,000 mm + 0,025-0,050 mm), a kinyomódó felesleges bitumént el kell távolítani („trimmelés”) egy megfelelő eszköz, pl. fém vagy fa spatula segítségével. A mérés során a minta egy köpeny által fűthető/hűthető térben, szabályozott hőmérsékleten szinuszosan változó alakváltozásnak, ún. oszcillációs nyírásnak van kitéve és a válaszként fellépő feszültséget mérjük. Lehetőség van fordított eljárásra, amikor szinuszos feszültséget keltünk, és az alakváltozást detektáljuk. Érdemes azonban alakváltozás kontrollált méréseket végezni, mivel így garantálhatjuk, hogy az alakváltozás kellően kicsi lesz ahhoz, hogy a bitumént annak lineáris viszkoelasztikus tartományában vizsgáljuk. Ez azért fontos, mert ebben a tartományban az alakváltozás és a feszültség közötti összefüggés lineáris, a bitumen tulajdonságai pedig csak az időtől és a hőmérséklettől függenek, az alakváltozás és a feszültség nagyságától azonban nem. Egy mérés során nagy mennyiségű információt kaphatunk a bitumennél, mivel a dinamikus nyíróreométerrel lehetőség van több hőmérsékleten, számos frekvencián, akár eltérő alakváltozás értékek mellett mérni, azon feltétel betartásával, miszerint egy minta vizsgálata nem haladhatja meg a 6 órát. [4.]

Visszanyert aszfaltok bitumenjének vizsgálata

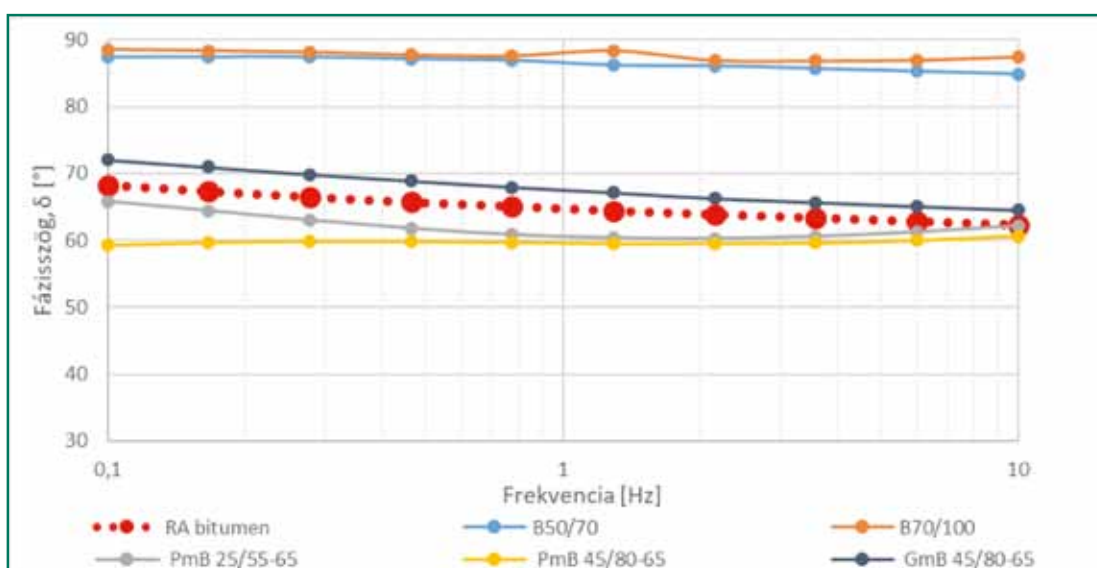
Ahhoz, hogy a visszanyert aszfaltban lévő bitumen tulajdonságait vizsgálni tudjuk szükség van annak elkülönítésére a kőanyagoktól. Ezt az MSZ EN 12697-3:2013+A1:2019 szabványban részletesen leírt módszer szerint, forgó bepárló használatával tudjuk végrehajtani. A szabványban meghatározott eljárás során az aszfalthoz egy általunk választott oldószert öntünk, majd adott idejű rázás és pihentetés után a kapott bitumenes oldatot leszűrjük, így szabadulva meg a 0,063 mm feletti kőanyagoktól. Annak érdekében, hogy az oldatban csak bitumen és a választott oldószert maradjon, az oldatban található finomrészeket átfolyós centrifuga segítségével eltávolítjuk. Ezután a bitumént már csak az oldószertől kell elválasztani. Erre egy rotációs vákuumbepárlót használhatunk, amelyben meghatározott hőmérsékleten és nyomáson elpárolog az oldószert, és megkapjuk a vizsgálatokhoz használható bitumént. [5.]

A visszanyert bitumeneken különféle vizsgálatokat végezhetünk el, ezeknek jellemzően csak a rendelkezésre álló bitumen mennyisége szab határt. Egy mintát megpróbálhatunk osztályozni a jelenlegi előírások szerint, a bitumen lágyuláspont és penetráció értékei alapján, valamint következtetéseket tehetünk az eredeti kategóriájára. Ez egy pár éves aszfaltból visszanyert bitumen esetén még könnyedén megtehető, hiszen ekkor még kisebb mértékű annak öregedése. Egy ismeretlen korú visszanyert bitumen minta esetén azonban nehézkes lehet az eredeti tulajdonságok meghatározása: ha egy visszanyert bitumen lágyuláspontja 82 °C, penetráció értéke pedig 22 0,1 mm, egyéb információ hiányában nem jelenthető ki teljes bizonyossággal, hogy egy több tízéves normál útépitési bitumént tartunk a kezünkben, amely jelentős mértékben előregedett, vagy csak egy pár éves polimerrel modifikált bitumennel van szó. A kérdés eldöntéséhez további vizsgálatokra lenne szükség (pl. a jelenleg is vizsgált tulajdonságok közül alkalmas lehet a rugalmas visszaalakulás vizsgálat), amelyek további nagy mennyiségeket követelnek meg a visszanyert bitumennél.

Az előbb felvázolt problémára a dinamikus nyíróreométer megoldást jelent, ugyanis a készülékkel végzett vizsgálat eredményéből megállapítható nemcsak a bitumen merevsége (3. ábra), de a viszkoelasztikus tulajdonság ismeretében (4. ábra) az esetleges polimerrel történt modifikálás is. A normál útépitési bitumenek nem, vagy csak nagyon kismértékű elasztikus viselkedést mutatnak 60°C-on ($\delta = 84^\circ - 89^\circ$), míg a modifikált bitumeneknél ez a tulajdonság jobban megmutatkozik ($\delta = 57^\circ - 72^\circ$). Ennek tudatában egy ismeretlen származási helyű, eredetű és korú bitumennél is könnyedén megállapítható, hogy tartalmaz-e valamilyen modifikálószer (legyen az polimer vagy gumiörlemény). Ezt mutatja egy RA bitumenen elvégzett vizsgálat is (3. ábra és 4. ábra). A 60°C-on mért komplex modulus értékekből egyértelműen látszik, hogy egy keményebb, merevebb bitumennel van dolgunk, mint amilyenek a friss bitumenek. A fázisszög-frekvencia izotermák azonban azt is megmutatják, hogy a vizsgált bitumen viszkoelasztikus tulajdonságokkal rendelkezik, jól megfigyelhető a modifikálószer hatása.



3. ábra: Ismeretlen RA bitumenjének 60°C-on mért komplex modulus-frekvencia izotermái



4. ábra: Ismeretlen RA bitumenjének 60°C-on mért fázisszög-frekvencia izotermái

Összefoglalás

Ma már egyre nagyobb mennyiségben használunk polimerrel modifikált bitumeneket a magasabb forgalmi terhelési osztályba tartozó utakra tervezett aszfaltok előállításakor. Ebből kifolyólag ezek a bitumenek jelen vannak a különböző utakról származó visszanyert aszfaltokban is. A polimerrel modifikált bitumenek viselkedése jóval összetettebb, mint a normál utépítési bitumeneké. A jelenleg vizsgált tulajdonságok – pl. lágyuláspont, penetráció, rugalmas visszaalakulás – ismeretén túl szükség van a reológiai tulajdonságok feltérképezésére is, annak érdekében, hogy modellezni tudjuk, a visszanyert aszfalt felhasználásával készített új aszfaltkeverékben lévő „bitumenkeverék” megfelel az adott aszfaltkeverék szabvány szerinti követelményeinek. Erre a célra kitűnően alkalmas a dinamikus nyíróreométer, hiszen ezzel olyan vizsgálatok végezhetőek, melyek anyagigénye minimális, és amelyek információt adnak többek között a bitumen merevségéről és viskoelasztikus tulajdonságairól.

Források:

1. Shell (2014). Shell Bitumen Handbook, 6th edition. ICE Publishing
2. Tálos, G. (1981). Adalékok utépítési bitumenek reológiai vizsgálati módszereinek elemzéséhez. Mélyépítéstudományi Szemle, XXXI. évf. 4. szám, pp. 137-143
3. Institute, A. (2011). The asphalt binder handbook, MS-26, 1st edition
4. MSZ EN 14770:2012
5. MSZ EN 12697-3:2013+A1:2019

Rákos állomás koncepcióterve

Weimert Viktor

Okleveles infrastruktúra-
építőmérnök
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem



Előszó

Egyetemi tanulmányaimmal 2020-ban végeztem a BME Építőmérnöki karán, infrastruktúra-építőmérnöki mester szakon. A Fiatal Mérnökök Fórumán megtartott előadásomban „Rákos állomás koncepcióterve” című diplomamunkámat mutattam be. Fontosnak tartom kiemelni, hogy a diplomamunka 2020 tavaszán készült, ugyanis az azóta eltelt másfél évben hatalmas méretű fejlesztések indultak a magyarországi, és budapesti vasútfejlesztés területén. Ezek közül néhány említésképp: létrejött a Budapest Fejlesztési Központ (BFK). Megjelent a Budapesti Agglomerációs Vasúti Stratégia (BAVS). Megépült a harmadik Déli összekötő vasúti híd, és bejelentették a Déli és Nyugati pályaudvart összekötő vasúti alagút megvalósíthatósági tanulmány készítésének megkezdését. Rákos állomás jövőbeli elképzelései a Külső Körvasút projektben jelentek meg, ahol sajnálatomra az állomásnak utasforgalmi szempontból csökkentett szerepet szánunk, és a megszüntetését is vizsgálják. Ennek ellenére hadd mutassam be, én milyen jövőképet képzeltem a vasútállomásnak.

Bevezetés

Rákos vasútállomás Budapest nagyvasúti közlekedésének egyik legfontosabb csomópontja. Forgalmilag elágazó állomás szerepét tölti be, ahol kettévágzik a 80a számú Budapest – Hatvan vasútvonal és a 120a számú Budapest – Újszász – Szolnok vasútvonal. A két kétvágányú vasútvonal jelentős elővárosi, távolsági és teherforgalmat bonyolít le, ami jelenleg is közel maximális kapacitáson zajlik. Az 5 percenként közlekedő vonatok gyakran keresztezik egymás útját, ezért a budapesti szakasz igencsak

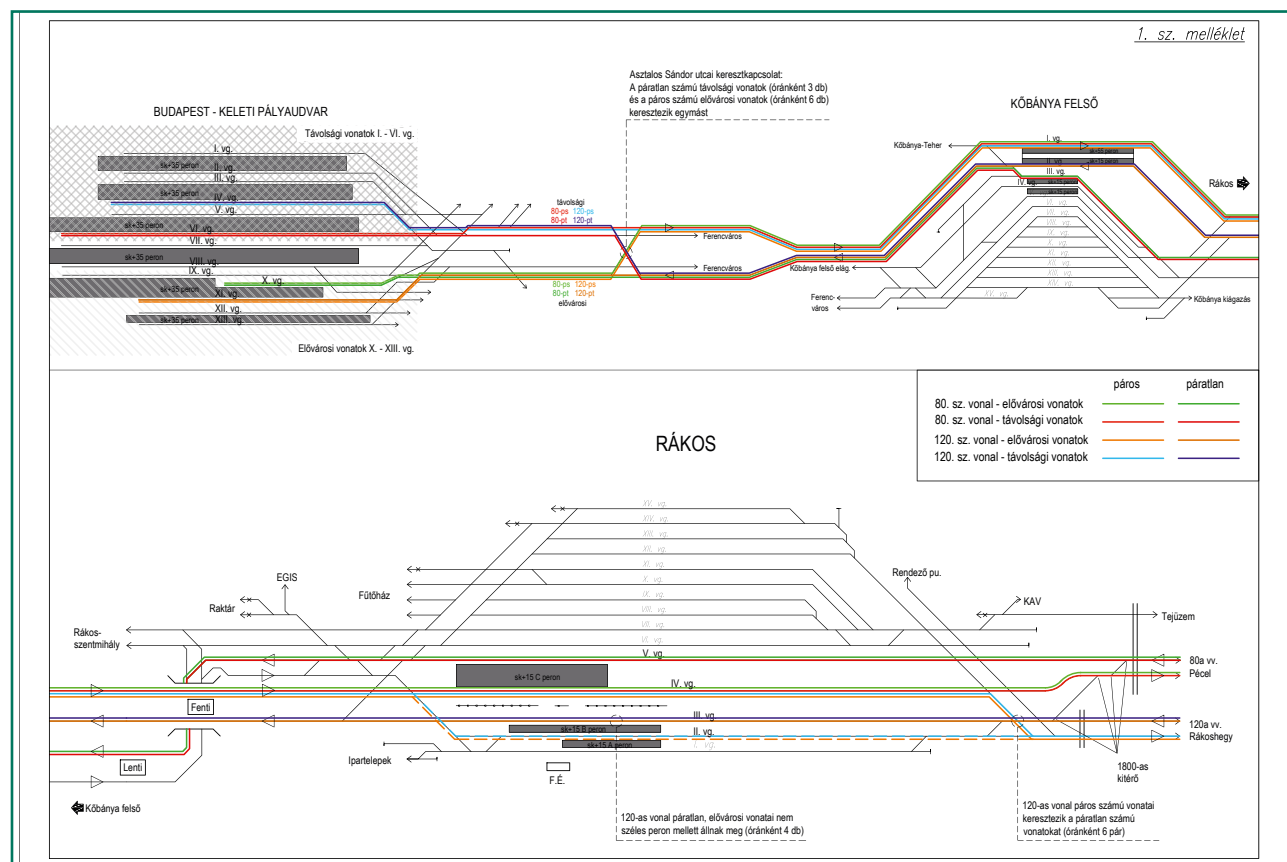
zavarérzékeny, emiatt pedig állandó késések keletkeznek.

Budapest agglomerációjában élők száma az elmúlt években, évtizedekben jelentősen gyarapodott. Ennek következtében a budapesti közutak mára egy átlagos hétköznapon is telítették, a torlódásokban és dugókban vesztéglés nemcsak a városi levegő szennyezettségének növekedésével jár, hanem hatásai gazdasági veszteségekben is kimutathatók. Ahhoz, hogy a városi közlekedés lépést tudjon tartani az elővárosi lakosság növekedésével, színvonalas közösségi közlekedési infrastruktúra kiépítése elengedhetetlen. Ennek érdekében Budapest egyik célja, hogy a nagyvasúti közlekedést is minél jobban a városi és elővárosi közlekedésbe integrálja.

Az utazók igényének kielégítéséhez viszont a jelenleginél is sűrűbb menetrendre lenne szükség, ami Rákos állomás vágányhálózatának átalakítása nélkül nem lehetséges, valamint a létesítmények színvonalának emeléséhez azok korszerűsítése szükséges.

Jelenlegi állapot

Jelenleg Rákos állomásra a kezdőponti oldalon 6 vágány fut be: 4 db Kőbánya-felső irányából, ezek közül két ún. „fenti” és két „lenti” bűjtött vágány, emellett 2 db a Külső Körvasúttal teremt kapcsolatot. A két állomásfej között igen nagy a távolság, ugyanis Rákos állomás azon kevés budapesti vasútállomások egyike, amelyhez még több iparvágány is csatlakozik, és ezek egy része működik is. Ezek az iparvágányok - nagyobb távolságuk miatt - vontatóvágányokon keresztül kapcsolódnak. A rengeteg iparvágány révén Rákos gyakorlatilag rendezőpályaudvarként is funkcionál. A végponti oldalon 2-2 vágány halad Hatvan, illetve Szolnok felé.



Utasszolgálati létesítmények szempontjából Rákóczi nem elégíti ki megfelelően a mai utaskényelmi és biztonsági követelményeket. Az állomás nem akadálymentesített. A II., III., IV., és V. vágány mellett található peron, ezek közül egyik sem magasperon (SK+15 cm), és csak a IV. és V. v. között található megfelelően széles, 6,4 m-es szigetperon. Az utasok a peronokat szintbeli átjárással tudják megközelíteni, ami egy ilyen forgalmas állomáson igen balesetveszélyes.

Helyszínbemjárásom során megfigyeltem, hogy Rákóczi melyik járat melyik vágányra érkezik, és melyik vágánykapcsolatokat használják, majd torz helyszínrajzon ábrázoltam külön kategorizálva az elővárosi és távolsági vonatokat. Ezután megállapítottam a konfliktuspontokat, problémás helyszíneket.

Problémafelvetés, célkitűzés

Mint említettem, Rákóczi állomás közel maximális kapacitáson üzemel. 5 perces ütemes menetrendjében óránként 2 tartalék ütem van, amely valamelyest képes enyhíteni a késések okozta torlódásokat, de a tapasztalatok szerint ez korántsem elegendő a menetrendi stabilitás fenntartásához.

A legnagyobb problémát az okozza, hogy az állomásra be- és kihaladó szerelvények sokszor keresztezik egymást, és ezt általában a kitérők eltérítő ága miatt 40 km/h sebességgel teszik. Az alacsony sebesség, és az állomási váltóköri nagy hossza miatt hosszúak a vágányfoglaltsági idők, és ezért arra kényszerülnek, hogy behaladásnál a bejárat jelzőnél várakozzanak mindaddig, amíg szabaddá nem válik a vágányútjuk. A II. v. mellett széles peron hiányában gyakran előfordul az is, hogy a 120-as vonalról a Szolnok felől érkező vonatokat 40 km/h-s sebességgel történő ki-

térőzéssel az V. vágányra érkeztetik. Amíg behalad, addig a végpontnál blokkolja a 80-as vonalra ki-, és arról való behaladást. Majd amikor ez a vonat kihalad az állomás kezdőpontjánál, ismét kitérőzéssel a fenti jobb vágányra van irányítva, és ezzel pedig blokkolja Kőbánya felső felől behaladó valamennyi vonatot.

A vágányutak mellett a másik probléma a be- és kihaladási sebességek. Nem nagysugarú kitérők eltérítő irányán 40 km/h sebesség megengedett, ami a mostani nagyteljesítményű motorvonatok esetében is jelentős idővesztéssel jár.

A társadalom igényt mutat az elővárosi és regionális közlekedés fejlesztésére, és ehhez egyre több járatra, sűrűbb menetrendre van szükség. Ahhoz, hogy egy távlati menetrendet megfelelően, stabilan (állandó késések nélkül) ki lehessen szolgálni, egymástól független vágányutakat kell a vonatok számára létrehozni, és a vágánykapcsolatok és vágánygeometria újragondolásával menetidő-csökkentést elérni.

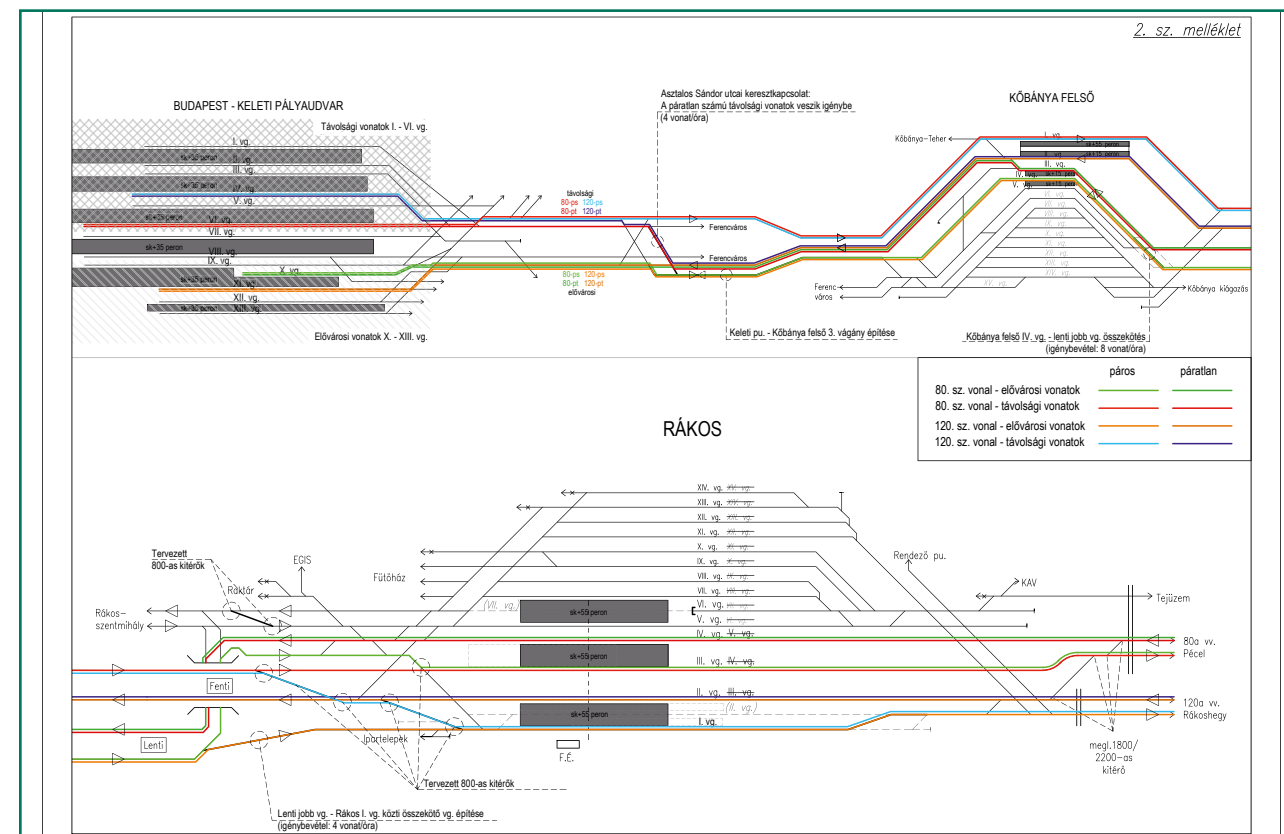
Tervezett kialakítások

Miután feltártam a vágányhálózat mértékadó gyenge pontjait, javaslatot tettem egy jövőbeli forgalomnagyságra, és menetrendre, majd a vonatforgalom közlekedésének lebonyolítására alkalmas vágányhálózati változatokat készítettem.

A változatok forgalmi kialakítását torzított helyszínrajzon szemléltetem, ahol különböző színek jelölik a viszonylat típusát (elővárosi vagy távolsági, 80-as vagy 120-as vonalon közlekedik), és a színek árnyalatai jelölik a viszonylat irányát (páros vagy páratlan számú).

Az első változat fő elképzelése, hogy a rövidesen megépülő Keleti és Kőbánya-felső közti harmadik vágány segítségével térben különválasztottam a Keleti pályaudvarról induló távolsági és elővárosi vonatokat, majd a lenti jobb vágányon érkező vonatokat egy új, kb. 1 km

hosszú összekötő vágány megépítésével független vágányúton haladhatnak tovább a 120-as vonal irányába. Ezen kívül olyan új vágányokat és vágánykapcsolatokat javasoltam, hogy még jobban csökkenjenek a konfliktuspontok.



Ennek eredményeképp az Asztalos Sándor utcai keresztkapcsolaton való áthaladás óránként 9 vonatról 4-re csökkent, illetve csupán a Szolnok irányába menő távolsági vo-

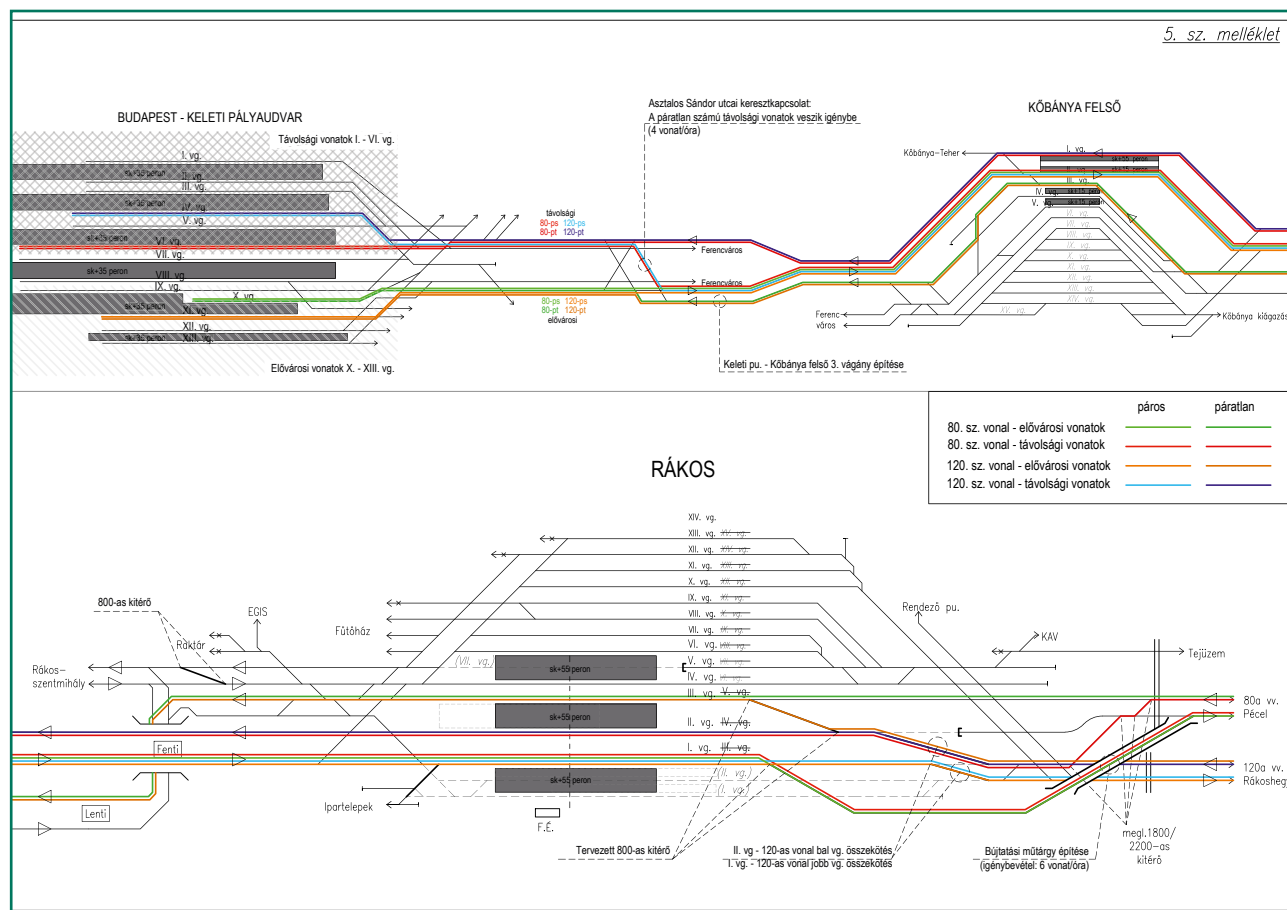
natnak kell kereszteznie a páratlan irányú vonatokat, amit nagysugarú kitérőkön tenne meg a vágányfoglaltsági idő minimalizálása érdekében.

Jelenleg:				
páros \ páratlan	80, elővárosi (2)	80, távolsági (2)	120, elővárosi (4)	120, távolsági (2)
80, elővárosi (2)		X		X
80, távolsági (2)				
120, elővárosi (4)		X	X	X
120, távolsági (2)			X	X
Tervezett állapotban (1. változat):				
páros \ páratlan	80, elővárosi (4)	80, távolsági (2)	120, elővárosi (4)	120, távolsági (2)
80, elővárosi (4)				
80, távolsági (2)				
120, elővárosi (4)				
120, távolsági (2)			X	X

Vonatkeresztelési mátrixok – 1. változat
(X - az egymást keresztező vonat)

A második változat koncepciója azon alapszik, hogy Keleti pályaudvartól a jelenlegi balmenet helyett jobbmenetben közlekedjenek a vonatok, ezáltal kedvezőbb forgalmi rendszer jöjjön létre. Így a Keleti pályaudvarról induló vo-

natok mind egy vágányon haladjanak ki, és Rákos állomás végpontjánál egy új bújratási műtárgy megépítésével, egymással való szintbeli keresztezés nélkül haladjanak tovább az úticél felé.



Ez a változat is jelentősen csökkenti a konfliktuspontokat, az ellenkező irányú vonatok keresztezésének száma nullára csökkent. Azonos irányú vonatok esetében a páratlan számú vonatok esetében fordul elő keresztezés és fonódás, azokat menetrendileg kell összehangolni.

Tervezett 2. változat:

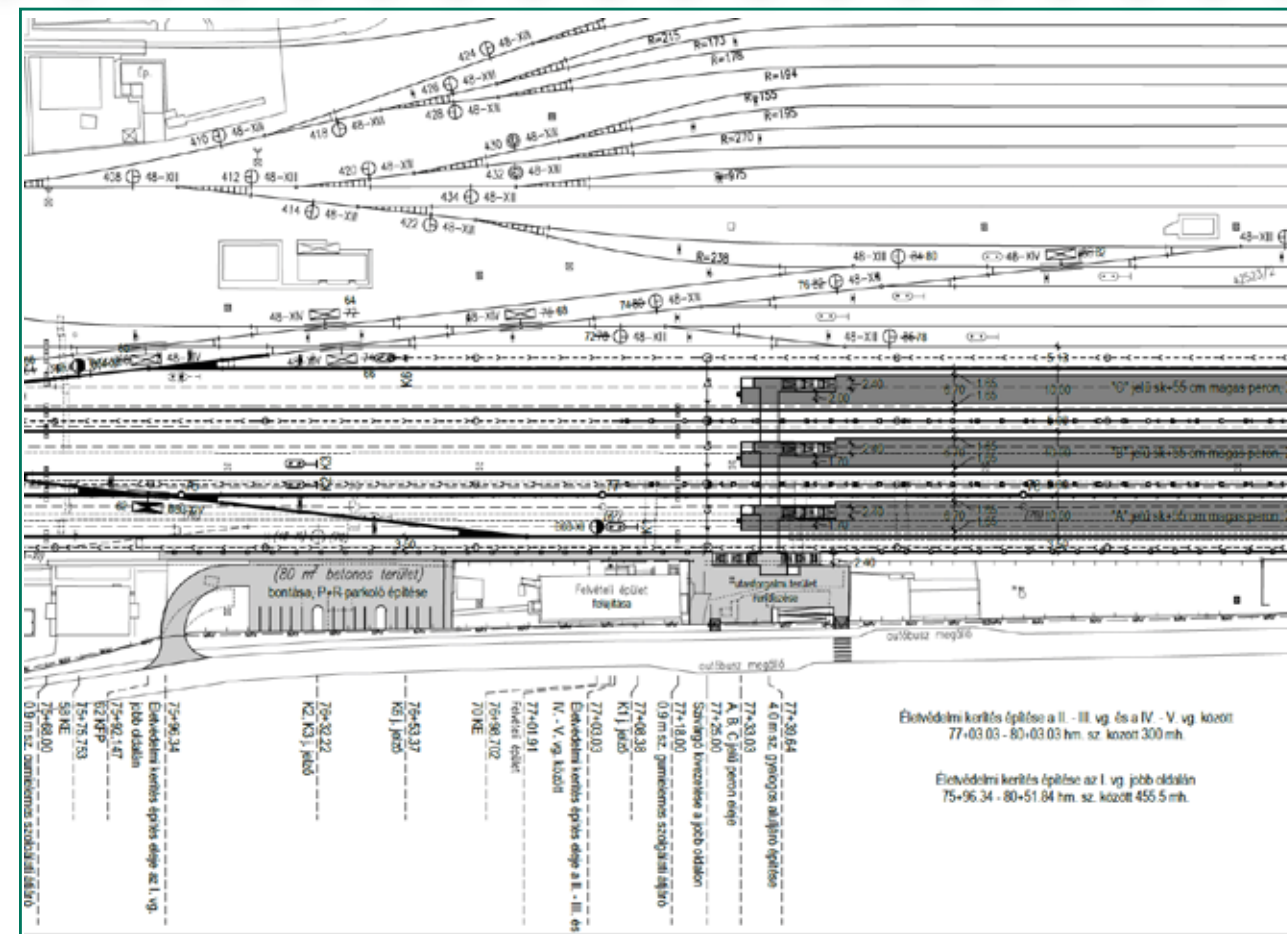
	80, elővárosi (2)	80, távolsági (2)	120, elővárosi (4)	120, távolsági (2)
páratlan				
80, elővárosi (2)				
80, távolsági (2)				
120, elővárosi (4)	fonódás	keresztelés		
120, távolsági (2)		fonódás		

Keresztezések és fonódások Rákos állomáson - 2. változat

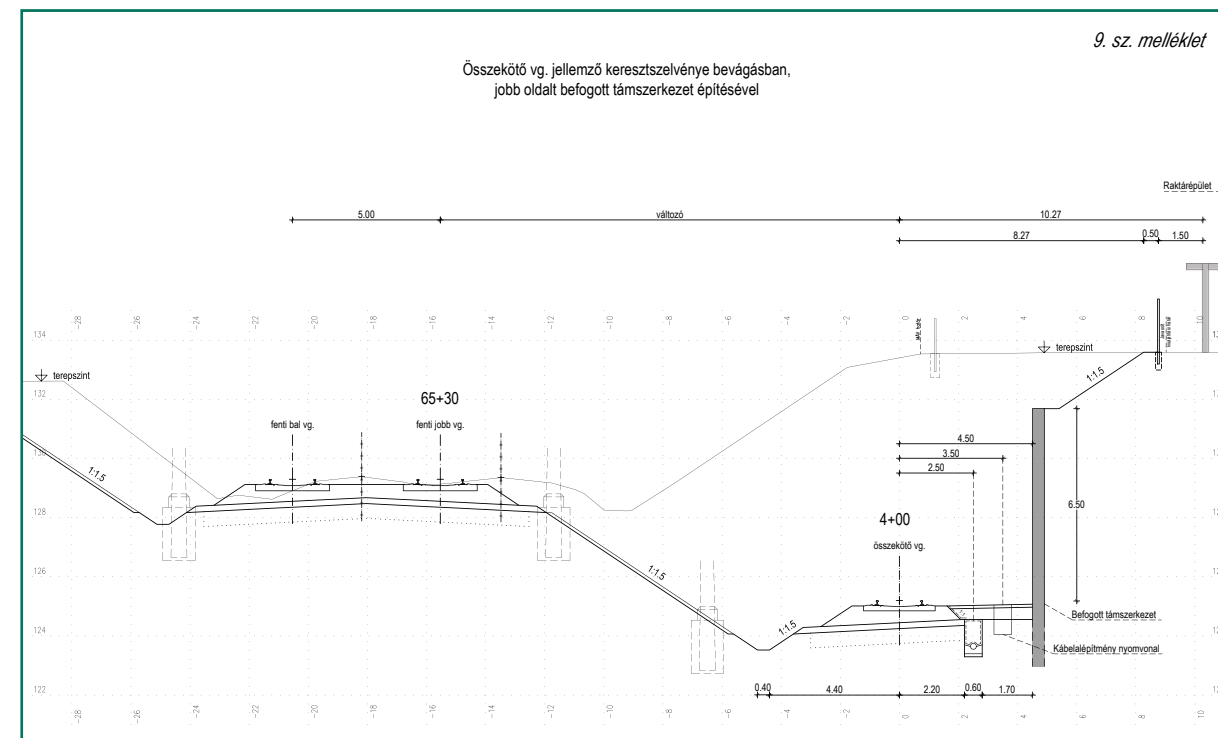
1. változat részletes tervezése

A kétféle koncepcionális vágánykép elkészítése után összevettem a változatokat, és a jobbnak ítélt 1. változatot részletesen kidolgoztam, hogy bemutassam annak megvalósíthatóságát.

Tervezési munkám során Rákos állomás személyvonat fogadó/indító vágányait terveztem át, a tehervonati vágányokhoz a csatlakozást biztosítottam. Az állomás kezdő- és végpontjánál a meglévő hálózathoz csatlakozva megszerkesztettem a vágányok geometriáját a korábban bemutatott vágányképi kialakítás szerint. Elvi szinten megterveztem a vágányok víztelenítését, amit a későbbi tervfázisokban hidraulikai számításokkal kell méretezni. Az állomáson 3 db 200 m hosszú, sk+55cm magas végfeljárós szigetperon kapott helyet, amelyeket gyalogos aluljárón keresztül lehet megközelíteni. Rendezésre került az állomási előtér, és egy kisebb P+R parkoló is kialakítható a jelenlegi rakodó helyén. A tervezett kialakítást 1:1000 méretarányú helyszínrajzokon ábrázoltam.



A legnagyobb kihívást a tervezett „lenti” jobb vg. – I. vg. összekötő vágány hossz-szelvényi tervezése jelentette, ugyanis az új nyomvonalon futó vágánynak jelentős szintkülönbséget kell leküzdenie viszonylag rövid hosszban.



A bevágás tetején lévő raktárépületek működésének biztosítása érdekében pedig egy 6.5 m magas befogott támszerkezet építése szükséges.



Összekötő vg. nyomvonala

Összefoglalás

Diplomamunkám során alkalmam volt Budapest egyik legforgalmasabb vonalszakaszával és állomásával foglalkozni, aminek köszönhetően közelebbről is megismertem a főváros nagyvasúti közlekedését, és annak műszaki kialakítását. Az egyetemi tanulmányaim során is gyakran hangzott a fejpályaudvarok problémájával most először találkoztam testközelből, és úgy gondolom tényleg ez a budapesti nagyvasúti közlekedés egyik olyan hibája, amit nagyon ne-

hezen lehetne megugrani. Ennek ellenére még rengetek ki nem használt potenciál rejlik a nagyvasúti hálózatban, egyes állomások kisebb-nagyobb fejlesztésével is sokat lehetne javítani főleg az elővárosi közlekedésen, és így a közösségi közlekedés fontos elemévé tenni a nagyvasutat is.

Egy ilyen, valós problémán alapuló megoldást nyújtó fejlesztési koncepciót mutattam be dolgozatomban Rákos állomásról, aminek köszönhetően hatalmas mértékben lecsökkenne az egymást keresztező vonatok száma, ezáltal a 80-as és 120-as számú vonal közös szakaszának zavarérzékenysége.

Irodalomjegyzék

- [1] OVSZ – Országos Vasúti Szabályzat (103/2003. (XII.27.) GKM rendelet 4. számú melléklet)
- [2] OKVPSz – Országos Közforgalmú Vasutak Pályatervezési Szabályzata, 1983.
- [3] MÁV Zrt. D. 11. „Vasúti Alépítmény Tervezése, Építése, Karbantartása és Felújítása” c. utasítás
- [4] MÁV Zrt. D. 12/H „Hézag nélküli Felépítmény Építése, Karbantartása és Felügyelete” c. utasítás
- [5] Vasútervezés MSc. egyetemi jegyzet, Dr. Liegner Nándor (2011.)
- [6] HÜSZ 3.3.1.3 sz. melléklet, MÁV Zrt. (2020.)
- [7] Budapesti Vasúti Stratégia (BVS) – Budapest Rail Node Study (BRNS), Első szakcikk (2020.)
- [8] „S-Bahn rendszerű gyorsvasúti közlekedés kialakítása és a Budapesti Elővárosi Vasúthálózat Fejlesztése” c. megvalósíthatósági tanulmány, FÖMTERV-KÖZLEKEDÉS Konzorcium (2009. június)
- [9] MÁV-Start Zrt. honlapja (<https://www.mavcsoport.hu/>, 2020. április)
- [10] Wikipédia: Rákos vasútállomás (2020. március)
- [11] Indóház Online cikkei
<http://iho.hu/hir/a-kobanyai-ocskavasvilag-140509>
<http://iho.hu/hir/bobok-birodalma-a-kobanyai-ereco-iparvagany-170301>
<http://iho.hu/hir/md-vel-tolattak-a-kobanyai-ereco-ocskavastelepen-180110>
<http://iho.hu/hir/uj-vasuti-megallo-epul-budapesten-190620>
<http://iho.hu/hir/kapacitasnoveles-a-keleti-es-kobanya-felso-kozott-190813>
<http://iho.hu/hir/ez-mar-csomopont-vasuti-megallohely-epul-a-7-es-buszcsalad-megalloja-melle-200212>
<http://iho.hu/hir/uj-megallo-a-korvasuton-forgalomban-a-belfoldi-icplusz-ez-tortent-a-heten-a-kozlekedesben-200216>
- [12] „Kőbányai iparvágányok 4.” – Fejes Balázs honlapja
<http://villamosok.hu/balazs/bpvvasut/ipvg/kobanya4/index.html> (2018. október)
- [13] Rákos – vasútállomások.hu (<http://www.vasutallomasok.hu/allomas.php?az=rkos>)
- [14] Alaptérképek: Google maps (<https://www.google.com/maps>)

Az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlama a bitumenek nyíróvizsgálatai alapján

Skronka Gábor

Technológus
HTPA Kft.



1. Áttekintés

Bár elsősorban szigetelőanyagként, de a bitumen az emberi történelem kezdete óta jelen van az építőiparban. Az aszfaltburkolatok máig tartó töretlen sikere az útépítésben azonban csak a személyautók 19. és 20. század fordulóján történő nagymértékű elterjedésének a következménye. A kezdetben főként felszíni forrásokból nyert, ásványi anyagokat és vizet tartalmazó természetes aszfaltot felváltotta a kőolaj-finomítás során előállított mesterséges bitumen. Mivel azonban a kőolaj, így a bitumen is, korlátozott mennyiségben áll a rendelkezésünkre, az újrahasznosítás mellett elengedhetetlen, hogy az utak élettartamának meghosszabbítása érdekében a közlekedés és klimatikus körülményeknek megfelelő tulajdonságokkal rendelkező bitumenek kerüljenek felhasználásra. Ennek előfeltétele, hogy a különböző bitumenek magas, illetve alacsony hőmérsékleti szélsőségek közti viselkedése a lehető legpontosabban meghatározásra kerüljön.

A viszkoelasztikus tulajdonságokkal rendelkező bitumenek hőmérséklettől, terheléstől (nyírófeszültségek) és terhelési frekvenciától (lassú vagy gyors forgalom) függően eltérő teljesítményt nyújtanak az aszfaltburkolatban. A jelenleg Európában érvényben lévő penetráción és lágyulásponton alapuló osztályozási rendszer nem veszi figyelembe a bitumenek különböző terhelés okozta változó viszkoelasztikus tulajdonságait, a hőmérsékletváltozással szembeni érzékenységüket, illetve az életciklusuk folyamán végbemenő reológiai tulajdonságváltozásait. A modifikált bitumenek megjelenésével egyre sürgetőbbé vált egy olyan osztályozási rendszer megalkotása, amely mindezen hiányosságokra választ képes adni. Ennek eredményeként az Egyesült Államokban a Strategic Highway Research Program (SHRP) néven ismertté vált kutatás keretein belül kidolgozásra került a Superpave® (SUPERior PERforming Asphalt PAVement) burkolattervezési rendszer, amely különböző, bitumenekre és aszfaltkeverékekre vonatkozó, teljesítmény alapú előírásokat és vizsgálati módszereket tartalmaz [1,2].

Az új SHRP szabvány a bitumeneket azok fizikai (vagy fundamentális) tulajdonságai alapján különböző teljesítményfokokra osztja (Performance Grade – PG xx-yy, ahol „xx” a bitumen felső, az „yy” pedig az alsó kritikus hőmérsékletét jelöli). Az ilyenformán osztályozott bitumeneknek az aszfaltburkolat beépítésének helyszínén mért klimatikus viszonyok mellett kell megfelelő teljesítményt nyújtaniuk. Más szóval, a bitumeneknek az adott terület alacsony és magas hőmérsékleti szélsőségei közti felhasználhatósági hőmérséklet-tartományban kellő mértékben ellenállónak kell maradniuk mind az alacsony hőmérsékleteknél, mind pedig a magas hőmérsékleteknél jelentkező meghibásodások kialakulásával szemben [2].

Az aszfaltburkolatok magas hőmérséklet és magas forgalmi terhelés hatására kialakuló leggyakoribb meghibásodása a maradó (permanens) alakváltozás, azaz a keréknyomvályú-képződés. Alakváltozás következtében a bitumenek részecskéi közti súrlódás hatására energia elnyelés történik, amely energia a rendszerből hő formájában távozik [3]. Az SHRP kutatás során ezt az elnyelt energiát hozták összefüggésbe a maradó deformáció kialakulásával, ezáltal az aszfaltok keréknyomvályúképződésre való hajlamával. Az elnyelt energia maximális értékét a $|G^*|/\sin\delta$ paraméter minimális értékének megszabásával határozták meg, amely paraméterben $|G^*|$ a komplex nyírási modulus abszolút értéke (nagysága), δ pedig a deformáció és feszültség közötti fáziseltolódás (fázisszög). Emelkedő hőmérséklet mellett a bitumen lágyulásával párhuzamosan csökken annak viszkozitása, illetve nyírási modulusa, ezáltal a $|G^*|/\sin\delta$ paraméter értéke is csökkenő tendenciát mutat (növekszik az elnyelt energia mennyisége).

A bitumen fizikai (fundamentális) tulajdonságainak meghatározása dinamikus nyíróreométer (Dynamic Shear Rheometer, DSR) segítségével történik, ahol a

25 mm átmérőjű párhuzamos sík lapgeometria közé helyezett 1 mm vastagságú bitumen mintát ~1,59 Hz (10 rad/s) dinamikus terhelés éri, amely vizsgálati frekvencia egy 100 km/h sebességgel haladó nehézgépjármű-tengelei terhelési frekvenciájának feleltethető meg [4].

Az SHRP Superpave® szabványok $|G^*|/\sin\delta$ paraméter minimális értéke eredeti bitumen esetén 1,0 kPa, míg RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) öregített (oxidált) bitumen esetén 2,2 kPa került meghatározásra [5]. A kutatás szerint az így meghatározott kritikus hőmérséklet felett a bitumenek már túlzottan hajlamosak a keréknyomképződésre. Az RTFOT vizsgálat [4,5] a magas hőfokon oxigén jelenlétében történő aszfaltkeverés folyamatát és annak a bitumenek tulajdonságaira tett hatását kívánja laboratóriumi körülmények között szimulálni. A szabvány ezáltal próbálja garantálni, hogy a bitumenek – magas hőmérsékleti – fizikai tulajdonságai szerinti osztályozása elsősorban a beépítés után az aszfaltburkolatban lévő bitumenek várható tulajdonságai szerint történjen.

A $|G^*|/\sin\delta$ paraméter minimális értéke szerint meghatározott kritikus hőmérséklet mellett a bitumen várhatóan még kellően ellenálló a keréknyomképződéssel szemben. Azonban ez az érték keveset árul el az aszfaltburkolatokat érő változó forgalmi terhelés bitumenekre gyakorolt hatásáról, illetve azok keréknyomképződéssel szembeni ellenállásáról a megnövekedett forgalmi terhelés figyelembevételével. Az adott forgalmi terhelésnek és klimatikus viszonyoknak megfelelő bitumenek kiválasztása a gyakorlatban sokáig úgy oldották, hogy ahol pl. PG 58-yy fokozatú bitumen felhasználása lenne indokolt, az emelkedett forgalmi terhelés miatt keményebb (PG 64-yy, PG 70-yy) bitumeneket alkalmaztak. Ez azonban mind gazdasági, mint pedig technológiai szempontból előnytelen volt, ugyanis a magasabb PG teljesítményfokozatú bitumenek azon túl, hogy indokolatlanul magas anyagi terheket jelentettek a kivitelezők számára, adott klimatikus körülmények között túl „keménynek” is számítottak, ezáltal rontva az azokból készült aszfalt alacsony hőmérsékleti tulajdonságait. Továbbá ez a módszer képtelennek bizonyult a modifikált bitumenek rugalmas teljesítményjavulásának figyelembevételére [1].

Adott hőmérsékleten a bitumenekre ható feszültség és alakváltozás nagyságától, illetve a terhelés sebességétől (frekvencia) függően lehet azok viskoelasztikus viselkedése egyaránt lineáris vagy nemlineáris. Lineáris viskoelasztikus tartományban (LVE-tartomány) a feszültség és alakváltozás nagyságának egymáshoz viszonyított aránya állandó. A bitumenek paramétereinek meghatározásakor a szakma legtöbbször arra törekszik, hogy a mérések ezen lineáris viskoelasztikus tartományon belül kerüljenek elvégzésre.

Több kutatás azonban rámutatott, hogy nyomvályú képződés közben az aszfaltburkolatokban lévő bitumen-filmet érő nyírási feszültség és alakváltozás nagyságrenddel túllépi az LVE-tartomány kereteit (a közetek elfordulása és egymáshoz viszonyított elmozdulása átlagosan 7,8-szorosa és legfeljebb 510-szerese a keverék teljes alakváltozásának), ami viszont azt eredményezi, hogy a mérések folyamán alkalmazott feszültségek/alakváltozások a valóságtól nagymértékben eltérő anyagviselkedést generálnak a vizsgált mintákban [6,7]. Ez modifikált bitumenek esetén hatványozottan igaznak bizonyult, mivel a modifikálószer a bitumenek feszültségre adott reakcióját jelentősen módosítja.

Mivel az SHRP kutatásokban meghatározott teljesítményalapú követelmények elsősorban útépítési bitumeneken lineáris viskoelasztikus tartományban végzett mérésein alapulnak, a bitumenek keréknyomképződéssel szembeni ellenállásának $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint való kifejezése felülvizsgálatra szorult [4]. Ennek eredményeként került kifejlesztésre az LVE-tartományon túli feszültséget is alkalmazó több feszültséglépcsős kúszás-visszaalakulási vizsgálati módszer (Multiple Stress Creep Recovery Test, MSCRT) [8,9], amellyel a modifikált bitumenek megnövekedett rugalmasságát és az ebből következő keréknyomképződéssel szembeni megnövekedett ellenállását próbálták kifejezni [10].

A dinamikus nyírásvizsgálatokhoz hasonlóan, az MSCRT vizsgálat is DSR reométerben, szintén párhuzamos sík lapgeometria között, történik, azonban míg a dinamikus nyírásvizsgálatok során alkalmazott terhelés szinuszos, addig a több feszültséglépcsős kúszás-visszaalakulási vizsgálat során a mintákat impulzusszerű konstans, azonos irányba ható feszültség éri, amit egy terhelés mentes visszaalakulási fázis követ. Ez a fajta terhelés az utakon tapasztalható, a kerekek által kiváltott szintén impulzusszerű terhelést hivatott laboratóriumi körülmények között szimulálni.

A vizsgálati módszer két nyírófeszültség használatát írja elő (0,1 kPa és 3,2 kPa), melyek közül a nagyobb feszültség a legtöbb bitumen esetében az LVE-tartományon kívül esik. Egy nyírófeszültség mellett tíz ciklus kerül elvégzésre. A módszer megalkotói szerint az MSCRT vizsgálat nem tesz különbséget a különböző bitumenek között (különböző polimerek, adalékanyagok és technológiák segítségével modifikált bitumenek, illetve útépítési bitumenek), csakis azok magas hőmérsékleti teljesítményét fejezi ki.

Több kutatás is összefüggést mutatott a bitumenek MSCRT módszer alapján, 3,2 kPa nyírófeszültség mellett meghatározott maradék kúszásérzékenysége (*Jnr*) és az aszfaltkeverékek keréknyomvályú képződése között [11–13]. Mások azonban arról számoltak be, hogy a magasabb nyírófeszültségek mellett mért *Jnr* sikeresebben képes az aszfaltkeverékek keréknyomvályúképződési hajlamát előrejelteni [13–16]. Amennyiben az utóbbi igaznak bizonyul, az arra enged következtetni, hogy a ma érvényben lévő amerikai szabványban, illetve az európai szabványtervezetben a *Jnr* paraméter meghatározására előírt 3,2 kPa nyírófeszültség az aszfaltburkolatokban jelen lévő feszültségekhez képest alacsonyabb, így az nem képes, vagy csak részben képes a bitumenek aszfaltrétegekben történő viselkedésének szimulálására.

Jelen tanulmány 13 különböző (1 útépítési, 12 modifikált) bitumen mintán mért MSCRT eredmények vizsgálatával próbál ezekre a kérdésekre választ adni. Az MSCRT vizsgálatok a szabványban meghatározott 0,1 kPa és 3,2 kPa nyírófeszültségen túl 6,4 kPa, 12,8 kPa és 25,6 kPa alkalmazása mellett voltak kivitelezve 50 °C és 60 °C vizsgálati hőmérsékleten. A *Jnr* eredményeken túl, egyéb, kisebb módosításokkal az MSCRT vizsgálat eredményeiből kinyerhető paraméterek is kiértékelésre kerültek, amelyekkel a bitumenek rugalmasságának és alakváltozással szembeni ellenállásának nyomvályúsodási hajlamra gyakorolt hatását kívántam meghatározni. A 13 különböző bitumenből előállított aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlama laboratóriumi keréknyomképződés vizsgálat (Wheel Tracking Test, WTT) lettek meghatározva.

2. Felhasznált alapanyagok és mérési módszerek

A mérésekhez szükséges anyagokat és mérőeszközöket a kanadai University of Calgary aszfalt laboratóriuma biztosította számomra, ahol a mérések is végeztem.

2.1 Alapanyagok

A vizsgált összesen 13 bitumen közül az egyik egy 80/100-as penetrációjú útépítési bitumen, melynek $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint meghatározott kritikus hőmérséklete 64,8 °C volt. A maradék 12 bitumen, különböző modifikálószer segítségével előállított modifikált bitumenek voltak, amelyek előállításához két vákuum maradékot használtam fel: egy 200/300-as és egy 300/400-as penetrációjú alap bitumen (mind a kanadai Husky Energy Inc. kereskedelmi forgalomban beszerezhető terméke).

A két lágyabb vákuum maradék reológiai tulajdonságainak módosítására különböző modifikálószer és azok kombinációját alkalmaztam. Az egyik ilyen modifikálószer az útépítési bitumenek polimerei közül leggyakrabban alkalmazott elasztomer, a lineáris sztirol-butadién-sztirol (SBS) blokk kopolimer volt, pontosabban a Kraton D1101 márkanevű elasztomer, 31 tömeg % sztirol tartalommal. A stabil rugalmas polimer hálózat kialakítása céljából, néhány bitumen esetében az SBS modifikálószer kis mennyiségű kén hozzáadásával vulkanizálásra került. Az ily módon modifikált bitumenek kiemelkedő elasztikus tulajdonságokkal jellemezhetők [17,18].

Kanadában a polimer modifikált bitumenek hideg oldali viselkedésének javítása céljából, az előállításukhoz használt alapbitumeneket könnyebb frakciók hozzáadásával lágyítják [19]. Ezért az egyik vizsgált bitumen esetében a polimer hozzáadása előtt az alapbitumenbe dízelgázolajat (Vacuum Gas Oil, VGO) adagoltam. Ezáltal létrehozva egy, még a 300/400-as penetrációjú vákuum maradéknál is lágyabb alapbitument, amit SBS-sel modifikáltam, majd kis mennyiségű kénnel vulkanizáltam.

További alkalmazott polimer modifikáló szerek közé tartoztak az Elvaloy™ márkaneven forgalomba kerülő reaktív etilén terpolimer (RET) két fajtája, melyek különböző folyási mutatószámokkal (Melt Flow Index, MFI) és reaktivitással rendelkeztek. Ezen polimerek felhasználásával előállított modifikált bitumenek legnagyobb előnye, hogy jelentősen javítják a bitumenek magas hőmérsékleti teljesítményét, ezen felül pedig a tárolási stabilitásuk is kiváló, mivel feltehetőleg kémiai kötések alakítanak ki a bitumenben lévő aszfalténnel [17,20]. A vizsgálatban használt magasabb folyási mutatószámmal és reaktivitással rendelkező polimer RET(EP) jelölést kapott.

Több bitumen modifikálására önmagában, vagy a gyártó ajánlásával összhangban, az Elvaloy™ polimereket kiegészítve, Innoval™ N400 polifoszforavat (PPA) adagoltam, amely jellemzően a bitumen aszfalten csoportjára fejt ki szolvatációs hatást, megnövelve ezzel a bitumenek viskozitását [21].

Két bitumen esetében harmadik modifikálószerként, a bitumenek modifikálása szempontjából egyre népszerűbb, gumiőrlemény (Crumb Rubber Modifier, CRM) került felhasználásra. A meleg őrléssel előállított, finom szemcseméretű gumiőrleményt nedves eljárással kevertem az alapbitumennel össze. A gumiőrlemény megfelelő alkalmazásával javulás érhető el a bitumenek hideg, illetve meleg oldali viselkedése tekintetében egyaránt [22,23].

Megjegyezném, hogy a modifikált bitumenek előállításakor a fő célom a bitumenek $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint meghatározott kritikus hőmérsékletének 64 °C körüli értékre való beállítása volt és nem az ehhez felhasznált polimerek hatékonyságának összehasonlítása.

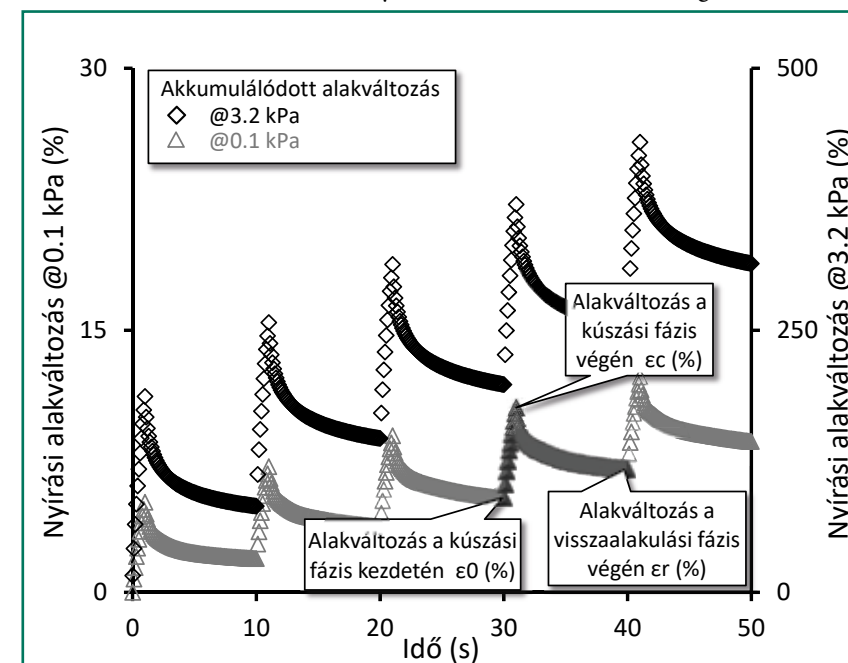
2.2 Mérési módszerek

A már említett SHRP fundamentális jellemzőin túl, a magyar szabványoknak megfelelően, a bitumenek két legfőbb empirikus tulajdonságát (penetráció, gyűrűs-golyós lágyuláspont) is meghatároztam.

A bitumenek SHRP Superpave® szerinti magas hőmérsékleti teljesítménye Kinexus Pro+ reométer segítségével az AASHTO T350 szabványnak megfelelően egy 25 mm átmérőjű 1 mm magas (lap-lap geometria részköze) mérőtesten lett meghatározva.

Az MSCRT több feszültséglépcsős kúszás-visszaalakulási vizsgálat során a mintát 1 másodpercig impulzusszerű konstans, azonos irányba ható feszültség éri, amit egy 9 másodperces visszaalakulási fázis követ, amikor is a minta, annak elasztikus tulajdonsága révén, képes a felterhelési szakaszban létrejövő alakváltozás bizonyos hányadának rugalmas visszaalakítására. A visszaalakulási fázisban a mintát semmilyen terhelés nem éri, a lapgeometria pedig szabadon engedi a minta visszaalakulását. Az alacsonyabb, 0,1 kPa nyírási feszültség mellett elvégzett tíz ciklust további tíz, – terhelési szünet nélkül – 3,2 kPa nyírófeszültség alkalmazása mellett elvégzett ciklus követ. Az 1. ábra öt egymást követő ciklus alakváltozásának alakulását szemlélteti.

A szabvány szerint a 3,2 kPa feszültség mellett futta-



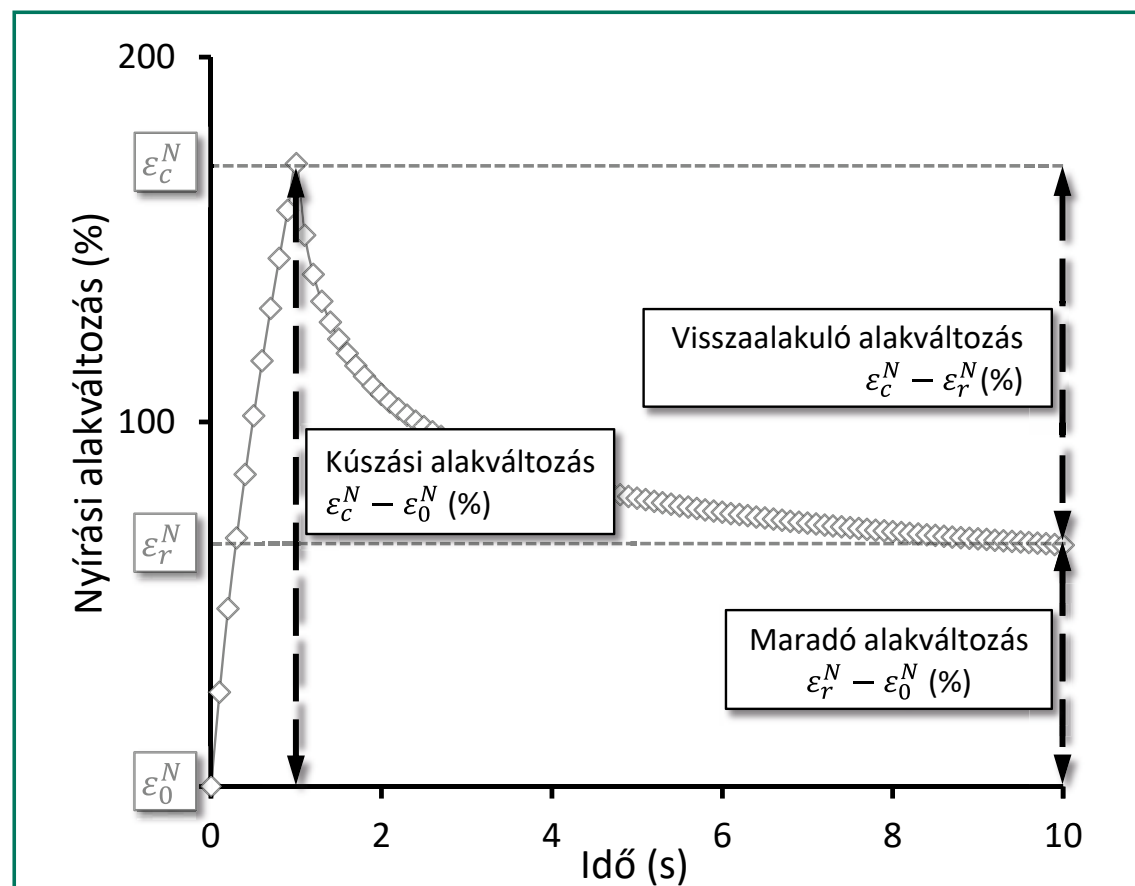
1. ábra Az MSCRT vizsgálat tipikus 5 ciklusa különböző nyírófeszültségek mellett

tott ciklusok végén mérhető maradó alakváltozás átlagát alapul véve következtethetünk a bitumenből előállított aszfaltok nyomvályúsodási hajlamára. Minél kisebb a ciklusok végén mért maradó alakváltozás átlaga, annál nagyobb a bitumen ismételt terhelések hatására kialakuló keréknyomképződéssel szembeni ellenállása. Eszerint ugyanaz az eredmény elérhető lágyabb, de rugalmas bitumenekkel (polimer modifikált bitumenek), mint ami viszkózusabb (keményebb) útépitési bitumenekkel, amelyeket eleve nehezebben deformálni.

Az MSCRT mérés folyamán a keletkező nyírási alakváltozáson túl a kezelőprogram még az időt és a nyírófeszültséget rögzíti. Egy MSCRT ciklust jellemzően három fő fordulópont jellemzi, nevezetesen: alakváltozás a kúszási fázis kezdetén (ε_0), alakváltozás a kúszási fázis végén (ε_c) és alakváltozás a visszaalakulási fázis végén (ε_r). A maradó kúszásérzékenység, $J_{nr}(\sigma, N)$, értékét az N-edik tetszőleges ciklus esetén, a maradó alakváltozás és az alkalmazott nyírófeszültség (σ , kPa) felhasználásával, az 1. egyenlet szerint kell kiszámítani.

$$J_{nr}(\sigma, N) = \frac{\varepsilon_r^N - \varepsilon_0^N}{\sigma} \quad (1)$$

Lineáris anyagviselkedés esetén a nyírófeszültséggel történő normalizálás után mindkét 10 ciklusú feszültség-lépcső eredményének azonosnak kéne lennie. Ez azonban a legtöbb, főleg polimer modifikált bitumen esetén nem teljesül az MSCRT szabvány szerint előírt nyírófeszültségek mellett, jelezvén, hogy a mérések az LVE-tartományon kívül történnek.



2.ábra: Egy MSCRT ciklus folyamán végbemenő nyírási alakváltozások

Bitumenfajtától függően lényeges különbségek lehetnek az egyes nyírófeszültségek mellett mért J_{nr} értékek között. Két különböző nyírófeszültség mellett mért J_{nr} érték változás sokat elárul a bitumenek feszültségérzékenységéről, ami fontos lehet például magas nehézgépjármű-forgalom esetén. A bitumenek feszültségérzékenységét az MSCRT vizsgálat a $J_{nr,diff}$ értékkel fejezi ki, melynek értéke az amerikai keretszabvány szerint nem lehet magasabb, mint maximum 75 % [24].

A tanulmány célja a különféle módon modifikált, közel azonos Superpave® $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerinti magas hőmérsékleti teljesítménnyel rendelkező, különböző módon modifikált bitumenek, a szabványtól eltérően magasabb nyírófeszültségek mellett is meghatározott MSCRT eredményinek összevetése a belőlük készült aszfaltok nyomvályúsodási hajlamával. Ezzel kívántam választ találni arra a kérdésre, hogy vajon magasabb MSCRT nyírófeszültségek alkalmazásával sikeresebben lehet-e szimulálni az aszfaltretek bitumenfilmjeit érő terheléseket, ezáltal pontosabban megjósolni az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamát.

Ezért a két szabvány szerinti nyírófeszültségen túl – 0,1 kPa és 3,2 kPa – három további feszültség-lépcső is alkalmazásra került: 6,4 kPa, 12,8 kPa és 25,6 kPa. Ezt követően az egyes feszültség-lépcsőknél kapott átlag J_{nr} eredményeket összehasonlítottam az aszfaltkeverékek keréknyomképződés vizsgálattal (WTT) meghatározott nyomvályúsodási hajlamával.

Amint az a 2. ábrán megfigyelhető, az MSCRT ciklus mindkét fázisa alapvetően eltérő anyagjellemzőket rögzít. A kúszási fázis során, amikor a minta konstans nyírófeszültséggel terhelt, a keletkező alakváltozás túlnyomórészt

a kötőanyag konzisztenciájától függ. A visszaalakulási fázis során bekövetkező alakváltozás elsősorban a bitumen rugalmasságának nagyságától függ.

A bitumen alakváltozással szembeni ellenállását az MSCRT keretein belül a legegyszerűbben a kúszási fázis folyamán kialakuló kúszási alakváltozás segítségével lehet kifejezni ($\varepsilon_c^N - \varepsilon_0^N$), míg a bitumen rugalmasságát a visszaalakulási fázis során visszaalakuló alakváltozás segítségével ($\varepsilon_c^N - \varepsilon_r^N$).

Az 1. egyenletben szereplő maradó kúszásérzékenység (J_{nr}) kiszámításához hasonlóan, a kúszási alakváltozást az alkalmazott feszültséggel elosztva (normalizálás) megkapjuk a késleltetett kúszásérzékenységet (J_c), a visszaalakuló alakváltozást elosztva pedig a rugalmas kúszásérzékenységet (J_{rec}).

Az MSCRT vizsgálat fő hozadéka, hogy egyszerre képes a bitumen minták alakváltozással szembeni ellenállását (felterhelési szakasz) és főként a polimer modifikálással nyert rugalmasságát (visszaalakulási szakasz) kifejezni. Felmerül azonban a kérdés, hogy mi van nagyobb befolyással az aszfaltretek keréknyomképződéssel szembeni ellenállására: a bitumenek feszültségekkel szembeni ellenállása, vagy az MSCRT metódus által látszólag túlsúlyozott rugalmassága. Vajon lehetséges-e az aszfaltban lévő közet szemcsék elfordulása és elmozdulása után azok eredeti helyének és helyzetének olyan arányú visszanyerése, mint azt az MSCRT metódus szerint, ahol a bitumen mintá visszaalakulását semmi külső erő nem gátolja, feltételezni lehet?

Annak meghatározására, hogy a bitumenek egyes anyagtulajdonságai (alakváltozással szembeni ellenállás, rugalmasság) milyen hatással lehetnek az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamára, a WTT vizsgálat nyommérés eredményeit összevettem a bitumenek MSCRT mérési eredményeiből nyert, az egyes anyagtulajdonságoknak megfelelő kúszásérzékenységekkel (J_{nr} , J_c , J_{rec}).

Az MSCRT vizsgálatot minden esetben RTFOT öregített bitumeneken végeztem. Hasonlóan az szabvány szerint meghatározott vizsgálati metódushoz, a bitumen mintákat az első 0,1 kPa mellett végzett feszültség-lépcső (tíz kúszás-visszaalakulási ciklus) befejeztével szünet nélkül egy magasabb nyírófeszültség (3,2 kPa, 6,4 kPa, 12,8 kPa vagy 25,6 kPa) mellett végzett feszültség-lépcső követte. Ennek eredményeként az MSCRT vizsgálat legalább négy új bitumenmintán lett elvégezve, ami bitumenenként és vizsgálati hőmérsékletenként a következő feszültségkombinációkat eredményezte: 0,1 kPa és 3,2 kPa; 0,1 kPa és 6,4 kPa; 0,1 kPa és 12,8 kPa; 0,1 kPa és 25,6 kPa.

Míg az Egyesült Államokban hatályban lévő keretszabványok szerint [24] az MSCRT vizsgálatot az RTFOT öregített bitumenek $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint meghatározott kritikus hőmérsékleténél kell meghatározni, addig a jelenleg kidolgozás alatt álló európai szabványtervezet [25] a 60 °C vizsgálati hőmérsékletet írja elő.

A jelen tanulmányban vizsgált bitumenek $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint meghatározott kritikus hőmérséklete ~64 °C volt. Annak biztosítása érdekében, hogy az egyik vizsgálati hőmérséklet az AASHTO szabványoknak megfelelően bitumenek kritikus hőmérsékletéhez a lehető legközelebb essen, de azt az egyik bitumen esetében se haladja meg, a 60 °C vizsgálati hőmérsékletre esett a választásom. Ezen vizsgálati hőmérsékleten kívül még egy, a bitumenek kriti-

kus hőmérsékletétől nagyjából két PG teljesítményfokozattal (megj.: egy PG fokozat = 6 °C) alacsonyabb, 50 °C hőmérséklet került kiválasztásra. Mivel a bitumenek kritikus hőmérsékleténél magasabb hőmérsékletek és magas nyírófeszültségek mellett végzett MSCRT vizsgálatok a bitumen minta részleges vagy teljes károsodását okozhatja, a vizsgált bitumenek esetében 60 °C-nál magasabb hőmérsékletek alkalmazása nem célszerű [26]. Továbbá egy 46 laboratórium bevonásával végzett körvizsgálat alapján, a mérések ismételtetősége a vizsgálati hőmérséklet növelésével csökkenő tendenciát mutatnak [11]. Ugyanezen vizsgálat azonban 60 °C vizsgálati hőmérséklet esetén a szabvány szerinti 3,2 kPa-nál magasabb nyírófeszültségek mellett is megfelelő ismételtetőséget mutatott.

2.3 Aszfaltkeverékek előállítása

Az aszfaltkeverékek előállításánál ügyeltem arra, hogy azok kőanyag-halmaz, térfogat-összetétele, előállítási metódusa és kötőanyag-tartalma amennyire lehet azonos legyen. Ezzel biztosítva, hogy az aszfaltkeverékek közötti egyedüli különbség a kötőanyagaik fajtája legyen. Így elmondható volt, hogy a bitumenek és az azokat tartalmazó aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlama közti összefüggést az SHRP módszerek közül egyedül az MSCRT vizsgálat volt képes kimutatni, lévén, hogy a bitumenek közel azonos PG teljesítményfokozattal rendelkeztek.

Az aszfaltkeverékek előállításához használt kőanyag halmaz a Lafarge North America Inc. (Calgary, Alberta) által gyártott öt különböző kőanyag-halmazból lett előállítva, melyek névleges szemmagyságuk szerinti megnevezése: 16 mm (10/16), 12,5 mm (5/12), 5 mm (2/8), gyártott finomszemcsék (manufactured fines, MF – 0/5) és mosott finomszemcsék (washed MF – 0/5). A kőanyagkeverék további adalékanyagot nem tartalmazott. A kutatási keveréktípus a Kanadában alap-, kötő- és kopórétegbe egyaránt beépíthető 12,5 mm névleges szemmagyságú „sűrű fokozatú” (ún. dense-graded) AASHTO M323 szabvány szerinti szemmegoszlással készült. Magyar viszonylatban az így előállított kőanyagkeverék szemmegoszlása az e-UT 05.02.11:2018 előírás szerinti AC 16 kötő aszfaltbeton kőanyagkeverékének szemmegoszlásával hasonlítható össze.

A kutatási aszfaltkeverékek kötőanyag-tartalma egységesen 5,9 tömeg % volt, előállítási módjuk pedig az AASHTO R30 keverékkondicionálási metódus alapján történt, ami magába foglalja az aszfaltkeverék négy óra hosszú tartó, 135 °C hőmérsékleten tartását, illetve annak óránkénti átkeverését. Ezzel a módszerrel az aszfaltkeverék beépítésig tartó magas hőmérséklet és oxigén hatására történő öregedését kívánják szimulálni.

A különböző bitumenek felhasználásával előállított aszfaltkeverékekből szegmenshenger tömörítővel legalább két darab 320 mm x 260 mm x 50 mm méretű próbatest készült, melyek nyomvályúsodási hajlamát 60 °C vizsgálati hőmérsékleten az EN 12697-22:2003+A1:2008 vizsgálati módszer (kiskerekű berendezés, kerékgumi, 200 mm külső átmérő, levegőn, 10 000 ciklus) szerint végeztem és a nyommérés értékét (RDAIR) határoztam meg. A keréknyomképződés vizsgálatnál használt 60 °C vizsgálati hőmérsékletre elsősorban azért esett a választásom, mert ezzel lehetett garantálni, hogy az aszfaltkeverékekben lévő bitumenek teljesítménye azok $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint meghatározott kritikus hőmérsékletéhez (~64 °C) közeli, de azt meg nem haladó hőmérséklet mellett legyenek vizsgálva.

3. Mérési eredmények

A cél, hogy az RTFOT öregített kötőanyagok hasonló $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint meghatározott kritikus hőmérséklettel rendelkezzenek (PG64-yy), legfeljebb 3 °C-os eltéréssel megvalósult (min. 62,9 °C, max. 66,9 °C).

A bitumenek kiválasztott empirikus (penetráció, gyűrűs-golyós lágyuláspont) és fundamentális tulajdonságainak vizsgálati eredményeit (kritikus hőmérséklet RTFOT öregítés előtt és után) az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat A bitumenek penetrációja, gyűrűs-golyós lágyuláspontja és kritikus hőmérséklet eredményei

Alap-bitumen	Modifikálószer rövidítése	Penetráció 25°C (dmm)	Lágyulás-pont (°C)	Kritikus hőmérséklet (°C)	RTFOT Krit, hőmérséklet (°C)
80/100	–	91	46,5	64,8	64,8
200/300	RET+PPA	149	51,9	65,5	65,9
	SBS+S	146	55,3	65,6	64,0
	RET	172	53,1	62,7	62,9
	RET+SBS	149	46,4	63,5	64,4
	SBS	141	44,9	63,7	63,9
	PPA	151	46,4	64,4	64,0
	RET+PPA+CRM	150	45,3	64,0	64,6
	SBS+RET+PPA	146	46,5	64,0	64,8
	SBS+S+CRM	156	43,4	63,5	66,9
	RET(EP)+PPA	156	51,3	64,5	64,7
300/400	SBS+S	169	62,4	70,0	64,4
	SBS+S+VGO	205	65,1	72,7	64,3

CRM – gumiőrlemény, PPA – polifoszorsav, RET – reaktív etilén terpolimer, S – kén, SBS – sztirol-butadién-sztirol, VGO – dízelgázolajat

2. táblázat Az előállított vizsgálati minták legfontosabb térfogatjellemzői

Alap-bitumen	Modifikálószer rövidítése	$\rho_{t\ ssd}$ (Mg/m ³)	V_m (V/V%)	VMA (V/V%)	VFB (%)	RD_{AIR} (mm)
80/100	–	2,293	6,2	17,257	63,877	4,05
200/300	RET+PPA	2,284	6,6	17,589	62,364	3,93
	SBS+S	2,293	6,2	17,251	63,838	4,07
	RET	2,300	6,0	17,010	64,930	5,59
	RET+SBS	2,317	5,3	16,406	67,816	7,30
	SBS	2,296	6,1	17,173	64,189	8,11
	PPA	2,294	6,2	17,228	63,942	14,04
	RET+PPA+CRM	2,272	7,1	18,013	60,590	7,05
	SBS+RET+PPA	2,285	6,6	17,566	62,498	5,43
	SBS+S+CRM	2,282	6,7	17,670	62,112	8,10
	RET(EP)+PPA	2,289	6,4	17,419	63,101	4,27
300/400	SBS+S	2,294	6,2	17,222	63,984	5,41
	SBS+S+VGO	2,298	6,1	17,091	64,560	5,86

CRM – gumiőrlemény, $\rho_{t\ ssd}$ – testsűrűség, PPA – polifoszorsav, RET – reaktív etilén terpolimer, S – kén, SBS – sztirol-butadién-sztirol, V_m – hézagtartalom, VFB – kővázuk befogadó hézagát, VGO – dízelgázolajat, VMA – kötőanyag-telítettség

A 25 °C-on végzett penetrációs vizsgálat szerint a 80/100-as penetrációjú útépitési bitumen, illetve a PPA-val modifikált 200/300-as alapbitumen volt a legkeményebb az összes vizsgált bitumen közül, ami alapján arra lehet következtetni, hogy ezek a bitumenek a keréknyomképződésekkel szemben is ellenállóbbak lesznek. Lágyuláspontjuk alapján a leglágyabb alapbitumenből modifikált SBS+S (300/400) és SBS+S+VGO (300/400) bitumenek mutatták a legmagasabb értékeket.

A bitumenek SHRP $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint meghatározott kritikus hőmérsékletei alapján a friss (öregetlen) bitumenek közül szintén a leglágyabb alapbitumenből előállított SBS+S (300/400) és SBS+S+VGO (300/400) modifikált bitumenek mutatták a legmagasabb értékeket. Ugyanezek a bitumenek RTFOT öregítés után, jelentős csökkenés mellett, már csak 64,0 °C körüli értéket mutattak, ami arra engedett következtetni, hogy az összes vizsgált bitumen közül ez a kettő az oxidációra leginkább érzékeny. Az RTFOT öregített bitumen minták kritikus hőmérséklete alapján a RET+PPA (200/300), illetve az SBS+S+CRM (200/300) a legellenállóbbak a keréknyomképződéssel szemben, azonban általánosságban elmondható, hogy RTFOT öregítés után a bitumenek nagyon hasonló kritikus hőmérséklettel rendelkeztek.

Az aszfaltkeverékek tulajdonságait az kőanyagkeverék

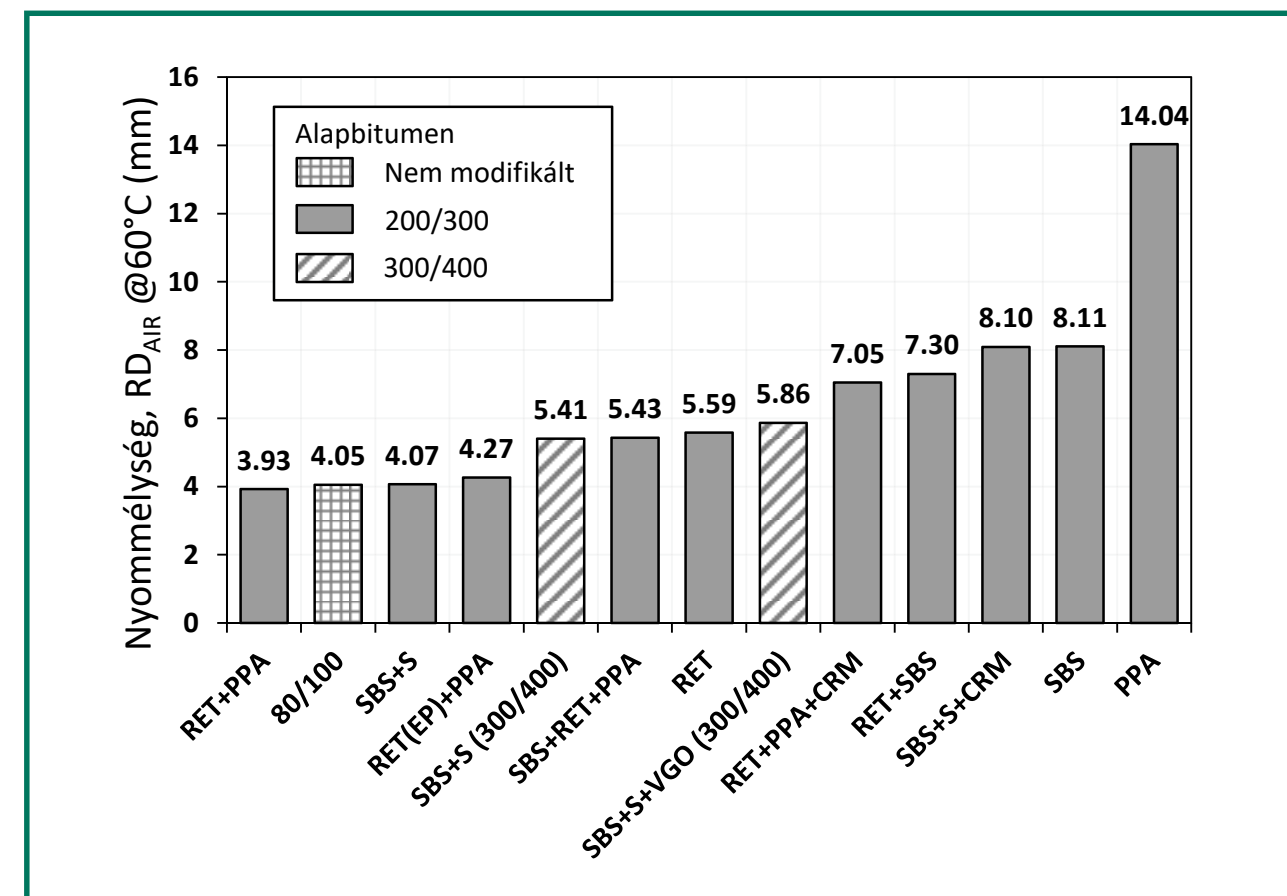
szemmegoszlásán, a kötőanyag-tartalmon és -fajtán túl nagyban befolyásolja az előállított vizsgálati minták térfogat-összetétele is. Ezért az előállított vizsgálati minták legfontosabb térfogatjellemzőit, mint a testsűrűségüket ($\rho_{t\ ssd}$), a hézagtartalmukat (V_m), a kővázuk befogadó hézagát (VMA), illetve a kötőanyag-telítettségüket (VFB) a 2. táblázatban foglaltam össze.

Az 5,9 %-os kötőanyag-tartalommal és 6 %-os hézag-tartalommal tervezett aszfaltkeverékek visszamért hézag-tartalma 5,3 % és 7,1 % közé esett (átlag: 6,3 %; medián: 6,2 %).

A 2. táblázatban továbbá fel vannak tüntetve a különböző bitumeneket tartalmazó aszfaltkeverékekből előállított, 60 °C hőmérsékletnél vizsgált, legalább két WTT mintából származó átlag nyommélység értékek (RDAIR).

A WTT vizsgálatnál meghatározott RDAIR eredmények alapján elmondható, hogy a PPA modifikált 200/300-as penetrációjú alapbitumen a legkevésbé ellenálló a keréknyomképződéssel szemben, míg a legellenállóbbak a RET+PPA, SBS+S és RET(EP)+PPA modifikált 200/300-as penetrációjú alapbitumenek, illetve a 80/100-as útépitési bitumen.

A könnyebb átláthatóság érdekében, az aszfaltkeverékek RDAIR eredményei emelkedő sorrendben a 3. ábrán szereplő oszlopgrafikonok segítségével lettek szemléltetve.

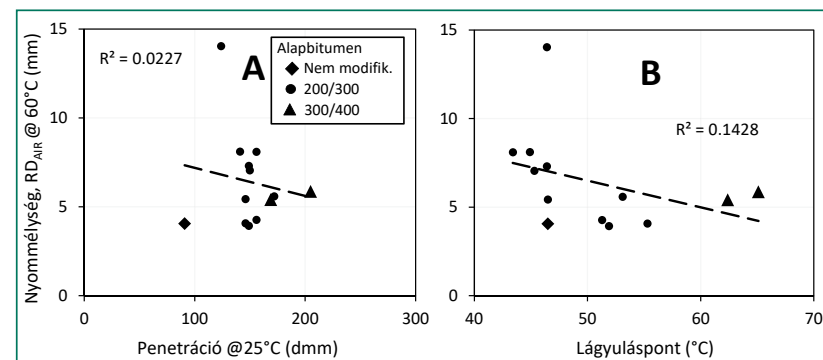


3.ábra :Az aszfaltkeverékek keréknyomképződés vizsgálatnál meghatározott nyommélység értékei

3.1 Bitumenek empirikus vizsgálati eredményeinek összevetése az aszfaltkeverékek WTT vizsgálati eredményeivel

A következő fejezetben a napjainkban Európában legelterjedtebb empirikus bitumen tulajdonságok kerültek összevetésre az aszfaltkeverékek laboratóriumi keréknyomképződés vizsgálatának eredményeivel.

A 13 darab bitumból álló vizsgálati minta alapján elmondható, hogy az aszfaltkeverékek RDAIR eredményei és a bitumenek penetráció, illetve lágyuláspont értékei közt nem volt kimutatható összefüggés (4. ábra). A penetráció esetében ráadásul fordított trend mutatkozott, mint ahogy arra számítani lehetett.



4. ábra: Az aszfaltkeverékek nyommélység értékeinek összevetése a bitumenek penetrációjával, illetve gyűrűs-golyós lágyuláspontjával

3.2 Bitumenek maradó kúszásérzékenysége-nek (J_{nr}) összevetése az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával

A vizsgált bitumenek különböző hőmérsékletek (50 °C, 60 °C) mellett végzett MSCRT eredményeinek összevetése a bitumeneket tartalmazó aszfaltkeverékek WTT eredményeivel az 5–8. ábrákon láthatók. Az egyes ábrákon A, B, C, D-vel jelölt grafikonok a különböző nyírófeszültségi szinteken mért MSCRT eredményeket ábrázolják. Bár az MSCRT vizsgálatok folyamán 5 különböző nyírófeszültséget (0,1 kPa, 3,2 kPa, 6,4 kPa, 12,8 kPa, 25,6 kPa) alkalmaztam, a 0,1 kPa nyírófeszültség mellett mért eredmények a grafikonokon nem szerepelnek, mivel azok korrelációs összefüggése az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával minden esetben kisebb volt, mint 0,05. Ennek ténye is azt az elméletet erősíti, hogy amennyiben az MSCRT vizsgálat képes a bitumenek keréknyomképződéssel szembeni ellenállásának kifejezésére, úgy az aszfaltburkolatokban lévő bitumeneket az LVE-tartományon kívül eső, 0,1 kPa-nál magasabb nyírófeszültségek érik.

Az MSCRT vizsgálatok folyamán kiderült [26], hogy a bitumenek $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint meghatározott kritikus hőmérsékleténél magasabb vizsgálati hőmérséklet magas nyírófeszültségekkel ($\geq 12,8$ kPa) kombinálva könnyen okozhatja a bitumen minták károsodását, vagy akár azok teljes szétroncsolódását. Ezért a legmagasabb MSCRT vizsgálati hőmérséklet 60 °C-ban lett meghatározva. Ennél a vizsgálati hőmérsékletnél szinte valamennyi bitumen még a legmagasabb 25,6 kPa nyírófeszültséget is képes volt károsodás nélkül elviselni. Ez alól az egyetlen kivétel a PPA modifikált bitumen volt, amely

még a 10. ciklus befejezése előtt teljesen szétroncsolódott (a lapgeometria alsó és felső része közti összeköttetés teljesen megszűnt). Ennélfogva a PPA modifikált bitumen 60 °C vizsgálati hőmérséklet és 25,6 kPa nyírófeszültség kombinációja mellett (6.D és 8.D ábra) mért eredményei hiányoznak.

A vizsgált bitumenek előállításánál használt alapbitumenek penetrációs értékétől függően a bitumeneket három különböző csoportra lehetett osztani:

(1) Az első csoport, amelybe az egyetlen, modifikálószeret nem tartalmazó bitumen, a 80/100-as penetrációjú útépitési bitumen tartozott, amely a grafikonokban $\blacklozenge$ jelölést kapott.

(2) A második csoportba tíz, 200/300-as penetrációjú alapbitumból előállított modifikált bitumen tartozott, amelyek a grafikonokban a $\bullet$ jelölést kapták.

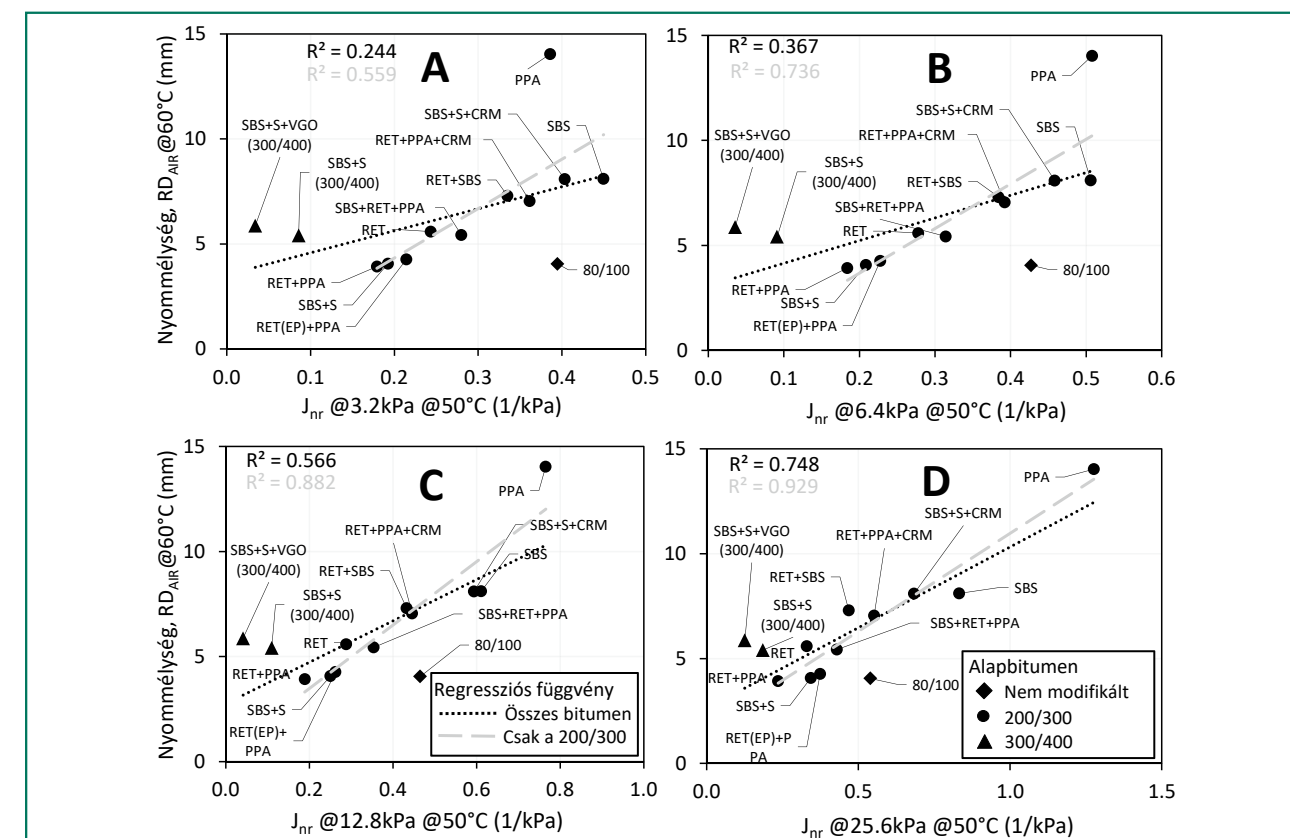
(3) Az utolsó csoportba a két, 300/400-as penetrációjú alapbitumen modifikálásával előállított bitumenek tartoztak, amelyek a grafikonokban a $\blacktriangle$ jelölést kapták.

A vizsgált bitumenek 50 °C és 60 °C-on, MSCRT vizsgálatot meghatározott J_{nr} eredményeinek összevetése az aszfaltkeverékek 60 °C-on meghatározott WTT nyommélység eredményeivel a 5. és a 6. ábrán látható.

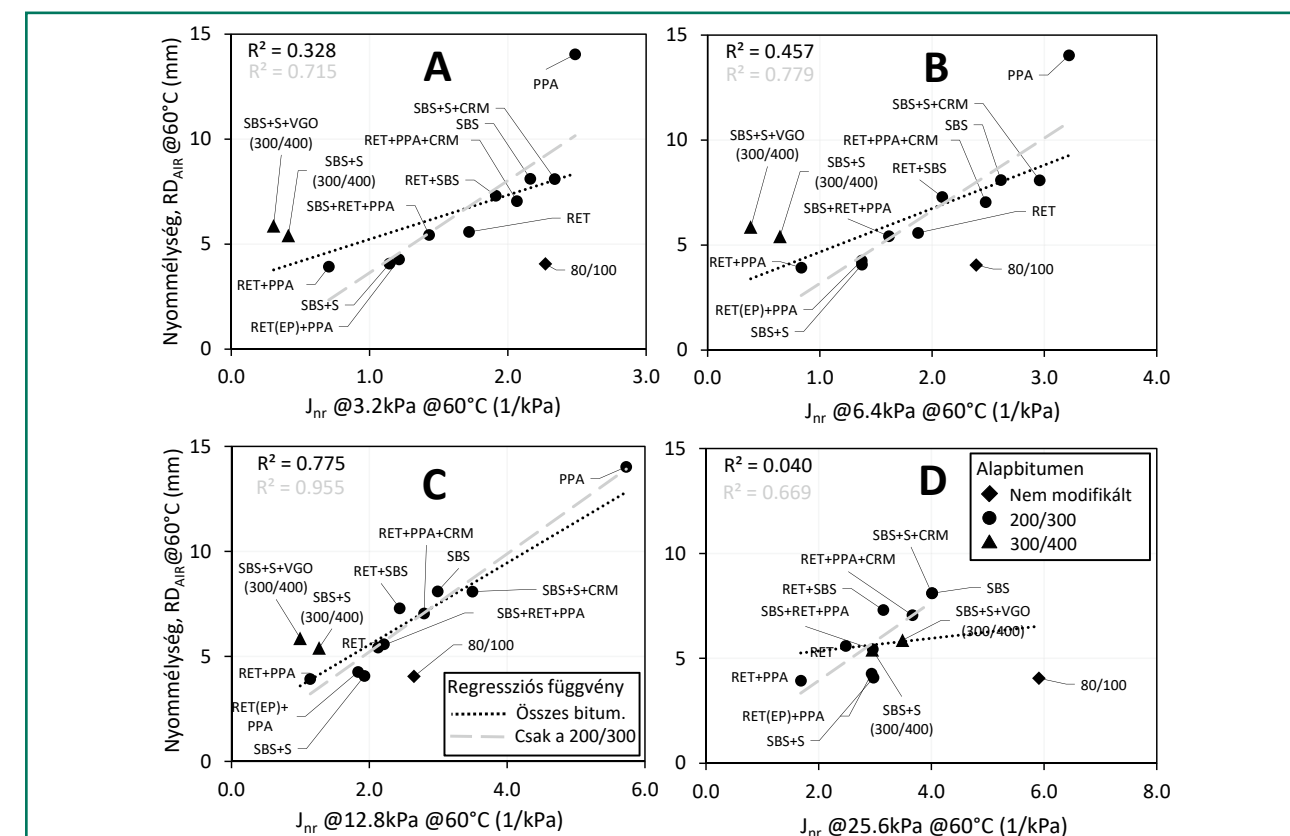
Az ábrákon két korrelációs összefüggés lett feltüntetve:

- Az egyik az összes vizsgált bitumen J_{nr} értékének az összevetése az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával (regressziójuk fekete pontozott vonallal jelölve).
- A másik, mivel ezek a bitumenek alkották a vizsgált bitumenek legnagyobb csoportját, a 200/300-as penetrációjú alapbitumen modifikálásával készült bitumenek összevetése az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával (regressziójuk szürke szaggatott vonallal jelölve).

Megfigyelhető, hogy amennyiben az összes vizsgált bitumen J_{nr} értékét összevetjük az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával, a két érték között nem mutatható ki korrelációs összefüggés sem a szabvány által előírt 3,2 kPa (5.A és 6.A ábra), sem pedig a 6,4 kPa (5.B és 6.B ábra) nyírófeszültségnél. Elmondható, hogy az MSCRT vizsgálat során alkalmazott nyírófeszültség növelésével általánosan javul a két érték közti korreláció. Összességében az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával legjobb korrelációt mutató MSCRT vizsgálati hőmérséklet és nyírófeszültség kombináció az 50 °C és 25,6 kPa, illetve a 60 °C és 12,8 kPa volt (5.D és 6.C ábra). A 60 °C vizsgálati hőmérséklet mellett alkalmazott 25,6 kPa nyírófeszültség a PPA modifikált alapbitumen teljes szétroncsolódásához vezetett. Feltételezhető, hogy más bitumenek is hasonlóan reagálnának, ezért az ehhez hasonló magas nyírófeszültségek alkalmazása kizárólag a bitumenek $|G^*|/\sin\delta$ paraméter szerint meghatározott kritikus hőmérsékleténél legalább két PG teljesítményfokozattal alacsonyabb hőmérsékleteknél ajánlott.



5. ábra: Az aszfaltkeverékek nyommélység értékeinek összevetése az 50 °C-on vizsgált bitumenek maradó kúszásérzékenységeivel (J_{nr})



6. ábra: Az aszfaltkeverékek nyommélység értékeinek összevetése a 60 °C-on vizsgált bitumenek maradó kúszásérzékenységeivel (J_{nr})

Mivel a PPA modifikált bitumen aszfaltkeveréknek kiugróan eltérő nyommélység értéke hibás mérési eredménynek tűnhet, ellenőrzés céljából az eredeti mérés után egy év elteltével a bitumen és aszfaltkeverék mintákat újra elkészítettem és a nyommélység eredmények helyességét WTT vizsgálattal igazoltam.

Számottevően jobb korrelációs összefüggések figyelhetők meg, ha az aszfaltkeverékek és bitumenek összevetéséből a 200/300-as alapbitumen modifikálásával előállított bitumeneken kívüli bitumeneket kihagyom. Amennyiben ebből az összehasonlításból a PPA modifikált bitumentől is eltekinténénk, egyértelmű lineáris összefüggés lenne megfigyelhető a bitumenek J_{nr} paramétere és az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlama között. Ezek az eredmények arra engednek következtetni, hogy az MSCRT vizsgálat, a megalkotói állításával ellentétben, különbséget tesz a különböző bitumen fajták között, így kevésbé képes általános megítélni azok keréknyomképződéssel szembeni ellenállását.

Érdemes megemlíteni, hogy a PPA modifikált bitumen 3,2 kPa nyírófeszültségnél mért, SHRP Superpave® szerint minősítő paraméternek számító maradó kúszásérzékenysége ($J_{nr,3,2}$) mindkét vizsgálati hőmérséklet esetén az AASHTO 332 szabvány 1. táblázatában meghatározott maximális érték (4,5 kPa-1) alatt maradt. Ez érvényes volt a bitumen PG fokozatának megfelelő 64 °C vizsgálati hőmérsékletnél végzett MSCRT vizsgálat esetében is [27]. Így elmondható, hogy a szabványos nyírófeszültség és vizsgálati hőmérséklet mellett végzett MSCRT nem volt képes a rosszul teljesítő PPA modifikált bitumen kimutatására. A mérési eredmények alapján, a PPA modifikált bitumen gyengébb teljesítménye 50 °C vizsgálati hőmérsékleten 25,6 kPa nyírófeszültség mellett, 60 °C hőmérsékleten pedig 12,8 kPa nyírófeszültség mellett volt kimutatható.

Megfigyelhető volt továbbá, hogy a 200/300-as alapbitumenből előállított modifikált bitumenek korrelációs függvényéhez viszonyítva a leglágyabb 300/400-as alapbitumenből előállított modifikált bitumeneken (jelölésük: ▲) rendre jobb J_{nr} eredményeket hoztak, mint ahogy azt az aszfaltkeverékek WTT eredményei indokolták. Ez bár fordítva, de érvényes volt a 80/100-as útépitési bitumenből (jelölése: ◆) előállított aszfaltkeverékre is, amely ellenállóbb volt a keréknyomképződéssel szemben, mint ahogy arra a J_{nr} eredményeiből számítani lehetett volna. Ezen eredmények alapján arra lehet következtetni, hogy a bitumenek és a felhasználással készült aszfaltkeverékek keréknyomképződéssel szembeni ellenállása nagyban függ a modifikált bitumenek előállításához használt alapbitumenek konzisztenciájától.

A világban általános tendencia, hogy a hideg oldali viselkedés javítása céljából a modifikált bitumenek előállításakor nagyon lágy alapbitumeneket használnak, amikhez többnyire elasztomereket adagolnak, amelyek jelentősen megnövelik a bitumenek rugalmasságát. Az így szerzett rugalmassággal el lehet érni, hogy a bitumenek meleg oldali viselkedése, illetve az SHRP Superpave® szerinti fizikai tulajdonságai lényegesen kedvezőbb eredményeket hozzanak, mint amennyire a bitumenek keréknyomképződéssel szembeni ellenállá-

sa a valóságban javult. Azonban felmerülhet a kérdés, hogy vajon az így szerzett rugalmasság a valóságban ki tudja-e váltani a keményebb bitumenek alakváltozással szembeni eleve nagyobb mértékű ellenállását? Avagy mi a kívánatosabb, ha az alakváltozás létre sem jön, vagy ha az visszaalakul?

Erre a kérdésre próbáltam választ adni a bitumenek késleltetett kúszásérzékenysége (J_c), illetve rugalmas kúszásérzékenysége (J_{rec}) az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával való összevetésével.

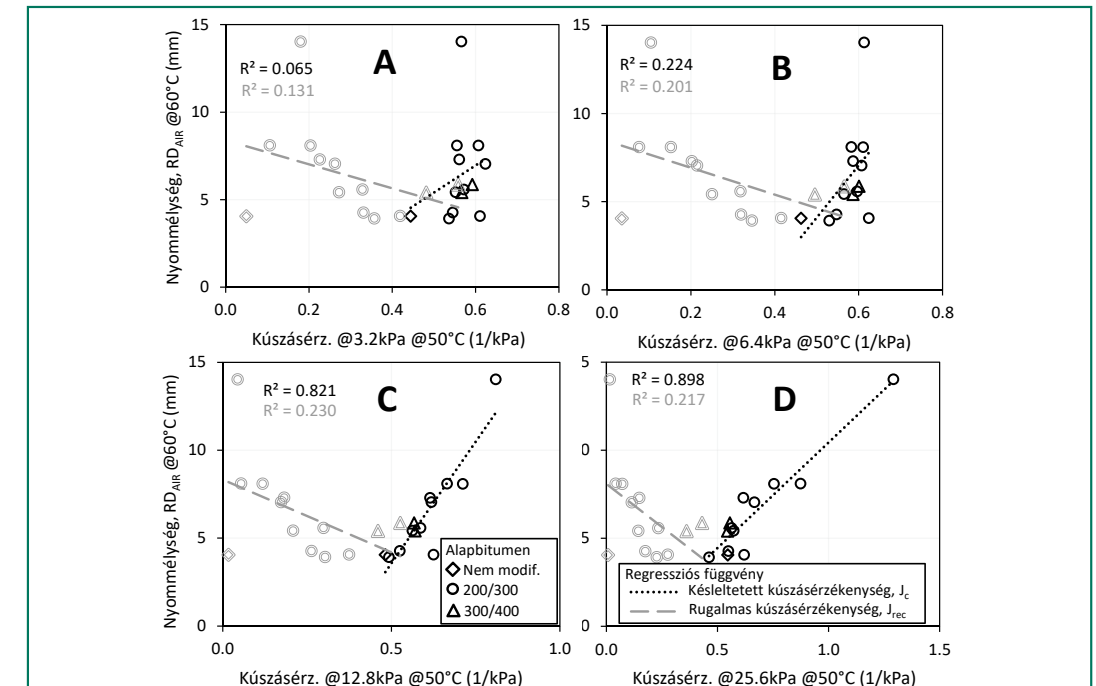
3.3 Bitumenek késleltetett kúszásérzékenysége (J_c), illetve rugalmas kúszásérzékenysége (J_{rec}) összevetése az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával

Megegyezően a J_{nr} eredmények kiértékelésével, a bitumenek késleltetett kúszásérzékenysége (regressziójuk a grafikonokban fekete szaggatott vonallal jelölve), illetve rugalmas kúszásérzékenysége (szürke hosszán szaggatott vonal) 50 °C és 60 °C vizsgálati hőmérsékleten lett meghatározva. Az így kapott eredmények összevetése az aszfaltkeverékek 60 °C hőmérsékleten meghatározott WTT nyommélység eredményeivel a 7. és 8. ábrán láthatók. A grafikonok A, B, C és D jelzése továbbra is a különböző nyírófeszültség mellett végzett MSCRT vizsgálatokat jelölik.

Az 50 °C vizsgálati hőmérsékleten és 3,2 kPa, illetve 6,4 kPa nyírófeszültség mellett meghatározott késleltetett kúszásérzékenysége (J_c) nem mutatott korrelációt az aszfaltkeverékek 60 °C-on meghatározott nyommélység értékeivel (7.A és 7.B ábra). Az ennél magasabb, 12,8 kPa és 25,6 kPa nyírófeszültségek mellett (7.C és 7.D ábra) azonban, a J_{nr} eredményekhez viszonyítva is, lényegesen jobb korrelációk voltak megfigyelhetők.

Ami a rugalmas kúszásérzékenységet (J_{rec}) illeti, a vizsgált nyírófeszültség-tartományban nem mutatott korrelációt az aszfaltkeverékek nyommélység értékeivel. Azonban elmondható, hogy amennyiben a korrelációba csak a 200/300-as penetrációjú alapbitumenből előállított modifikált bitumeneket számítjuk bele, egyértelmű összefüggés mutatható ki a bitumenek rugalmassága és az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlama közt.

Mindezek az eredmények arra engednek következtetni, hogy a bitumenek rugalmassága valóban javítja az aszfaltok keréknyomképződéssel szembeni ellenállását. Ezért elmondható, hogy azonos alapbitumenből előállított bitumenek esetén akár viszonylag pontosan lehetséges is lenne azok egymáshoz viszonyított keréknyomképződéssel szembeni ellenállását a rugalmasságuk alapján meghatározni, azonban különböző alapbitumenekből előállított bitumenek esetén már nem. Az a tény, hogy a magas nyírófeszültségek mellett meghatározott késleltetett kúszásérzékenysége (J_c) eredmények segítségével lényegesen jobb korrelációt lehetett elérni arra utal, hogy az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlama lényegesen jobban függ a kötőanyaguk alakváltozással szembeni ellenállásától, mint azok rugalmasságától.

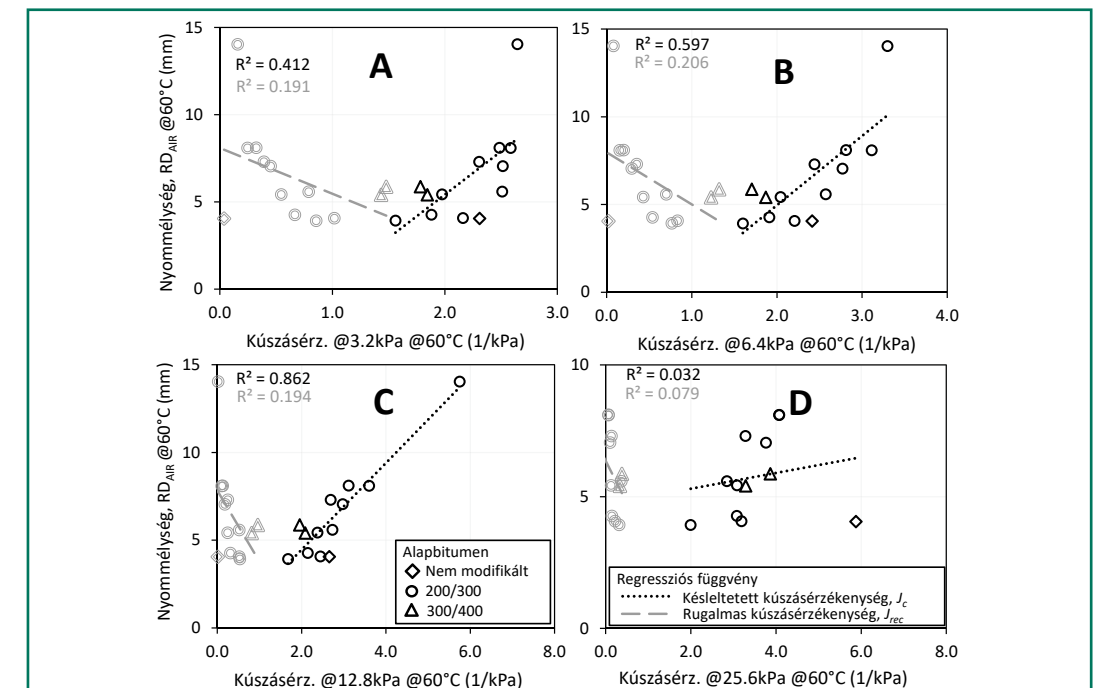


7.Ábra: Az aszfaltkeverékek nyommélység értékeinek összevetése az 50 °C-on vizsgált bitumenek késleltetett (J_c), illetve rugalmas (J_{rec}) kúszásérzékenységeivel

Hasonlóan az 50 °C vizsgálati hőmérsékleten meghatározott késleltetett kúszásérzékenysége eredményekhez, a 60 °C-on meghatározott J_c eredmények is alacsony korrelációt mutattak 3,2 kPa nyírófeszültség mellett (8.A ábra). A nyírófeszültség emelésével javuló tendencia volt megfigyelhető a két érték összevetéséből származó korrelációk között (8.B és 8.C ábra), azonban 25,6 kPa nyírófeszültség mellett már több minta nagymértékű, vagy akár teljes roncsolódá-

sa az eredményeket, ilyen magas feszültségek és vizsgálati hőmérsékletek mellett, értékelhetetlenné tette.

A 60 °C vizsgálati hőmérséklet mellett és a teljes alkalmazott nyírófeszültség-tartományon meghatározott rugalmas kúszásérzékenysége eredmények alapján is elmondható, hogy a bitumenek rugalmassága elhanyagolható korrelációt mutatott az aszfaltkeverékek keréknyomképződéssel szembeni ellenállásával.



8.Ábra: Az aszfaltkeverékek nyommélység értékeinek összevetése az 60 °C-on vizsgált bitumenek késleltetett (J_c), illetve rugalmas (J_{rec}) kúszásérzékenységeivel

3.4 Összefoglalás

Azonos PG teljesítményfokozattal (PG64-yy) rendelkező, tizenkét modifikált és egy útépitési bitumen MSCRT vizsgálatát végeztem el 50 °C és 60 °C hőmérsékleten, melynek eredményeit összevettem a bitumenek felhasználásával készült aszfaltkeverékek 60 °C-on végzett WTT vizsgálatának nyomméltség (RDAIR) eredményeivel. Az így kapott korrelációk arra engednek következtetni, hogy az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlama bizonyos feltételek teljesülése mellett (pl.: magas nyírófeszültség és alacsony vizsgálati hőmérséklet kombináció) előrevetíthető a bennük lévő bitumenek maradó kúszásérzékenységéből (J_{nr}). Az eredmények alapján továbbá elmondható, hogy a vizsgálati hőmérséklettől függően az MSCRT során alkalmazott nyírófeszültség emelésével javuló korreláció figyelhető meg a bitumenek J_{nr} és az aszfaltkeverékek RDAIR értékének összevetése esetén. Vitatható továbbá, hogy a bitumenek J_{nr} paramétere-e az egyetlen és legmegfelelőbb olyan érték, ami az MSCRT vizsgálat keretein belül maradván a legjobb korrelációt adja az aszfaltok nyomvályúsodási hajlamával.

A könnyebb átláthatóság kedvéért a 3. táblázatban összefoglaltam az összes a tanulmányban szereplő, különböző hőmérsékleten és nyírófeszültség mellett meghatározott paraméter aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával történő összevetésének korrelációit.

A 3. táblázatban szereplő eredmények alapján elmondható, hogy a 25,6 kPa nyírófeszültség alkalmazása csak a bitumenek PG teljesítményfokozatánál legalább két PG fokozattal (megj.: 12 °C) alacsonyabb vizsgálati hőmérséklet mellett ajánlott. A tanulmányban szereplő bitumenek eredményei alapján ezen hőmérsékleteken (50 °C) a 12,8 kPa-nál alacsonyabb vagy azzal egyenlő nyírófeszültség mellett meghatározott J_{nr} gyenge korrelációt mutatott az aszfaltkeverékek 60 °C-on meghatározott RDAIR értékével. A legjobb korreláció J_{nr} és RDAIR között 50 °C és 25,6 kPa, illetve 60 °C és 12,8 kPa mellett volt kimutatható.

A bitumenek magas nyírófeszültségek mellett meghatározott késleltetett kúszásérzékenysége (J_c) mindkét vizsgálati hőmérséklet esetén jobb korrelációt mutatott az aszfaltkeverékek RDAIR eredményeivel, mint a maradó kúszásérzékenységük (J_{nr}). Ezzel szemben a bitumenek rugalmas kúszásérzékenysége (J_{rec}) egyik vizsgálati hőmérséklet és nyírófeszültség mellett sem mutatott értékelhető korrelációt az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával.

Annak alapján, hogy a bitumenek késleltetett kúszásérzékenysége (J_c) jobb korrelációt mutat az aszfaltok nyomvályúsodási hajlamával feltételezhető, hogy a J_{nr} paraméter túlbecsüli a bitumenek rugalmasságának hatását az aszfaltok keréknyomképződéssel szembeni ellenállására. Azért megalapozottnak tűnik a bitumenek

esetén több figyelmet fordítani azok alakváltozással szembeni ellenállására, mint rugalmasságukra.

Mindezen eredmények háttérben az MSCRT vizsgálati módszer és az útburkolatok keréknyomvályújának tényleges kialakulási mechanizmusa közti fundamentális különbségek lehetnek. Az aszfaltburkolatokban lévő kőanyagkeverék alkotta váz nem csak a külső terheléssel szemben fejt ki ellenállást, de a már kialakult alakváltozásokat (a közetek elfordulása és egymáshoz viszonyított elmozdulása) visszaalakítani szándékozó, a bitumenek rugalmas tulajdonságaiból származó feszültségekkel szemben is. Más szóval: a kőanyagváz azon felül, hogy ellenáll az alakváltozásnak, gyengíti a modifikált bitumenek azon képességét, mely saját, alakváltozásukat megelőző eredeti belső szerkezetük helyreállítására irányul, miután az alakváltozás már létrejött.

Mindeközben az MSCRT vizsgálat során az alkalmazott nyírófeszültség hatására bekövetkező alakváltozás nagyságát egyedül a bitumen minta saját viszkoelasztikus tulajdonsága (konzisztenciája) befolyásolja. Ugyanez vonatkozik az MSCRT visszaalakulási fázisra is, ahol a bitumenben lévő rugalmas polimer hálózat megpróbálja visszaalakítani eredeti belső szerkezetét, ezáltal a mintadarab eredeti alakját. Így az egy másodperces felterhelési fázist követő kilenc másodperces visszaalakulási fázisból álló ciklusokra épülő MSCRT vizsgálat túlságosan nagy hangsúlyt fektet a bitumenek rugalmasságára azok alakváltozással szembeni ellenállása helyett.

Ennek eredménye, hogy a tanulmányban szereplő, lágy alapbitumenből előállított, magas elasztikus tulajdonságokkal rendelkező bitumenek keréknyomképződéssel szembeni ellenállását az MSCRT vizsgálat rendre túlbecsülte, míg a keményebb, minimális elasztikus tulajdonságokkal bíró útépitési bituménét alábecsülte. A Superpave® bitumen specifikáció során alkalmazott MSCRT vizsgálat ezen korlátja, a fent bemutatott eredményekre támaszkodva, részben feloldható magasabb nyírófeszültségek alkalmazásával, vagy a késleltetett kúszásérzékenység (J_c), mint egy lehetséges nyomvályúsodási paraméter, bevezetésével. A nyírófeszültség értékét a tesztelés során alkalmazott és a bitumenek PG értékéhez képest meghatározott hőmérséklethez javasolt illeszteni. Így magas nyírófeszültség használatkor az alacsony vizsgálati hőmérséklet használata ajánlott, míg alacsony nyírófeszültségek esetén a magas hőmérsékletek.

Kiemelendő az is, hogy a szabvány szerinti nyírófeszültségek mellett mért maradó kúszásérzékenység (J_{nr}) jelentősen túlbecsülte a PPA modifikált bitumen keréknyomképződéssel szembeni ellenállóképességét, függetlenül a vizsgálati hőmérséklettől és az alkalmazott szabvány által előírt nyírófeszültségtől (0,1 kPa és 3,2 kPa). Gyanítható, hogy az MSCRT vizsgálat a ma hatályban lévő szabvány által meghatározott nyírófeszültségek mellett egyéb modifikált bitumenek esetében is nehézségekbe fog ütközni azok keréknyomképződéssel szembeni ellenállóképességének meghatározásában.

4. Konklúzió

A 13 különböző (1 útépitési, 12 modifikált) bitumen mintán, 0,1 kPa-tól 25,6 kPa-ig öt nyírófeszültség mellett és két (50 °C és 60 °C) vizsgálati hőmérsékleten végzett MSCRT vizsgálatok eredményeinek az aszfaltkeverékek WTT vizsgálatával 60 °C-on meghatározott nyomvályúsodási hajlamával való összevetése alapján az alábbi fő következtetéseket lehet levonni:

- A bitumenek PG teljesítményfokozata alatti vizsgálati hőmérsékleten és a szabvány szerinti nyírófeszültségek (0,1 kPa és 3,2 kPa) mellett meghatározott MSCRT eredmények összevetése az aszfaltkeverékek keréknyomképződéssel szembeni ellenállóképességével egyik esetben sem mutat kielégítő korrelációt.
- Összevetve a bitumenek J_{nr} értékét az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával, a legjobb korreláció a 12,8 kPa nyírófeszültség mellett és a bitumenek SHRP kritikus hőmérsékletéhez közeli hőfokon végzett MSCRT teszt esetén volt megfigyelhető.
- MSCRT tesztelés során a 25,6 kPa nyírófeszültség alkalmazása csak a bitumenek SHRP Superpave® kritikus hőmérsékletnél legalább két PG teljesítményfokozattal alacsonyabb vizsgálati hőmérsékleten ajánlott.
- A bitumen rugalmas kúszásérzékenységgel (J_{rec}) kifejezett rugalmas tulajdonsága nem mutatott az egész vizsgált hőmérséklet- és nyírófeszültségtartományban összefüggést az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával.
- Összehasonlítva a bitumenek J_{nr} paraméterével, a késleltetett kúszásérzékenység (J_c), magas nyírófeszültségek mellett meghatározva számottevően jobb korrelációt mutatott az aszfaltkeverékek nyomvályúsodási hajlamával.
- A bitumenek MSCRT vizsgálati eredményei és az aszfaltkeverékek WTT vizsgálat szerint meghatározott nyomméltség (RDAIR) eredményei közötti korrelációk alapján arra lehet következtetni, hogy közel hasonló SHRP Superpave® kritikus hőmérséklettel, vagy J_{nr} értékkel jellemezhető bitumenek, amennyiben különböző keménységű alapbitumenekből lettek előállítva, az aszfaltkeverékekben különböző nyomvályúsodási teljesítményt nyújthatnak. Az eredmények alapján úgy tűnik, hogy a modifikált bitumen minél viszkózusabb alapbitumen felhasználásával lett előállítva, annál ellenállóbb a keréknyomképződéssel szemben, mindez a polimer modifikációval nyert rugalmas tulajdonságaitól függetlenül.
- A magas vizsgálati hőmérséklet mellett meghatározott MSCRT eredmények túlbecsülik a magas rugalmassággal bíró, lágyabb alapbitumen modifikálásával előállított bitumenek magas hőmérsékleti teljesítményét és előfordul, hogy nem szűr ki a keréknyomképződéssel szemben kevésbé ellenálló bitumeneket (pl. PPA modifikált bitumen).

Ezért, amennyiben az MSCRT vizsgálat marad a bitumenek nyomvályúsodási hajlamának meghatározására, célravezető lehet egy olyan paraméter bevezetése, amely kevésbé függ, vagy teljesen független a bitumen rugalmas tulajdonságaitól. „A legjobb, magas hőmérsékleten bekövetkező alakváltozás az, amelyik nem következik be, nem pedig az, amely lehetséges, hogy visszaalakul... amennyiben visszaalakul.” [28]

3. táblázat A regressziós függvények korrelációs koefficienseinek összefoglalása

	Nyírófeszültség	Lineáris korrelációs koefficiens R^2	
		50 °C	60 °C
Maradó kúszásérzékenység J_{nr}	0.1 kPa	0.1238	0.1024
	3.2 kPa	0.2438	0.3283
	6.4 kPa	0.3667	0.4570
	12.8 kPa	0.5663	0.7748
	25.6 kPa	0.7476	0.0403 ¹
Késleltetett kúszásérzékenység J_c	0.1 kPa	0.0570	0.1520
	3.2 kPa	0.0649	0.4123
	6.4 kPa	0.2240	0.5969
	12.8 kPa	0.8210	0.8623
	25.6 kPa	0.8975	0.0324 ¹
Rugalmas kúszásérzékenység J_{rec}	0.1 kPa	0.0501	0.0491
	3.2 kPa	0.1310	0.1913
	6.4 kPa	0.2014	0.2057
	12.8 kPa	0.2303	0.1935
	25.6 kPa	0.2172	0.0791 ¹

¹ Mintaroncsolódás miatt nem lehetett az összes bitument kiértékelni

1. Dongré R, D'Angelo J, Reinke G, Shenoy A. New Criterion for Superpave High-Temperature Binder Specification. Transp Res Rec. 2004;(1875):22–32.
2. American Association of State and Highway Transportation Officials. AASHTO M320-16. Standard specification for performance-graded asphalt binder. Washington, DC: AASHTO; 2016.
3. Barnes HA, Hutton JF, Walters K. An introduction to rheology. Vol. 3. Amsterdam: Elsevier; 1989.
4. Kennedy TW, Huber GA, Harrigan ET, Cominsky, Ronald J Hughes CS, Quintus H Von, Moulthrop JS. Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program. 1994. 170 p.
5. American Association of State and Highway Transportation Officials. AASHTO T240-13. Standard method of test for effect of heat and air on a moving film of asphalt binder (rolling thin-film oven test). Washington, DC: AASHTO; 2013.
6. Masad E, Somadevan N. Microstructural finite-element analysis of influence of localized strain distribution on asphalt mix properties. J Eng Mech. 2002;128(10):1105–14.
7. Kose S, Guler M, Bahia HU, Masad E. Distribution of strains within hot-mix asphalt binders: applying imaging and finite-element techniques. Transp Res Rec. 2000;1728(1):21–7.
8. American Association of State and Highway Transportation Officials. AASHTO T350-14. Standard method of test for multiple stress creep recovery (MSCR) test of asphalt binder using a dynamic shear rheometer (DSR). Washington, DC, USA: AASHTO; 2014.
9. European Committee for Standardization. EN 16659:2016. Bitumen and Bituminous Binders. Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT). Brussels; 2016.
10. D'Angelo JA, Kluttz RQ, Dongre R, Stephens K, Zanzotto L. Revision of the Superpave high temperature binder specification: the multiple stress creep recovery test. J Assoc Asph Paving Technol. 2007;76:123–62.
11. Visscher J De, Paez-dueñas A, Cabanillas P, Carrera V, Cerny R. European round robin tests for the multiple stress creep recovery test and contribution to the development of the European standard test method. In: Proceedings of the 6th Euraspalt & Eurobitume Congress. Prague; 2016.
12. Laukkanen O-V, Soenen H, Pellinen T, Heyrman S, Lemoine G. Creep-recovery behavior of bituminous binders and its relation to asphalt mixture rutting. Mater Struct [Internet]. 2015;48(12):4039–53. Available from: <http://link.springer.com/10.1617/s11527-014-0464-7>
13. D'Angelo JA. The relationship of the MSCR test to rutting. Road Mater Pavement Des. 2009;10(sup1):61–80.
14. Dreessen S, Gallet T. MSCRT: Performance Related Test Method for Rutting Prediction of Asphalt Mixtures From Binder Rheological Characteristics. In: 5th Euraspalt & Eurobitume Congress. Istanbul; 2012.
15. Skronka G, Jasso M, Vacin O. The Effect of High Stress on Asphalt Binders and Hot Mix Asphalt. In: Canadian Technical Asphalt Association Proceedings. 2018. p. 79–97.
16. Wasage TLJ, Stastna J, Zanzotto L. Rheological analysis of multi-stress creep recovery (MSCR) test. Int J Pavement Eng. 2011;12(6):561–8.
17. Jasso M, Hampl R, Vacin O, Bakos D, Stastna J, Zanzotto L. Rheology of conventional asphalt modified with SBS, Elvaloy and polyphosphoric acid. Fuel Process Technol. 2015;140:172–9.
18. Padhan RK, Gupta AA, Sreeram A. Effect of cross-linking agent on ethylene vinyl acetate/polyoctenamer modified bitumen. Road Mater Pavement Des. 2019;20(7):1615–23.
19. Mund DJ, Adams RC, Marano KM. A historical review of additives and modifiers used in paving asphalt refining processes in the united states. J Occup Environ Hyg. 2009;6(11):705–13.
20. Polacco G, Stastna J, Biondi D, Zanzotto L. Relation between polymer architecture and nonlinear viscoelastic behavior of modified asphalts. Curr Opin Colloid Interface Sci. 2006;11(4):230–45.
21. Jafari M, Babazadeh A. Evaluation of polyphosphoric acid-modified binders using multiple stress creep and recovery and linear amplitude sweep tests. Road Mater Pavement Des. 2016;17(4):859–76.
22. Huang S-C, Pauli AT. Particle size effect of crumb rubber on rheology and morphology of asphalt binders with long-term aging. Road Mater Pavement Des. 2008;9(1):73–95.
23. Mturi GAJ, O'Connell J, Zoorob SE, De Beer M. A study of crumb rubber modified bitumen used in South Africa. Road Mater Pavement Des. 2014;15(4):774–90.
24. American Association of State and Highway Transportation Officials. AASHTO M332-14. Standard specification for performance-graded asphalt binder using multiple stress creep recovery (MSCR) test. Washington, DC: AASHTO; 2014.
25. European Committee for Standardization. prEN 14023:2020 Bitumen and Bituminous Binders. Specification framework for polymer modified binders. Brussels; 2020.
26. Skronka G, Jasso M, Vacin O. Determination of rutting distresses on hot mix asphalts by advanced techniques. MATEC Web Conf. 2019;276(03004).
27. Skronka G. New Method for Analyzing Asphalt Binders. PhD [dissertation]. [Prague]: Czech Technical University in Prague; 2021.
28. Zanzotto L. Comments presented on the 63rd annual conference of the Canadian Technical Asphalt Association (CTAA). Regina, Saskatchewan, Canada, November 2018; 2018.

Balatonfőkajár motorsport- és versenypálya burkolat építési munkái

Bécsi Balázs

építésvezető
Colas Út Zrt.



A versenypálya építése Balatonfőkajáron egy magán-beruházás keretében valósul meg. A pálya hossza 4114 m, szélessége 12 m és 21 m között váltakozik. A burkolt

bukóterek, illetve a kanyarok száma egyaránt 10-10 db. A kivitelezéshez tartozik még a szervízutak és a környező infrastruktúra fejlesztése.



Cégünket, a Colas Út Zrt.-t a versenypálya burkolat-építésével keresték meg, mely elsődlegesen tartalmazott 12.610 m³ útalaprétet, 10.810 tonna aszfalt kötő- és 7080 tonna aszfalt kopóréteget. Egy ilyen volumenű beruházás rengeteg technológiai, illetve műszaki egyeztetést követelt, amiket követően kialakult a végleges műszaki tartalom. A megrendelő által javasolt pályaszerkezet a meglévő védőrétegre:

- 20 cm CKT-4
- 6 cm AC 16 kötő (MI) PmB 25/55-65
- 5 cm SMA (mF) PmB 25/55-65

A burkolatépítés egyik legfontosabb kihívása az volt, hogy egy teljesen repedés és torlódásmentes utalapot készítsünk, hogy tökéletes aszfaltréteget építhessünk az versenyzők és a pályahasználók részére. Hosszabb egyeztetés után egy a remix technológiához hasonló módon, egy a helyszínen kevert, lassan kötő cementtel stabilizált utalapot javasoltunk. Illetve az aszfaltkeveréket egy lágyabb bitumennel történő keveréssel készítünk, ami rugalmasabb viselkedést okoz.



A beépítés fix nagypados Vögele 2100-2 finisherrel történt, ami a szintet a már előre, a geodéta által bemért bowdenről vette. A tömörítést gumihenger és vashenger biztosította. Ezen technológia legfontosabb eleme a beépítés utáni feszültségmentesítés és utókezelés szakszerű elvégzése. A felületen végzett mérések már nagyon biztatóak voltak 5 napos korban is és 12 napos korban elérte a követelményeknek megfelelő értékeket.

Ezeket összegezve az általunk javasolt rétegrend:

- 20 cm előkevert FZKA 0/32 cementel stabilizált útalaprét
- 7 cm AC 22 kötő (mF) PmB 45/80-65
- 5 cm SMA (mF) PmB 45/80-65

Sikerrel járt az egyeztetésünk és a megrendelő elfogadta ezt a rétegrendet.

A hideg remix technológia kivitelezéséhez a munkaterület közvetlen közelében kialakítottunk egy 5000 m² területű kötőanyag terítésre alkalmas felületet. Itt elterítettük gréder segítségével a zúzottkővet 20 cm vastagságban majd egy cementszóró segítségével felhordtuk a cementet (CEMII/B[V-LL] 32,5 N) 80 kg / m³ adagolással. Az így kialakított területre vonult fel a Wirtgen 2200 CR típusú remixgép, mely megfelelő víz adagolás mellett megkezdte a helyben kevert útalaprét előállítását. A nagy vízigény miatt 1-1 vizesautó folyamatosan töltötte a gépet. Az így elkészült alaprétet a gép egyből 4 tengelyes gépjárművekre keverte, amik egyből a beépítés helyére szállították a betont.



Az elkészült és feszültségmentesített cementtel stabilizált utalapot eltakarása következhetett az aszfaltozással. A megrendelővel történt kezdeti egyeztetés alapján 7 cm vastagságban kerül beépítésre a kötőréteg. Típusát tekintve AC 22 kötő (mF) PmB 45/80-65. Ez egy lágyabb bitumennel készült keverék, melynek köszönhetően rugalmasabb viselkedést okoz az aszfaltnak és a hőmérséklet ingadozását is jobban tudja követni.

A kiváló minőségben elkészült utalapra, geodézia felmérés után látszott, hogy az aszfalt kötőréteget vastagságban lehet építeni. Az utalap készítéséhez hasonlóan az aszfaltozás is nagypados finisherrel történt.

Az átlag 12 méter széles pályát 2-ben lett behúzva, de a visszafordító kanyarban még normál pados finisherrel is mellé kellett húzni, mert a legnagyobb szélesség az ívben 21 méter. A visszafordító ívekben a finisher etetése is komoly kihívást okozott, de sikerrel vettük az akadályokat. A tömörítés 2 gumihengerrel és 3 acél palástú hengerrel történt.



A folyamatos aszfaltellátás érdekében két keverőről is szállítottuk az aszfaltot. Ennek köszönhetően minimalizáltuk a munkahézagokat és ezáltal a hiba lehetőségét is, hogy minél egyenletesebb pályát építhessünk a versenyzők számára.

Jelenleg kötő szinten áll a versenypálya, mivel még minden egyéb infrastrukturális építményt és környezetet el szeretnének készíteni, hogy a kopóréteg elkészülte után már a versenyzés következhesen. Így a jövő év kihívásai közé tartozik a kopózás, ami még nagyobb logisztikát és odafigyelést igényel, mint a kötő réteg. Különösen nagy izgalommal várt feladat, mert nem mindennapi módon 2 nagypados finisher és a visszafordító ívekben egy harmadik kispados finisher is beáll, hogy átérjük a teljes szélességet.

Összességében ez a hideg remix technológia meghaladta a várt jó eredményeket így a megrendelő is teljes mértékben meg volt elégedve a technológiával. Kezdeti félelmeket megnyugtató módon az összes bekevert zúzottkővet a cement megfelelően bevonta és egy jól beépíthető anyagot kaptunk. Bebizonyosodott az is, hogy nem csak helyben hagyott anyaggal működik a remix technológia, hanem autóra rakva és finisherrel beépítve is tökéletes útalapot tudunk készíteni.

A munkafolyamatok összehangolása és a keverési arány kitapasztalása után, a munkálatokra azt lehet mondani gyorsabban is haladtak, mint vártuk, és ezt nagy részben segítette a munka elején húzott próbaszakaszs is.

Remekül működő technológia mellett a termelékenység sem elhanyagolható, mert a napi mennyiségek maximalizálásával jóval nagyobb hatékonysággal dolgozhattunk, mint a hagyományos keverőtelepi bedolgozásnál.

Az üzemi sáv megnyitásának kérdései a gyorsforgalmi úthálózaton -Az M1 autópálya fejlesztésének példáján-

Siegl Ádám Alfréd

tervező
UNITEF'83 Műszaki
Tervező és Fejlesztő Zrt.



Bevezetés

A diplomamunkám témája a dinamikus forgalomszabályozás általános kérdései a gyorsforgalmi úthálózaton, különös tekintettel az üzemi sáv megnyitásának szükségességére és módjára az M1-es autópálya fejlesztésének példáján szemlélítve. A szakdolgozatomban az általam vizsgált kérdés az M1-es autópálya bizonyos szakaszának 2x3 sávra történő bővítése, illetve az üzemi sáv szükségessége és alkalmazásának lehetőségei az M0–Óbarok pihenő csomópontok közötti szakaszon.

Célom egy olyan elemzés készítése, amely megoldási lehetőséget adhat a gyorsforgalmi úthálózatokon kialakult csúcsforgalmak problémakörére, segítve a folyamatos, gördülékeny közlekedést a kritikus időszakokban. Egy olyan infrastruktúrális beavatkozást vizsgállok, amely a vonali forgalomszabályozás speciális esete: a leállósáv ideiglenes megnyitása a forgalom számára, nagy túlterhelés esetén a kapacitás bővítés céljából.

Magyarországon még nem alkalmazott módszer, hogy a forgalmi helyzettől függően ideiglenesen megnyitásra kerüljön a leállósáv, ezért szükségesnek látom a téma kifejtését. Külföldi esettanulmányok és tapasztalatok segítségével szeretném bemutatni az alkalmazott vonali forgalomszabályozás fontosságát.

Diplomamunkám kapcsán következtetéseket szeretnék levonni arra vonatkozóan, hogy milyen peremfeltételeknek kell teljesülnie ahhoz, hogy egy megfelelően működő infrastruktúrális beavatkozással meg lehessen teremteni a gyorsforgalmi úthálózatokon a fent említett újításokat.



1. ábra: TMS – Traffic Management Services

(forrás: http://its-hungary.hu/EW-DG-I_DeploymentGuidelineIntroduction_01-02-00.pdf)

Leállósáv megnyitására vonatkozó EU-s szabályozás

Az „Easy Way” – projekt nem egy szabványosítási testület, és nem tartozik a hatáskörébe, hogy jogilag szabályozza a tagállamokat a nemzeti kiépítési tevékenységeikben.

Az ITS 2010/40 EU irányelv fő célja az ITS harmonizáció, amely az útmutatók alkalmazásával válik egyértelművé.

A leállósáv megnyitását a további ITS alapszolgáltatásokkal lehet kombinálni:

- **TMS-DG01: Dynamic Lane Management** – Forgalmi sávváltakozó használatát lehetővé tevő forgalomszabályozás
- **TMS-DG02: Variable Speed Limits** – Sebességszabályozó rendszerek
- **TMS-DG03: Ramp Metering** – Felhajtás szabályozás
- **TMS-DG04: Hard Shoulder Running** – Leállósáv használatát szabályozó rendszerek
- **TMS-DG05/08 Incident Warning and Management** – Vészhelyhelyzetre figyelmeztető rendszerek
- **TMS-DG06: HGV Overtaking Ban** – Nehézgépjárművek előzési tilalmát szabályozó rendszerek

Intelligens forgalomszabályozó és információs rendszerek alkalmazása és a kooperatív járműkommunikáció

Napjainkban az intelligens közlekedési rendszerek mellett megjelentek a jármű és az infrastruktúra közötti kommunikációt megvalósító kooperatív rendszerek. Ez egy olyan telematikai szolgáltatást takar, amely kétirányú adat-szolgáltatást tesz lehetővé a jármű és a forgalomirányító között, illetve a jármű és jármű között egyaránt. A szolgáltatás a járművezetőket látja el információkkal a járművön belül, a fedélzeti computeren keresztül. Továbbá, a közlekedő járművek információt szolgáltatnak a forgalomirányító központnak is.

A jármű és a központ (jármű és infrastruktúra) közötti kommunikációt biztosító rendszer (I2V, C-ITS) a következő alkotókból tevődik össze:

- Központi oldali infrastruktúra (C-ITS-S)
- Útmenti infrastruktúra (R-ITS-S)
- Jármű (V-ITS-S)

A szolgáltatási szintek (LOS = Level of Services)

A gyorsforgalmi utakon a sebesség majdnem állandónak vehető egy széles tartományon belül, ezért a sebesség nem elegendő a szolgáltatási szint megadásához. A gépjármű vezetők

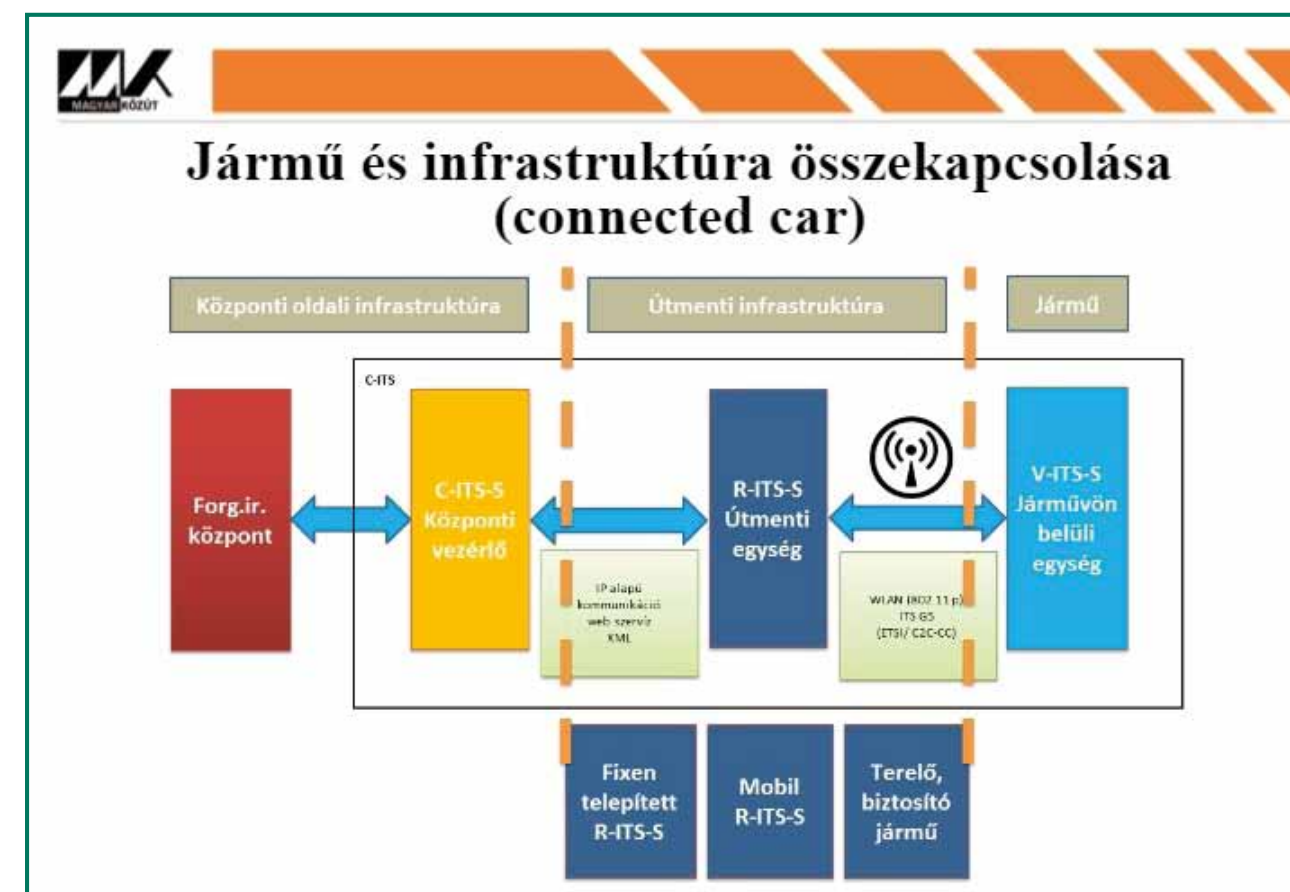
számára a forgalmi áramlatban való mozgási lehetőség a mértékadó, amely a forgalom sűrűségével (E/km/sáv) fejezhető ki.

Jelen esetben a sűrűség egy változó mennyiség, ami folyamatosan gyarapodik a forgalomnagyság növekedésével.

A folytonossági egyenlet alapján tudjuk, hogy adott járműáramlás esetén létezik egy optimalizálható sebesség, ahol a legmegfelelőbb a vizsgált útszakasz átbocsátó képessége. Az irányításnál az adott sebességnek és járműsűrűségnek a megtartása a cél, hiszen ezekkel lehet megfelelően befolyásolni a folyópálya áramlását. Amennyiben az adott útszakasznak ismerjük a rendelkezésre bocsátott adatait (forgalmi jellemző, sebesség), akkor a továbbiakban sebesség korlátozást tudunk érvényesíteni. A megadott sebesség korlát a kiválasztott szakaszon a optimális sebességet szolgáltatja. Mivel a megválasztott sebesség érték változó, így azt folyamatosan változtatni kell a forgalomnagyság és az ingadozó forgalomlefolys esetében a sebesség harmonizálása miatt. Ahhoz, hogy a rendszer megfelelően tudjon működni, folyamatosan információkat kell gyűjteni a gyorsforgalmi úthálózatról.

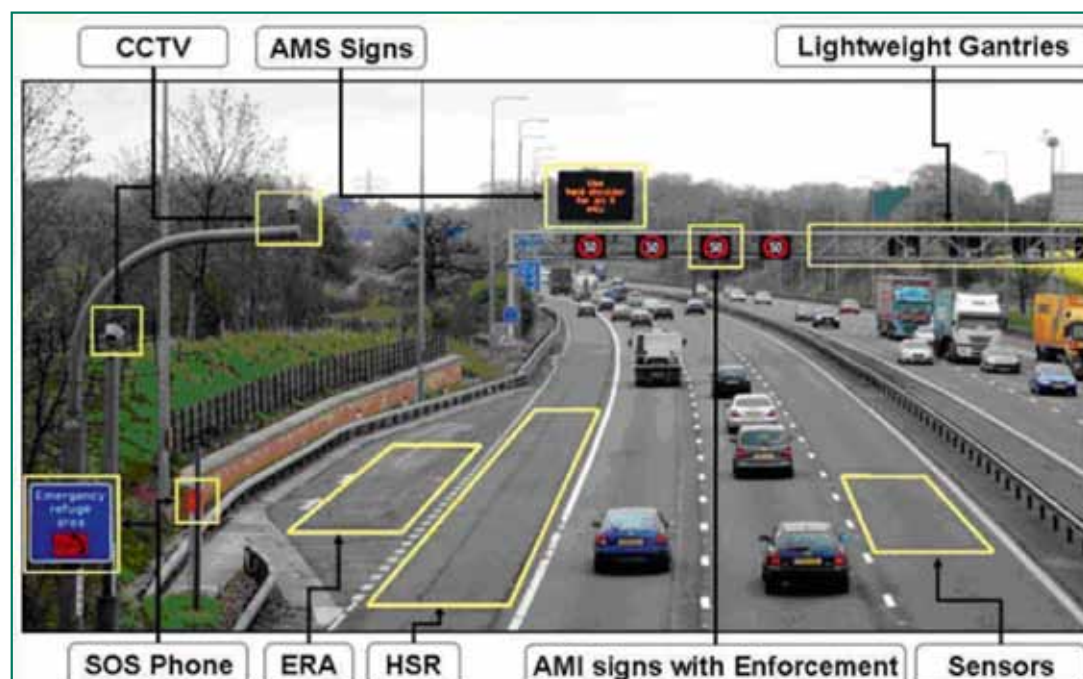
Az autópálya hálózati irányításában fontos szerepet tölt be a forgalomirányító központ, amely segítségével lehetőség nyílik emberi beavatkozásra a forgalomlefolysba.

Az autópálya forgalmáról szóló adatok ide érkeznek, illetve a felhalmozott adatok feldolgozásával és elemzésével itt történik a leoptimalisabb forgalomirányítási stratégia segítségével a sebesség megválasztása a kiválasztott folyópálya szakaszon.



2. ábra: Jármű és infrastruktúra összekapcsolása közötti összefüggés

(forrás: Duma Viktor és Tomaschek Tamás előadása: „Honnan jövőnk? Hová tartunk? ITS rendszerek, alkalmazások az országos közúthálózaton”)



3. ábra: ITS alapszolgáltatásokkal ellátott autópálya

(forrás: https://www.researchgate.net/figure/Example-of-managed-motorways-scheme-the-M42_fig9_294873896)

Sebességszabályozás (Variable Speed Limits)

Az gyorsforgalmi utak az egyik leghatékonyabb forgalomszabályozási módszere a változtatható jelzésű táblákkal megvalósított változtatható sebesség szabályozás.

A módszer azon alapul, hogy az átlagsebesség csökkenésével azonos időben a követési távolságok is rövidülnek. Ebből következik, hogy ha redukáljuk az autópálya főpályáján a maximális sebességhatárt, a járműsűrűség értéke növekszik. Koncentrált forgalmi viszonyok esetében ezzel a módszerrel megszüntethető, illetve rosszabb esetben lassítható a bekövetkező torlódások kialakulása. Főpályán a lassú haladás hatékonyabb és pszichológiailag is jobb hatással van a gépjármű vezetőkre, mint hogy egy kialakult torlódás következtében hosszabb ideig dugóban kelljen menetelni.

A sebességszabályozás néhány várható előnye:

- csökkenti a korlátozott és az aktuális sebesség különbséget,
- csökkenti a sebesség változékonyságot,
- csökkenti a nagy terjedelmű torlódásokat,
- csökkenti a káros-anyag kibocsátást,
- csökkenti az üzemanyag-fogyasztást,
- csökkenti az utazási idő,
- csökkenti a baleseti mutatókat,
- csökkenti a balesetek kimenetelének súlyosságát.

A sebesség csökkenésével növelhető az átbocsátható forgalom nagysága, tehát az eltérhető forgalom nagysága, amelyet kapacitásnak nevezünk.



4. ábra: Változtatható sebességszabályozás

(forrás: <https://www.thedrive.com/news/24727/austrias-new-higher-speed-limits-for-electriccars-is-our-kind-of-ev-incentive>)

Felhajtó szabályozás (Ramp metering)

A felhajtó szabályozás az autópályára felhajtani szándékozó járművek szabályozását jelenti. A gyorsforgalmi utakon a szolgáltatási szinthez tartozó maximális forgalomnagyság biztosítsa érdekében, a felhajtókon jelző berendezések segítségével korlátozzuk a járműveket, illetve csak a meghatározott időben kapnak engedélyt a felhajtásra. A felhajtók szabályozása sor kialakulásához és a várakozási idő növeléséhez vezet, viszont adott felhajtóknál a járművek és általában az autópálya hálózaton használók számos előnyhöz juthatnak felhajtás után.

A felhajtók forgalmának szabályozására azért van szükség gyorsforgalmi utaknál, mert ezzel támogatva tudjuk elérni, hogy a felhajtó forgalom ne zavarja a folyópálya forgalmát csúcsidőszakban.

A rámpák forgalomszabályozása azt jelenti, hogy a felhajtón elhelyezett beavatkozó egység (közúti jelzőlámpa) a meghatározott időben csak meghatározott mértékű járműforgalmat enged a gyorsforgalmi útra.

Ezeknek a szabályozó rendszereknek elsősorban a városok környékén, illetve az agglomerációkat összekötő utak csomópontjainál van létjogosultságuk. A forgalomszabályozás hatására csökkenek a fonódási szakaszokon a torlódások, és balesetek, rövidül az utazási idő.

Forgalomtechnikai megoldások

Egy adott forgalmi rendhez tartozó jelzések elfogadható mértékének átmenete a túlszabályozás felé mutat. A hazai szemlélet fejlődése, az úthálózatunkat használó külföldi

járművezetők tipikus vezetési képességei, és a vezetési kultúra fejlődése elmaradt a gyorsforgalmi úthálózatainkon. Ehhez képest a forgalomszabályozási megoldásokban is mintául szolgáló nyugat-európai országok magas közlekedési kultúrával rendelkeznek. Az gyorsforgalmi utat használó gépjármű vezető a 2x3 sávú autópályán szakaszon fog találkozni először az adott időszakban megnyitott üzemi sávval, a sávhasználat és a megengedett sebesség korlátozásával, a portálokon a változtatható jelzésű táblákon jelzett útirányjelzésekkel.

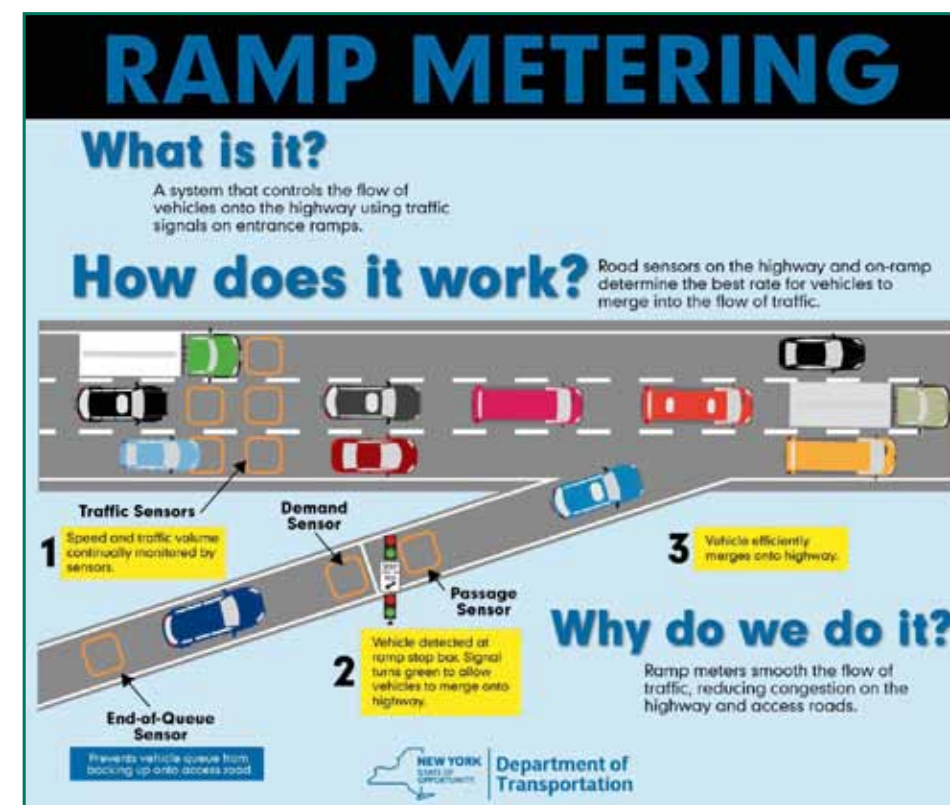
A vízszintes jelekre vonatkozóan hazai szabályozás nem rendelkezik az üzemi sáv megnyitásának esetéről. Tehát új megoldásokat kell kitalálni a tervezett forgalmi rendnek megfelelő jelzéseket illetően.

Folyópálya

Egy üzemi sávval kísért három forgalmi sávú autópálya burkolati jeleit meg lehet tervezni a hazai szabályozás alapján. Belülről a belső elosztó pálya felől kifelé haladva kifelé haladva a javasolt az úttest szélét jelző folyamatos vonal (optika) – 6 m vonal – 12 m vonalközosztású, a forgalmi sávok szélét jelző szaggatott vonalak, illetve az úttest szélét jelző folyamatos vonal (rázó optika).

Üzemi sáv alkalmazásakor azt az ellentmondást kell feloldani, hogy a szélső sáv és az üzemi sáv közötti elválasztó felfestés folyamatos (záróvonal), amelynek az átlépése a KRESZ szerint tilos. Az üzemi sáv megnyitásakor a felfestések átlépése problémás, még abban az esetben is, ha a KRESZ-t módosítják.

Külföldi példákban jellemzően folyamatos vonalat találunk a megnyitott üzemi sávok belső szélén.



5. ábra: Felhajtó szabályozás

(forrás: <https://www.dot.ny.gov/news/press-releases/2018/2018-10-171>)



6. ábra: Németország A7-es autópálya
(forrás: Google Earth program használatával)

Összefoglalás

Célom egy olyan elemzés készítése volt, amely megoldási lehetőséget adhat a gyorsforgalmi úthálózatokon kialakult csúcsforgalmak problémakörére, segítve a folyamatos, gördülékeny közlekedést a kritikus időszakokban.

Külföldi elméleti és gyakorlati kezdeményezések alapján véleményem szerint, az M1-es autópályán a dinamikus forgalomszabályozás alkalmazása megfelelő kapacitást biztosítana, amely növelné a forgalom biztonságát, rugalmas és folyamatos forgalom lebonyolódást biztosítana. Egy olyan infrastrukturális beavatkozást vizsgáltam, ami a vonali forgalomszabályozás speciális esete: a leállósáv ideiglenes megnyitása a forgalom számára nagy túlterhelés esetén, kapacitás bővítés céljából.

A probléma körülményeit azért láttam fontosnak, mivel hazánkban nem egyedül csak az említett gyorsforgalmi úton megnyilvánuló esetről van szó. A dinamikus szabályozás megvalósításakor az a cél, hogy a közlekedés minőségét javítsuk, és elérjük, hogy a társadalom véges tartalékaiból, mint például a közlekedés számára rendelkezésre álló területekből kevesebbet használjunk fel, minél inkább a forgalmi igényekhez igazodva.

Jelen állapotokat figyelembe véve az M1-es autópálya nem képes ellátni a jelenlegi és a jövőben folyamatosan fejlődő gépjármű forgalmat. Továbbá, egy plusz sáv építése meg tudná oldani egy adott időtávon belül a megfelelő szolgáltatási szinthez tartozó forgalom lefolyását. Úgy gondolom, hazánkban a folyamatosan növekedő gépjármű használatból kifolyólag több gyorsforgalmi úthálózaton is

bevezethető lenne ez a fejlesztés. A dinamikus szabályozó rendszer kialakítása gazdasági, környezeti, társadalmi hasznot is eredményez: a nehézgépjármű forgalom gördülékenyebbé válik, az utak által támasztott területi igény csökken, ill. az utazási idő rövidül. Az infrastruktúra gazdasági és ökológiai okok miatt nem tud lépést tartani az egyre növekvő motorizációval, ill. forgalmi igényekkel.

Munkám főbb célja volt, hogy végeredményben széleskörű képet tudjak adni a dinamikus forgalomszabályozás speciális eseteiről, körüljárva a megvalósíthatóság problémáit és a megoldási lehetőségeket.

Summary (abstract):

In my thesis I would like to present the general topics of dynamic traffic management using the example of M1 motorway, in Hungary. My aim was to make an analysis that may give possible solutions for the set of problems regarding the heavy traffic on motorway systems, in order to help the continuous and fluent transport in the rush hours.

My goal was to demonstrate the importance of the proposed lane management system by describing foreign experiences and case studies.

I would have liked to draw conclusions regarding the preliminary conditions that have to be fulfilled to establish the above mentioned innovations with proper infrastructure investments. The main aim of my work was to give an overall view of the special cases of dynamic traffic management, highlighting the problematic points of the feasibility, and providing possible solutions for it.

Szakirodalom

- [1] Traffic Management Services – Dynamic Lane Management, Deployment Guideline, TMS-DG01-Version 02-00-00., (December, 2012)
- [2] Kerstin Lemke: Standstreifenfreigabe - Sicherheitswirkung von Umnutzungsmaßnahmen (Bergisch Gladbach, Februar 2007)
- [3] Tomaschek Tamás Attila – Verdes Máté: Magyar Közúti ITS projektek 2020-ig, I. Közlekedési Konferencia – Eger, (2017. október 18-20.)
- [4] A. Hegyi, B. De Schutter, and J. Hellendoorn: Optimal coordination of variable speed limits to suppress shock waves, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 6, no. 1, pp. 102-112, (Mar. 2005.)
- [5] Tettamanti Tamás, Varga István, Bokor József: Autópálya forgalomszabályozás felhajtókorlátozás és változtatható sebességkorlátozás összehangolásával és fejlesztési lehetőségei, 2012
- [6] F. Wormgoor. "The Netherlands Director-General for Public Works and Water Management (Rijkswaterstaat)." Rijkswaterstaat, Germany, Presentation to PCM Scan Team, June 2006.
- [7] F. Middelham. "Dynamic Traffic Management." Ministry of Transport, Public Works, and Water Management, Directorate-General of Public Works and Water Management, AVV Transport Research Centre, Rotterdam, Netherlands, Presentation to PCM Scan Team, June 2006.

Közúti vasúti járművek összehasonlító futástechnikai vizsgálata a pályafenntartás szempontjából

Kopitkó Tünde Klára

MSc hallgató
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem,
Építőmérnöki Kar



Konzulensek:
Dr. Vinkó Ákos, Adjunktus, Út és Vasútépítési Tanszék
Németh Réka, Infrastruktúra-építőmérnök, BKV Zrt.

A modern kor elvárásainak megfelelően Budapesten is egyre nagyobb részarányban üzemeltetnek korszerű, 100%-ban alacsonypadlós multicuklós villamosokat (CAF Urbos3, Siemens Combino Supra). A hagyományos forgóvázú járművek (pl. TATRA T5C5) forgóváza (1. ábra) el tud fordulni a kocsiszekevény alatt, míg a multicuklós (pl.

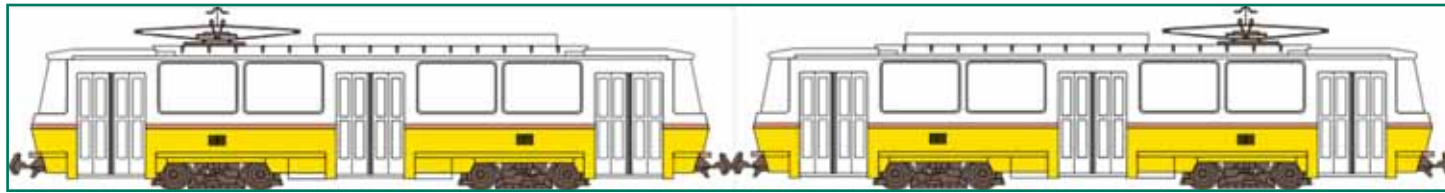
CAF Urbos3) és a többszörösen rövid-csuklós (pl. Siemens Combino Supra) járművek hordmúja (2. ábra) nem, vagy csak minimálisan tud elfordulni a modul alatt. Emiatt a hagyományos forgóvázú járművek kevésbé érzékenyek a szélsőséges vonalvezetésű pályaszakaszokra, mint az alacsonypadlós kialakítású járművek.



1. ábra. Hagományos, kocsiszekevény alatt elforduló forgóváz [1]



2. ábra. Jármű kocsiszekevény által vezérelt, alacsonypadlós hordmú [1]



3. ábra. TATRA T5C5 jármű jellegrajza



4. ábra. CAF Urbos3 (5 modulós) jármű jellegrajza

Kutatómunkám célja a régi hagyományos forgóvázas TATRA és az új CAF villamosok ívérzékelésének összehasonlító futástechnikai vizsgálata a BKV Zrt. előírásainak a tükrében. A vizsgálatot a kocsiszekrényhez rögzített okostelefonok inerciális szenzoradatainak (gyorsulásmérő és giroszkóp) felhasználásával végeztem.

A különböző járművek futástechnikai minősítése során az utasok komfortérzetén alapuló határértékek figyelembevételével (1. táblázat), szélsőséges vonalvezetésű pályaszakaszokon ítélt meg a járművek szabálytalan mozgásait. Az összehasonlítás széleskörűen alkalmazott mérőszáma a kocsiszekrényen mért térbeli gyorsulás: a kiegyenlített szabad oldalgyorsulás (a_0) és annak időbeli változása (h -vektor); a gyorsítás, lassítás és annak időbeli változása; illetve a függőleges gyorsulás és annak időbeli változása.

A BKV Zrt. pályatervezési és pályafelügyeleti előírásait a „Közúti vasúti pályafépítési és fenntartási műszaki adatok és előírások” [2] c. kötet, röviden „Sárga Könyv”-ként hivatkozott utasítás foglalja össze. Ez az utasítás már hatályon kívül van, 2019-től a „Közúti Vasúti Infrastruktúra Tervezési Irányelvek” c. kötet hatályos, azonban a dolgozatban a régi „Sárga Könyv” szerint vé-

geztem a vizsgálatokat. Az utasítás tartalma az Országos Vasúti Szabályzat (OVSZ) helyi közforgalmú vasutakra vonatkozó előírásainak megfelel, azoknak ellentmondó szabályokat nem tartalmaz.

A technika fejlődésével az inerciális szenzorok mérete lecsökkent és a gazdaságos gyártásnak köszönhetően egyre jobb minőségben és nagyobb tudással válnak elérhetővé a hétköznapi emberek számára is. Az inerciális szenzorok mára már a mindennapi élet részévé váltak, hiszen minden okostelefonban megtalálhatók és szinte bármilyen környezetben alkalmazhatók.

A méréshez Csikós Attila szoftverfejlesztő által készített, „CAFat” elnevezésű telefonos applikációt használtam (5. ábra). Az okostelefon részéről követelmény, hogy rendelkezzen műholdas helymeghatározással, háromtengelyű gyorsulásmérővel és háromtengelyű giroszkóppal. Az applikáció méri és rögzíti többek között a mérés kezdetétől eltelt időt, a jármű pillanatnyi sebességét (melyet a GPS adatokból számít), a földrajzi szélességet és hosszúságot, a három mérési tengelyhez tartozó gyorsulás adatokat, a dőlésmérő adatait és a háromtengelyű giroszkóp adatait.

1. táblázat: A „Sárga Könyv”-ben rögzített oldalgyorsulásra és oldalgyorsulás-változásra vonatkozó határértékek [2]

a [m/s^2]	Megjegyzés
$a_0 = 0,650$	maximum érték (pozitív szabad oldalgyorsulás)
$a_0 = 0,850$	maximum érték (negatív szabad oldalgyorsulás)
h [m/s^3]	Megjegyzés
$h = 0,20$	ajánlott érték
$h = 0,40$	megengedett legnagyobb érték
$h = 0,80$	kitérőben megengedett legnagyobb érték

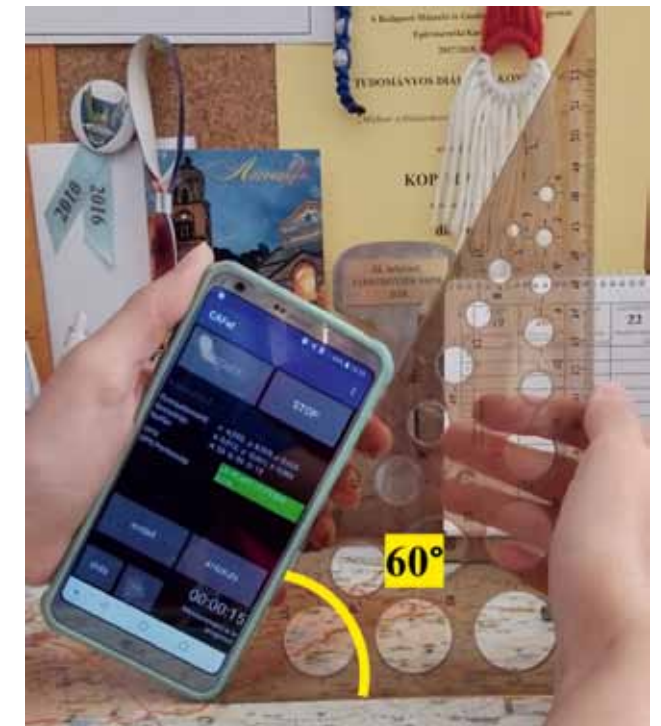


5. ábra. CAFat telefonos applikációról működés közben készített képernyőfelvétel

Az okostelefonokban lévő szenzorok tengelyelrendezése telefontípustól független, szabványosított elrendezés. A gyorsulásmérő, mágneses iránytű és a giroszkóp alkalmasak a térbeli mozgás leírására (három mérési tengely) és a mérési tengelyek jobb kezes koordináta rendszert követnek. A mérések során a telefont a hosszú oldalával fektetve helyezzük a kocsiszekrény falára úgy, hogy az y-tengely pozitív iránya megegyezzen a menetiránnyal (6. ábra). A mérések során a készüléket a jármű ablakához rögzítettem, a biztos rögzítés érdekében szilikon padot alkalmaztam.



6. ábra. Célszerű mérési elrendezés vasúti járművön



7. ábra. Statikus kalibráció

A mérések során egy LG G6 (H870) (2017) típusú okostelefont használtam. A szolgáltatott adatok validálását két lépésben végeztem el. Első körben az alkalmazott telefon gyorsulás-, dőlés- és szögsebesség adatainak valós fizikai tartalmát ellenőriztem ismert szöghelyzet, elfordulás és pozíció esetén (7. ábra). Azt vizsgáltam, hogy a különböző tengelyeket függőleges pozícióba állítva mekkora gyorsulásértéket mérhetek, illetve a tengelyek körüli elforgatást milyen pontosan érzékelik a szenzorok. A vizsgálatok második felében helyszíni kalibrációt végeztem. Villamosok kocsiszekrényén történt mérés során a névleges pályatervezési értékekkel (ívek középponti szöge, pályaesés) hasonlítottam össze a jármű függőleges-, és kereszt-tengely körüli elfordulását. A háromtengelyű giroszkóp a jármű által bejárt pálya görbületfüggvényét rögzíti, amelynek az integrálásával megkapható a különböző tengelyek körüli elfordulás szöge. A telefon nagy pontossággal ($< 1^\circ$) visszaadta a valós tervezési értékeket (2. táblázat).

2. táblázat: Mérési adatok kalibrációja a Lánchíd alagútban (19-es villamos, Clark Ádám tér - Halász utca, CAF villamos)

Ívek középponti szögének ellenőrzése			
Pályaív helyszínrajzi azonosítója	Az ív középponti szögének tervezési értéke	Mért érték (átlag)	Eltérés
4j	64,7°	64,3°	0,6%
5j	149,1°	149,0°	0,1%
6j	85,0°	85,1°	0,1%
Lejtviszonyok, esések ellenőrzése			
Helyszínrajzi azonosító	A pályaszakasz esésének tervezési értéke e [‰], [°]	Mérésből számított magassági vonalvezetés	Eltérés
e1	+56.4‰ (3.20°)	+53,74‰ (3.10°)	4.7%
e2	-56.3‰ (-3.20°)	-51,09‰ (-2.90°)	9.2%



8. ábra. Lánchíd alagút, budai oldal

A járművek összehasonlításához olyan helyszínt választottam, ahol CAF és TATRA villamos is üzemszerűen közlekedik. Az ívelrendezések közül a futástechnikai szempontból mértékadó helyszíneket választottam ki. A szabálytalan járműmozgásokat a jármű szerkezeti kialakításától függően jelentősen befolyásolhatják az alábbi vágánygeometriai paraméterek: kissugarú, nagy középponti szögű ívek, illetve az átmenetiív nélküli ívek. További szempont volt, hogy kiváló műszaki állapotú pályaszakaszokat vizsgáljak, mert a pályahibák dinamikai többletigénybevételt okoznak, és módosíthatják a jármű természetes futási tulajdonságait. Jelen vizsgálat szempontjából csak a jármű szerkezeti kialakításából adódó többletigénybevételek érdekesek. Ugyanebből az okból kifolyólag nem választottam olyan íveket,

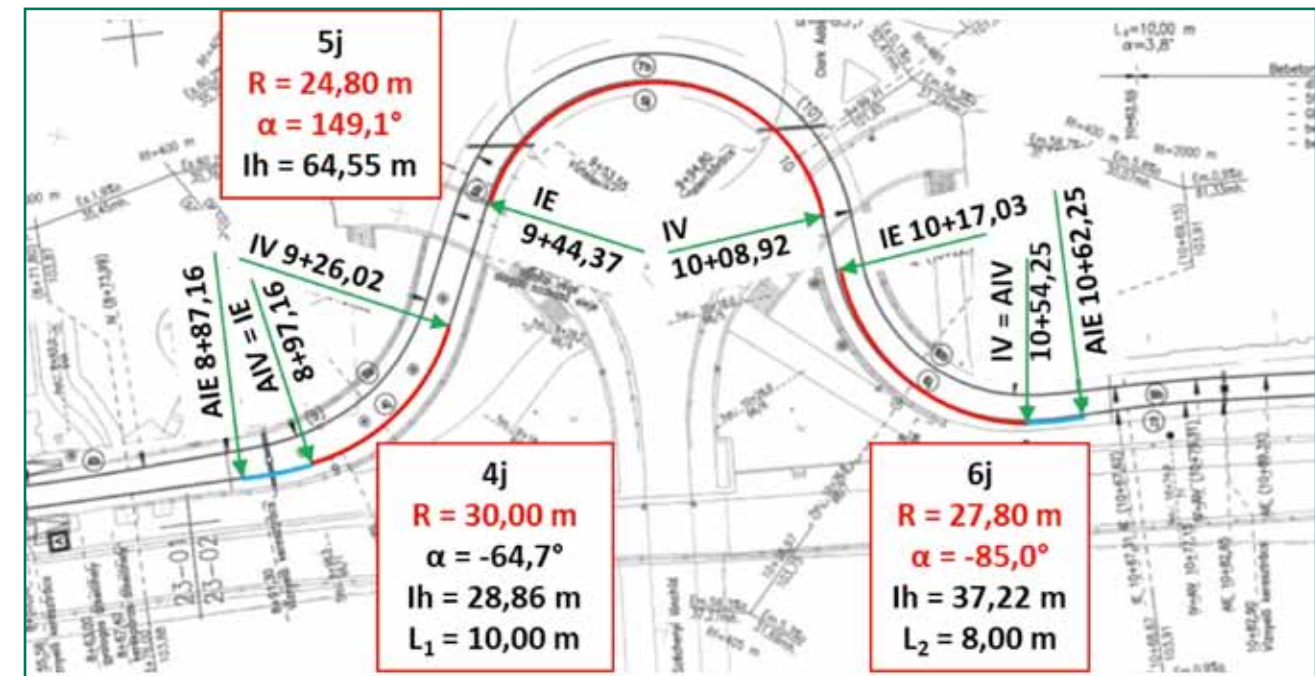
amelyek közben pályaobjektum található, vagy ahhoz csatlakoznak. Mindezen szempontokat figyelembe véve a méréshez kiválasztott helyszín a Lánchíd alagút budai oldala lett (19-es, 41-es villamos) (8., 9. ábra). Itt a helyhiány miatt szélsőséges geometriai kialakítás van. Ez egy többszörösen összetett ív, vannak azonos és ellenkező görbületű ívek. Az ellenkező görbületű ívek mind közbenső egyenessel csatlakoznak egymáshoz, az azonos görbületű ívek között van kosárv és közbenső egyenessel csatlakozó összetett ív is. Az egyszerű ívek közül tisztaívek és aszimmetrikus (csak be- vagy csak kimenő átmeneti ívvel rendelkező) ívek is találhatók itt (10. ábra). Az alagút miatt a magassági vonalvezetés is szélsőséges, 55-60‰ közötti esések vannak a pálya ezen részén.



9. ábra. Lánchíd alagút, budai oldal

Első lépésben meghatározzam a keresztirányú utazási komfort szempontjából mértékadó járműkeresztmetszeteket (11. ábra). Ez azt jelenti, hogy a járművön utazva ebben a keresztmetszetben keletkeznek a legnagyobb igénybevételek. A mérés úgy történt, hogy egy időben, ugyanazon a járművön több telefonnal mértünk, a jármű hossza mentén eltérő keresztmetszetekben. A mértékadó keresztmetszetek minősítéséhez háromféle módszert használtam. A mérési adatok kirajzolt grafikonjain meghatároztam a kiugró értékeket, hogy melyik keresztmetszetben keletkeznek nagyobb igénybevételek. Továbbá minden adatsorra megnéztem a csúcstól-csúcsig kiértékelések minimumát, átlagát, maximumát és szórását. Végül a görbe alatti területeket ívszakaszonként külön is összehasonlítottam.

TATRA-nál az első kocsi eleje és második kocsi vége a mértékadó keresztmetszet. Az első kocsi eleje halad be legelőször az ívbe, emiatt csillapítatlanul hatnak rá a fellépő erők. Az 5 modulós CAF jármű mértékadó keresztmetszetei az első és utolsó modulok (C1 és C2). Ezután a további mérések már csak a mértékadó keresztmetszetekben történtek.

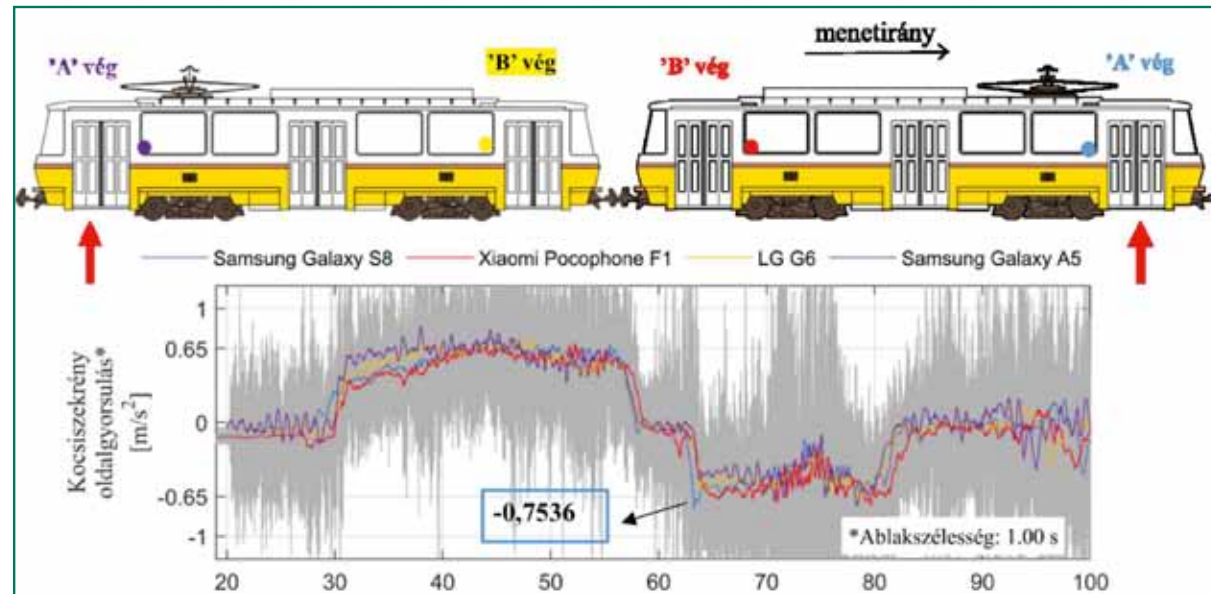


10. ábra. Lánchíd alagút jobb vágányának helyszínrajza

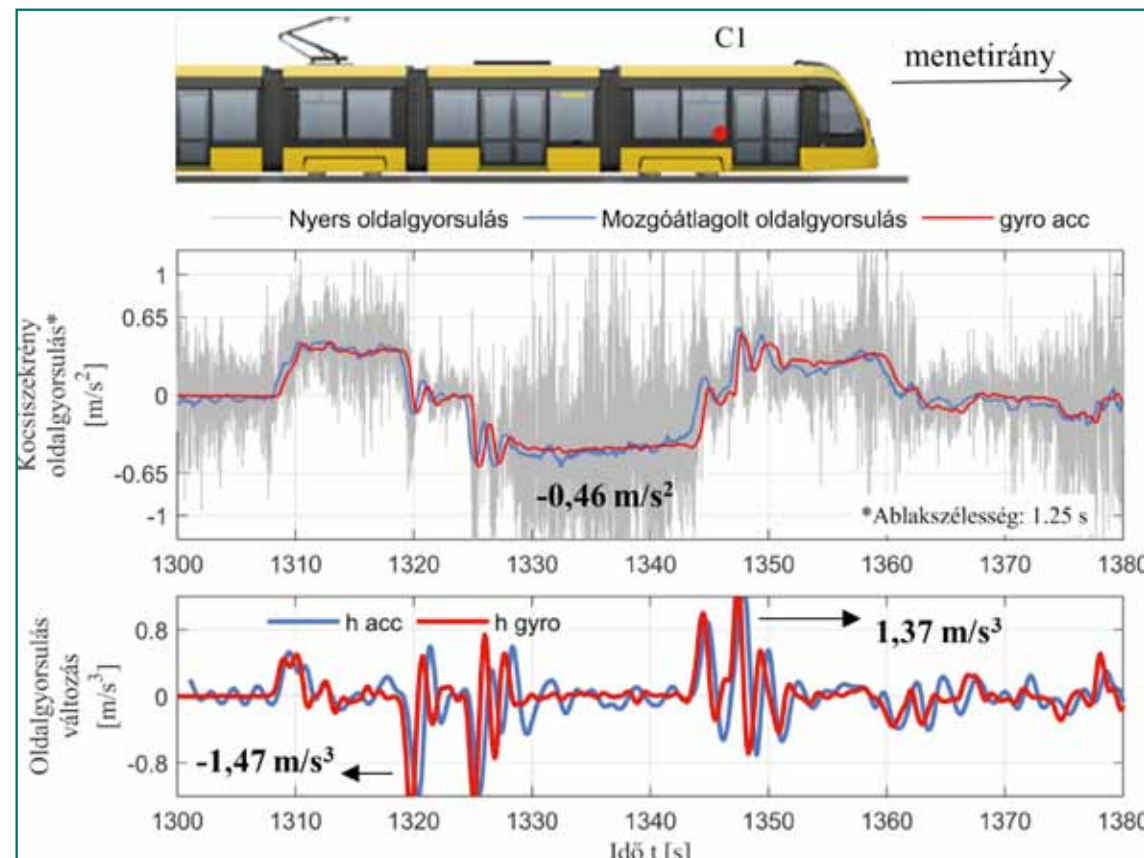
A két jármű összehasonlítása a Lánchíd alagútban történt. A CAF villamoson történt mérés kiértékelése a 12. ábrán, a TATRA-n végzett mérés kiértékelése a 13. ábrán látható. A kiértékeléseknél két grafikon látható, az első az oldalgyorsulást, a második az oldalgyorsulás-változást mutatja. Az oldalgyorsulás adatok nagyon zajosak, a nyers adatok szürke színnel láthatóak a grafikonokon. A mozgóátlagolással simított oldalgyorsulás adat kék színnel van jelölve, míg a piros a giroszkópból számolt oldalgyorsulás ($gyro\ acc$).

Az oldalgyorsulás-változást numerikus deriválással határoztam meg. A kék színű grafikon a mozgóátlagolt oldalgyorsulásból számított oldalgyorsulás-változás ($h\ acc$).

Ez gyakorlati érték, mely a dölést tartalmazza, emiatt nagyobbak az értékek. A piros színű grafikon a giroszkópból számolt oldalgyorsulásból meghatározott oldalgyorsulás-változás ($h\ gyro$). Ez egy dőlés nélkül, elméleti érték. A kialakuló oldalgyorsulás-változás értékek táblázatos formában is láthatók (3. táblázat).



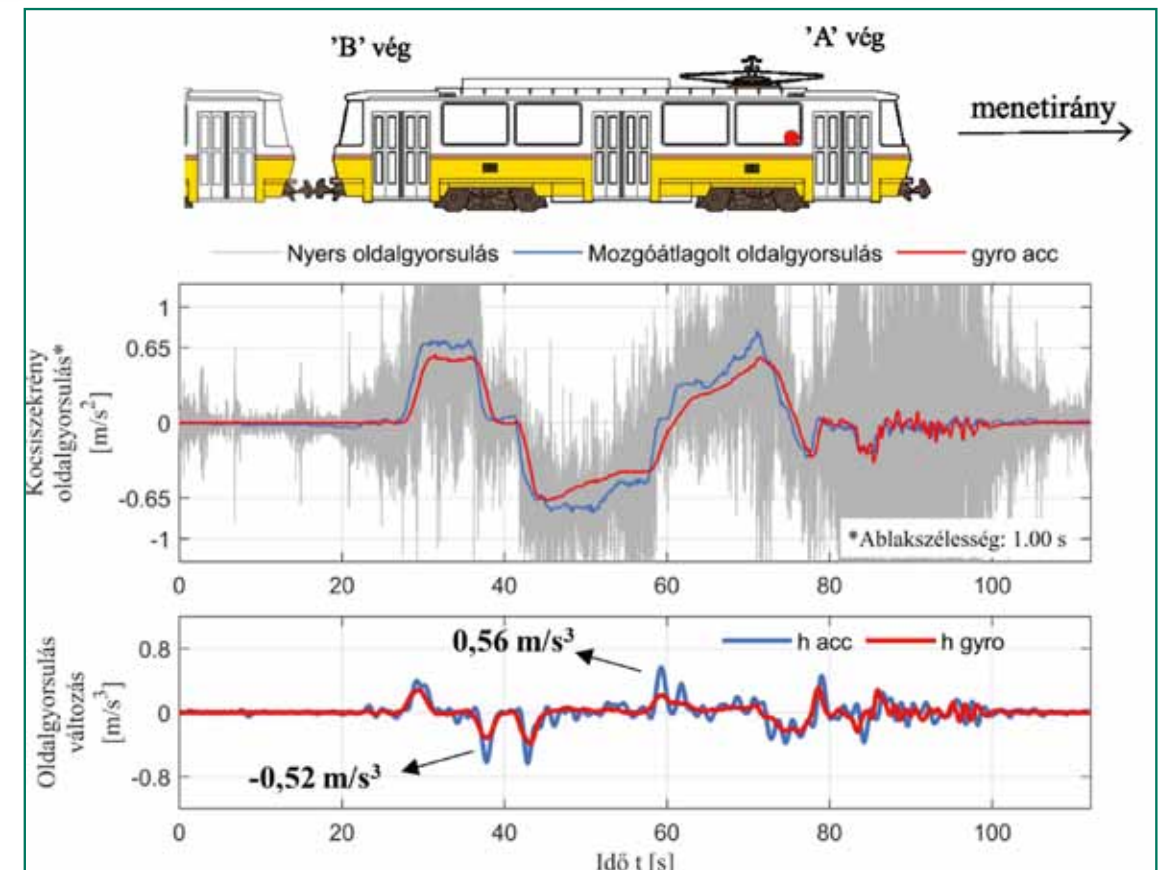
11. ábra. Keresztirányú utazási komfort szempontjából mértékadó keresztmetszet meghatározása TATRA járművön. A színes pontok azt jelölik, hogy hol volt a telefon. A grafikonon az azonos színnel jelölt diagram jelenti a telefon által mért oldalgyorsulás adatokat.



12. ábra. Mérés a Lánchíd alagút jobb vágányán, CAF villamoson.

Látható, hogy átmenetiíves kialakítás esetén egyik járműnél sem alakulnak ki határértéket meghaladó igénybevételek. Szélsőséges geometria (kissugarú tisztaív) esetén azonban a CAF-on keletkező igénybevételek sokkal nagyobbak, kétszer-háromszor akkora, mint a TATRA-n kialakulóak. A hagyományos forgóvázú járművek (pl. TATRA) esetén a forgóváz szabadon el tud fordulni a jármű alatt. Ennek következtében a kissugarú ívek, valamint egyenes és ív

közvetlen csatlakozása nem okoznak többlet igénybevételt. Ezzel szemben a multicuklós (CAF) és a többszörösen rövid-csuklós (Combino) járművek hordmúje nem tud elfordulni a modul alatt. A hordmú és a kocsiszekrény mozgása megegyezik, míg a forgóvázú járműveknél a forgóváz a kocsiszekrénytől függetlenül nagy szabadságfokkal tud mozogni. A 100%-ban alacsonypadlós járművek tehát nem alkalmasak kissugarú ($R < 25$), egyenes és ív közvet-



13. ábra. Mérés a Lánchíd alagút jobb vágányán, TATRA villamoson

3. táblázat: Lánchíd alagút jobb vágányán mért oldalgyorsulás változás értékek CAF és TATRA villamos esetén

Ívazonosító	4j		5j		6j	
	AIE	IV	IE	IV	IE	AIE
Sebesség [km/h]	12,33±0.47		11,94±0.49		11,02±0.52	
CAF Urbos 3 (C2 modul)	h_gyro [m/s³]:		0.24	1.20	1.14	0.86
	h_acc [m/s³]:		0.31	1.47	1.25	0.99
Sebesség [km/h]	14,39±0.59		11,74±1.02		10,94±2.46	
TATRA T5C5 (1. koci eleje)	h_gyro [m/s³]:		0.31	0.31	0.30	0.23
	h_acc [m/s³]:		0.39	0.52	0.50	0.56

■ 0-0.4; ■ 0.4-0.8; ■ 0.8 <

len csatlakoztatásával kialakított íveken való közlekedésre, legalábbis hosszútávú üzemeltetésük ezeken az íveken a pálya és járműfenntartási költségek szempontjából sem gazdaságos. A CAF villamosoknak nem kéne olyan vonalakon közlekedniük, ahol ilyen geometriai kialakítások vannak. Ezen járművek esetén kifejezetten nagy szükség van arra, hogy az ívek átmenetiíves kialakításúak legyenek. Az átmenetiív csak nagy sugárérték ($2000 < R$) fölött hagyható el. A tisztaátmenetiíves íveknek kedvező futási tulajdonságai vannak, célszerű lenne több ilyen kialakítású ívet alkalmazni a hálózaton.

Másik megoldás lehet más kialakítású alacsonypadlós járművek beszerzése (bár ez a nemrég lezajlott és még folyamatban lévő járműbeszerzések miatt kétséges). A menetirány szerinti első forgóváz kapja a legnagyobb igénybevételt, így kulcsfontosságú, hogy ez az

első forgóváz képes legyen elfordulni a kocsiszekrényhez/alvázhhoz képest. Vannak olyan villamosok, melyek forgóvázú kialakításúak és 70%-ban alacsonypadlósak, illetve léteznek járműgyártók, akiknek van 100%-ban alacsonypadlós járművük hagyományos kocsiszekrény alatt elfordulni képes forgóvázal. Ezeknek a járműveknek nem okoznak problémát a kissugarú ívek, és (részben) az alacsonypadlós elvárásokat is teljesítik.

Irodalom:

- [1] Mar Rivas „TramLink und CityLink Familien – die neue Generation von Strassenbahnen und Stadtbahnen” (Stadler Rail Valencia S.A.). 2016.
- [2] „Közüti vasúti pályaépítési és fenntartási műszaki adatok és előírások”. 2007.

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 Építőgépi 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
Október 23. u. 18.
<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 Mélyépipítő 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
Telefon:+ 36 1 358 5061
<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.

ITERCHIMICA S.R.L.

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

KONSTRUKTÍV Kft.

H-1165 Budapest
Nyílvesztő u. 24.
<http://www.iterchimica.it/>

Mélyépipítő 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/>

Prímaenergia Zrt.

H- 1117 Budapest
Alíz utca 3.
Levelezési cím: 3014 Hort, Pf.29.
<https://www.primaenergia.hu/>

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-Waisenhorn-Gasse 18.
https://www.jrs.de/jrs_de/

Rodcont Kft.

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

TPA HU Kft.

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

STA Aszfalt-Tech Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.

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

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 Nagykánizsa, 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.*