

LXVI. ÉVFOLYAM 2. SZÁM
2016. ÁPRILIS

KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI SZEMLE



A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI EGYESÜLET SZAKLAPJA
ALAPÍTVÁ 1951-BEN

Aszfaltburkolat-típusok optimalizálása

A részben EU-finanszírozású DURABROADS-projekt célkitűzését költséghatékony, környezetbarát és optimált utak tervezése és fejlesztése képezi. A cikk a projekt két jelentését ismerteti. Az egyik a nagy forgalmú európai utak jó teljesítményének korlátaival, a másik az éghajlatváltozás ilyen utakra gyakorolt hatásával foglalkozik.

Dr. habil. Gáspár László – Bencze Zsolt

KTI Közlekedéstudományi Intézet

Nonprofit Kft.

e-mail: gaspar@kti.hu, bencze@kti.hu

1. ELŐZMÉNYEK

Az Európai Unió 7. Kutatási és Technológia-fejlesztési Keretprogramjához kapcsolódva, a DURABROADS (Cost-effective DURABLE ROADS by green optimized construction and maintenance; Költséghatékony, tartós utak, „zöld” optimált építés és fenntartás révén) 2013-ban egy nemzetközi konzorcium 42 hónapos projekt részbeni finanszírozását nyerte el [1]. A projektet a spanyol Universidad de Cantabria (UNICAN) vezeti; míg a partnerek közé tartozik – a spanyol ACCIONA, a német FRAUENHOFER, a spanyol TECNALIA, a norvég Norwegian Graphite, az angol BSRIA, a lett Inzeierbuve Sia (IB) és az ERF mellett – a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. is. A magyar kutató intézet a 2. munkabizottságot is vezeti.

2. A PROJEKT CÉLKITŰZÉSEI

A DURABROADS-projekt fő célkitűzését költséghatékony, környezetbarát és komplex módon optimált utak tervezése, fejlesztése és az eredmények demonstrálása képezi. Ezt a célt olyan innovatív tervezéssel kívánják elérni, amely a különlegesen nagy és nehéz forgalmi terhelés, valamint az éghajlatváltozásból származó szélsőséges klimatikus hatások szinergikus igénybevételének ellenálló útpályaszerkezeteket eredményez. Emellett

a nanotechnológia alkalmazásával „zöldebb” útépitési anyagok előállítására is törekszik. További cél az Európában általánosan alkalmazott útépitési, -fenntartási és -felújítási technológiák optimalizálása. Emellett az elterjedt aszfalt kopórétegtípusoknak és burkolatfelújítási technológiáknak az említett szélsőségesen nagy terhelésekkel szembeni ellenállásának korláta- it is feltárták, valamint az útkezelők számára ebben a tárgykörben ajánlásokat fogalmaztak meg. A célkitűzések közé tartozott a legmegfelelőbb karbon nanoanyagoknak a kiválasztása is, amelyeknek felhasználásával a bitumenes kötőanyagok teljesítményét érdemlegesen javítani tudják. Részletes vizsgálatnak vetik alá az ily módon javított kötőanyagoknak az alkalmazási lehetőségét a mérsékelt meleg aszfaltkeverékekben. Kitérnek ezen kívül a bontott aszfaltnak és különböző ipari melléktermékeknek ezekben az „optimalizált” keverékekben való, minél nagyobb mértékű felhasználásának lehetőségeire. Véges elemes módszert alkalmaznak a különböző szélsőséges időjárási és forgalmi terhelésnek kitett útpályaszerkezetek optimalizált, hosszú élettartamot ígérő megtervezéséhez. A projekt eredményeit demonstrációs projektek és költség-haszon elemzések egészítik ki. Javaslatot készítenek egyrészt azokra a kritériumokra, amelyek alapján a „DURABROADS-technológiák” a Zöld Közbeszerzésekben szerepeltethetők lehetnek, másrészt pedig a tárgyban tervezett szabványosítást is előkészítik.

3. A PROJEKT MUNKABIZOTTSÁGAI

A DURABROADS-projekt munkabizottságai, irányító partnereikkel a következők:

- 1. munkabizottság: Projektmenedzsment (koordinációs stratégia kialakítása; minőségbiztosítási terv készítése; a projekt koordinálása; az EU által igényelt időszakos jelentések összeállítása), vezető: UNICAN,
- 2. munkabizottság: Útépítési anyagok és eljárások vizsgálata és optimalálása (részleteit lásd később), vezető: KTI,
- 3. munkabizottság: Kötőanyagok modifikálására megfelelően bizonyuló karbon nanoanyagok kialakítása és vizsgálata (különböző karbon nanoanyagok méreteinek és minőségének vizsgálata, a kötőanyagok modifikálásához legalkalmasabb változat kiválasztása érdekében; az elterjedt modifikáló polimerek és a karbon nanoanyagok között kialakuló kötés vizsgálata; a bitumenes kötőanyagok előállítására szóba jövő vegyületek és keverési eljárások felmérése; a választott, tulajdonságaiban módosított bitumen üzemi méretekben való előállításának előkészítése), vezető: TECNALIA,
- 4. munkabizottság: Ipari mellékterméket és visszanyert aszfaltot tartalmazó, grafitral modifikált kötőanyagú, mérsékelt meleg aszfaltok technológiájának kidolgozása (az adalékok kiválasztása, valamint a szóba jövő ipari melléktermékek és visszanyert aszfaltok vizsgálata; grafitral modifikált kötőanyagú, ipari mellékterméket és/vagy visszanyert aszfaltot tartalmazó, mérsékelt meleg aszfaltkeverékek receptúrájának a kidolgozása; grafitral modifikált kötőanyagot tartalmazó BBTM – aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez – receptúrájának megtervezése), vezető: ACCIONA,
- 5. munkabizottság: Az éghajlatváltozásból származó terheléseknek és a szélsőségesen nagy forgalmi igénybevételeknek az eddigieknél ellenállóbb, optimált útpályaszerkezetek kifejlesztése (új pályaszerkezetek és -felújítások tervezésére szolgáló, numerikus, szimulációs szoftver alkalmazásához szükséges alapadatok előállítása; az innovatív, hosszú élettartamú és a szinergikus, szélsőségesen nagy időjárási és forgalmi igénybevételeknek ellenálló pályaszerkezetek optimált tervezése; a DURABROADS-projekt során kifejlesztett, új termékek életciklus jellemzőinek a hagyományos anyagokéval történő összehasonlítása), vezető: UNICAN,

- 6. munkabizottság: Demonstráció és megfeleltetőségigazolás (a DURABROADS-pályaszerkezet kísérleti szakaszon történő kipróbálása, kontrollszakasz mellé építésével, és teljesítményük legalább két éven keresztül történő figyelemmel kísérése), vezető: ACCIONA,
- 7. munkabizottság: Útmutató készítése és szabványelőkészítés (a kialakított aszfalttechnológiára vonatkozó útmutató készítése; kritériumok megállapítása a DURABROADS-projekt környezetvédelmi koncepciójának a Zöld Közbeszerzésekben való szerepeltetéséhez; a DURABROADS-termékre vonatkozó szabvány előkészítéséhez szükséges tevékenységek végrehajtása), vezető: ERF,
- 8. munkabizottság: Kapcsolattartás, valamint a projekt eredményeinek közkinccsá tétele és hasznosítása (az eredmények terjesztési tervének összeállítása; kommunikációs anyagok készítése, workshop-ok és a zárókonferencia megszervezése; kapcsolat tartása Európán kívüli – elsősorban amerikai – intézményekkel annak érdekében, hogy az esetleges párhuzamos kutatást el lehessen kerülni; a DURABROADS eredményhasznosítási stratégiai terv készítése), vezető: ERF.

4. A PROJEKT 2. MUNKABIZOTTSÁGA

A DURABROADS-projekt 2. számú, „Útépítési anyagok és eljárások vizsgálata és optimalálása” tárgyú munkabizottságában a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. vezetésével (képviselői: dr. Gáspár László kutató professzor és Bencze Zsolt tudományos munkatárs) a spanyol UNICAN és ACCIONA, a lett IB és az ERF (European Road Federation, Európai Útügyi Szövetség) szakemberei vettek részt.

A munkabizottság fő célkitűzését az Európában elterjedten alkalmazott aszfalt kopórétegeknek és burkolatfelújítási módszereknek a szélsőséges környezeti és forgalmi terhelés kombinációjával szemben tanúsított ellenállás szempontjából végrehajtott optimalálása képezte. Ezzel a közútkezelőket hozzásegítik ahhoz, hogy vagyongazdálkodási tevékenységeik a korábbiaknál költségkímélőbbek, biztonságosabbak és a környezetet kímélőbbek legyenek.

A munkabizottság 2.1 számú munkacsoportja azokat az európai úthálózatot érő közép- és hosszú távú hatásokat számszerűsítette, amelyek az éghajlatváltozás szélsőséges időjárási eseményeinek és a közúti korridorok (közlekedési folyosók) rendkívül nagy nehéz járműforgalmának szinergikus terheléséből származnak.

A munkabizottság 2.2 számú munkacsoportja – az élettartam-mérnöki tudomány [2] alapelveinek messzemenő hasznosítása mellett – tartóssági, forgalombiztonsági, költséghatékonysági, környezetvédelmi és társadalmi-gazdasági optimalizációs kritériumok kialakítását tekintette feladatának.

A munkabizottság 2.3 számú munkacsoportja az európai aszfalt kopórétegtípusok és burkolatfelújítási eljárások elemzését és komplex optimalizálását hajtotta végre.

A 2. munkabizottság a nyert eredményeket három részjelentés (Deliverables) formájában tette közzé. A következőkben ezek egyes elemeit ismertetjük.

5. A D2.1 RÉSZJELENTÉS

A D2.1 „Egyes közúti eljárások korlátainak feltárása” című részjelentés [3] a lett IB koordinálásában készült el. A 99 oldalas anyag az Európában elterjedten alkalmazott aszfalt kopórétegekkel, az útépitési anyagok tartósságát csökkentő hatásokkal, az aszfaltkeverékek környezetvédelmi szempontjaival, burkolatfelújítási technológiákkal, a jellegzetes európai pályaszerkezet-terve-

zési módszerekkel, illetve az egyes közúti eljárásokkal kapcsolatos kihívásokkal és korlátokkal foglalkozott.

5.1. Jellegzetes aszfalt kopórétegek Európában

A részjelentés e fejezete a WP2 munkabizottság tagjai által kezdeményezett, 17 európai ország szakembereinek a részvételével végzett, kérdőíves felmérés eredményein alapult. Az alapvetően eltérő éghajlati és forgalmi viszonyok következtében, a következő négy európai körzetet a munkabizottság külön vizsgálta:

- Észak-Európa (hideg időjárás, közepes forgalmi terhelés),
- Nyugat-Európa (nedves éghajlat, nagy forgalmi terhelés),
- Dél-Európa (meleg éghajlat, közepes forgalmi terhelés),
- Közép-Európa (szárazföldi éghajlat, kis forgalmi terhelés).

A kis, a közepes, illetve a nagy forgalmi kategóriába sorolás ebben az esetben az egyes körzetek legnagyobb nehéz forgalmú útszakaszai (a TEN-T utak) átlagos forgalomnagyságainak egymáshoz viszonyításából ered.

Észak-Európán kívül, a többi körzetben a nagy nehéz forgalmi terhelésű közlekedési folyosók kisebb-nagyobb hányadában merev (betonburkolatú) pályaszerkezeteket is építenek. Ezek azonban a jelen vizsgálatoknak nem képezték témáját.

1. táblázat: Jellegzetes európai aszfalttípusok, régióként

Rétegtípus	Észak-Európa	Nyugat-Európa	Közép-Európa	Dél-Európa
Kopóréteg	AC	SMA, PA	SMA, AC	AC, BBTM, PA
Kötőréteg	AC	AC, EME	AC	AC
Alapréteg	AC	AC	AC	AC, HMM

AC	aszfaltbeton,
SMA	zúzalékvázás masztixaszfalt,
PA	porózus aszfalt,
BBTM	aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez,
EME	nagy modulusú aszfalt kopóréteg,
HMM	nagy modulusú aszfalt alapréteg.

Az ideális aszfaltburkolattal szemben a következő fő követelményeket állítják: maradó alakváltozással szembeni ellenállás, fáradással szembeni ellenállás, termikus repedések képződésével szembeni ellenállás, fagyás-felengedési ciklusokkal szembeni tartós ellenállás, vízzáróság, bedolgozhatóság, rugalmasság, kedvező felületi textúra.

Az 1. táblázat szemlélteti az egyes európai körzetek legelterjedtebben alkalmazott aszfaltretegfajtaíát.

Nyugat- és Közép-Európában, nagy nehé forgalmú utakon az SMA (zúzalékvázmaszxtixaszfalt), míg a másik két körzetben az AC (aszfaltbeton) a leginkább elterjedt aszfaltkopórétég típus.

5.2. Az aszfaltok tartósságát csökkentő hatások

Az aszfaltretek tartósságát kedvezőtlenül befolyásoló tényezők között az egyik legfontosabb szerepet a keverék kötőanyagának, a bitumennek az öregedése játssza. Ez utóbbinak négy eleme van (lehet):

- oxidáció (a levegő oxigénjének hatására a bitumenben olyan poláris csoportok alakulnak ki, amelyek nagyobb molekulásúlyú micellákba állnak össze; ennek következtében pedig a kötőanyag viszkozitása megnövekszik; a szol típusú bitumenek sokkal kevésbé oxidálódnak, mint a gél típusúak),
- az illékony elemek elpárolgása (e folyamat sebességét elsősorban a hőmérséklet befolyásolja; az útépitési bitumenek esetében ez a tényező az öregedés folyamatában viszonylag kis szerepet játsszik),
- a fizikai keményedés (a hőmérsékletcsökkenés következményeként áll elő, és az út üzemi hőmérsékletén folytatódik; a bitumenmolekulák irányváltásának és a gyanták kristályosodásának a következménye; a folyamatot a lassú lehűlés felgyorsítja; a fizikai keményedést a kötőanyag és adalékanyag közötti kölcsönhatás jelentős mértékben befolyásolja),
- az izzadásból származó keményedés (ha a bitumen kiegyensúlyozatlan összetételű, az azal érintkező, porózus felületű adalékanyag-szemcsék a kötőanyag olajos részét lekötethet,

tik, a bitumenfilm keményedéséhez vezetve; a jelenség ritkán válik jelentős mértékűvé).

5.3. A burkolatromlás típusai

A közúti járművek terhéből származó és a környezeti igénybevételek szinergikus hatására az útpályán felületi romlások mutatkozhatnak, és/vagy a pályaszerkezet teherbírása is romlani kezd. Ezek a hibatípusok, – amelyek kialakulását időben és szakszerűen végrehajtott útfenntartási tevékenységekkel lassítani lehet – az aszfaltburkolatok esetében a következő kategóriákba sorolhatók [3]:

- a forgalombiztonságot és az utazáskényelmet hátrányosan befolyásoló, geometriai jellegű romlások, mint amilyen a pálya süllyedése, a burkolatszél süllyedése, kátyú, keréknyomvályú,
- főleg a balesetveszélyt növelő, adhéziócsökkenéssel összefüggő felületi hibatípusok, amelyek legjellegzetesebbjei a következők: felületi hámlás, adalékanyag-kipergés, az aszfaltretekéből származó aszfalthabarcspályára szivárgása (pályaizzadás), zúzalékszemek bitumenfilmjének elvesztése, az útpályán levő kőszemcsék forgalom alatti csiszolódása (polírozódása),
- a burkolat vízzáróságát és mechanikai ellenállását csökkentő hibafajták közé tartoznak a hosszirányú, a keresztirányú és a ferde burkolatrepedések, a burkolat sérült vagy kitöltetlen hézagai, valamint az általában fáradási eredetű, hálós és mozaikos repedések.

5.4. Környezetbarát építéstechnológiák

A mérsékelt meleg aszfaltkeveréket (WMA), a teljesítmény megőrzése mellett, a hagyományos típusoknál 10-50°C-kal alacsonyabb hőmérsékleten gyártják. Előnyös tulajdonságai a következők: a káros, üvegházhatású gázok csökkent mértékű kibocsátása (a „szénlábnyom” csökkentése), az energiafogyasztás és -költségek mérséklődése, a jobb bedolgozhatóság és tömöríthetőség, az építési szezon meghosszabbodása, a bontott aszfalt fokozott mértékű alkalmazhatósága, a burkolat korábbi forgalomba helyezése [4]. A világon jelenleg elterjedt, több mint 30 féle WMA-termék a következő három gyártási alapelv valamelyi-

két követi: habosított kötőanyagú technológiák, szerves anyagokat vagy gyantát hasznosító technológiák, vegyi adalékszerekkel operáló eljárások. A mérsékelt meleg aszfalt alkalmazása általában a hagyományostól eltérő gépi berendezést nem igényel, csupán az aszfalt-keverőtelepen kell kisebb módosítást végrehajtani.

A bontott aszfaltok újrahasznosítása (recycling) elsősorban az útpályaszerkezetek felső rétegeiben lehet költséghatékony, mivel a viszonylag alacsony költségű aszfaltgranulátum a jó minőségű és ezért drága bitumen felhasználását jelentős mértékben képes csökkenteni [5]. Az Egyesült Államokban az új aszfaltkeverékek készítésekor a bontott aszfalt adagolási aránya átlagosan 20%-os [6]. Európában meleg vagy mérsékelt meleg aszfaltkeverékek gyártásakor, a bontott aszfalt 47%-át hasznosítják [7]. Az aszfaltrétegek anyagának környezetbarát újrahasznosítására a következő eljárások állnak világszerte rendelkezésre: a meleg telepi újrahasznosítás, a meleg helyszíni újrahasznosítás, a hideg helyszíni újrahasznosítás, a pályaszerkezet teljes vastagságban történő újrahasznosításos felújítása. A magas újrahasznosított aránnyal gyártott aszfaltkeverékek esetében – az aszfaltgranulátum „öregedett” kötőanyagának ellensúlyozására – lágy bitumen adagolása elterjedt; ennek receptúratervezéséhez az amerikai NCHRP módszert fejlesztett ki [8]. Újrahasznosítási adalékszerek alkalmazása is elterjedt, bár sikeres alkalmazása nagy technológiai fegyelmet igényel [9].

Ipari melléktermékeknek az aszfaltkeverékek gyártásakor történő felhasználása szintén számos környezeti előnnyel kecsegtet. Az Európai Unió által finanszírozott egyik kutatási téma zárójelentése [10] a közúti szektor számára, az ipari melléktermékek következő fajtáit javasolja: bányameddő, kohósalak, granulált kohósalak, acélgyártási salak, szállópernye, pernyesalak, épületek bontási hulladéka, háztartási szemétsalak, hulladék gumiabroncs, üvegtörmelék, öntödei homok. Ezek közül a széles körben felhasznált acélgyártási salakok az aszfaltkeverék teljesítményét általában nem csökkentik, csupán – az acélgyártási salak szemeinek szögletessége és nagyfokú textúrája következtében – annak bedolgozhatósága válik nehezebbé [11].

Kopórétegben alkalmazva, nagy szilárdsága és tartóssága különlegesen hasznosnak bizonyul. Ezeknek a keverékeknek a repedésképződéssel szembeni ellenállása ugyan csökken, a csúszásellenállása és a keréknyomvályú képződésével szembeni ellenállása azonban a hagyományos összetételű aszfalt kopórétegénél tapasztaltaknál jóval kedvezőbb. Magas pH-értéke miatt, alkalmazásakor a közeli vízbázisok védelméről gondoskodni kell.

5.5. A vizsgálat alá vont burkolatfelújítási eljárások

Mivel a DURABROADS-projekt célkitűzései közé tartozott különböző útburkolat-felújítási technológiák komplex összehasonlítása is, az Európában általánosan alkalmazott változatokat áttekintettük, a következő eredménnyel:

- a.) Permetezéssel felületi bevonás (a síkos és/vagy repedezett pályára egy vagy több kötőanyagfilm + zúzalékszórás; előnyei: alacsony egységár, kedvező csúszásellenállás, csökkent vízködképződés; vízzáró útpálya; jellegzetes romlástípusai: általános vagy lokális zúzalékkipergés, a bevonat lehámlása).
- b.) Kevert felületi bevonás – Microsurfacing (célgépben zúzalékból, töltőanyagból, bitumenemulzióból, vízből és adalékszerből álló keverék előállítása és vékony rétegben az útpályára terítése; előnyei: kedvező csúszásellenállás, vízzáró útpálya, a kopóréteg oxidációjának lassítása, gyors forgalomba helyezés; jellegzetes romlástípusai: alatta levő pályarepedések felületi megjelenése, a réteg lehámlása).
- c.) Hidegaszfalt réteg (különböző szemnagyságú adalékanyagoknak bitumenemulzióval vagy hígított bitumennel való keveréke alkotja; előnyei: nem igényel melegítést, könnyen bedolgozható, alacsony hőmérsékleten is építhető, felhasználás előtt sokáig tárolható, bármekkora forgalmú út alaprétegeként alkalmazható; jellegzetes romlástípusai: a felület összeropedezése, zúzalékkipergés, kátyú képződése, a pálya deformációja)
- d.) Aszfaltbeton réteg (leginkább elterjedt technológia, különböző adalékanyag-fajták, töltőanyag és útépitési bitumen típusok hagyományos telepen, magas hőmérsékleten való

2. táblázat: Burkolatfelújítási eljárások, az alkalmazásukkal javítható pályahiba típusokkal

Pályahiba-típus	Aszfaltbeton	Felületi bevonat	Microsurfacing	Hidegaszfalt
Pályasüllyedés	x			
Szélrepedés	x			
Keréknyomvályú				x
Kátyúképződés	x			
Burkolathámlás	x			
Bitumenfilm-leválás		x	x	x
Felületi izzadás		x	x	x
Burkolatkopás		x	x	x
Hosszirányú repedés				
Keresztrepedés				
Hálós repedés		x	x	x
Hézag-meghibásodás	x		x	

összekeverése és a meghibásodott pályára terítése; előnyei: elterjedtsége következtében széles körű kutatással alátámasztott, és így kikristályosodott építéstechnológiák, a kötőanyag-fajták széles skálája áll rendelkezésre, viszonylag kedvező hideg és meleg viselkedése; jellegzetes hibatípusai: zúzalékkipergés, kátyúképződés, burkolatszél romlása, a pálya hosszirányú deformációja, keréknyomvályú képződése).

A 2. táblázat egyes burkolatfelújítási módszereket és az általuk javítható pályameghibásodástípusokat szemléltet.

5.6. Európa előtt álló jellegzetes úti ügyi kihívások

A DURABROADS-projekt partnerei által összeállított kérdőívre 17 európai ország szakemberei válaszoltak, így az általánosnak tekinthető tendenciákról és problémákról megbízható képet kaphattak.

A legtöbb európai ország pályaszerkezeteinek tervezéséhez katalógus alapú rendszert alkalmaz. Ezeket a könnyű alkalmazhatóság és az

jellemzi, hogy a fő választási kritérium a forgalom nagyság és a földmű teherbírása. Közös gyengeségük, hogy a helyi anyagokat és rendelkezésre álló módszereket nem képesek tekintetbe venni, emiatt mindig fennáll a túlméretezés veszélye. Az analitikus pályaszerkezet-tervező módszerek az új(szerű) anyagok számításba vételéhez sokkal rugalmasabbaknak bizonyulnak. Ez a probléma éppen a DURABROADS-projekt által vizsgált nagy nehéz forgalmi terhelésű útpályaszerkezetek esetében válik súlyossá, ahol a pályaszerkezeteknek a szélsőséges időjárási hatások és a hatalmas mechanikai igénybevétel szinergikus terhelésének kellene tartósan megfelelni. Az a követelmény is természetesnek tekinthető, hogy a szükségessé váló felújítási technológiáknak is viszonylag hosszú burkolatciklusidőt kell biztosítani, miközben a lehető legkisebb mértékben szennyezik a környezetet.

Nagy kihívást jelentenek az úti ügy számára a klímaváltozás következményeként egyre gyakrabban bekövetkező olyan szélsőséges, időjárási események, mint például a tartós, nagyon meleg léghőmérséklet vagy a csapadékviszonyok extrém alakulása. A külön vizsgált európai körzetek éghajlati jellegzetességei eltérnek

egymástól. Észak-Európában az utak pályaszerkezetének főleg az alacsony hőmérsékletnek, a hónak és a jégnek kell ellenállnia. Dél-Európában a nagy nyári meleg jelenti az igazi kihívást; ugyanakkor a közép-európai útkezelőknek mindkét szélsőséggel szembe kell szállniuk. Nyugat-Európában pedig a rendkívül nagy, nehéz terhelésű közúti forgalom meglehetősen csapadékos időjárással kombinálódik.

A kérdőívre adott szakértői válaszok feldolgozásából nyilvánvalóvá vált, hogy az európai útkezelők – körzetektől függetlenül – a „megszokott” aszfalt kopórétegtípusokat részesítik előnyben, innovatív technológiák gyakorlatilag nem jönnek szóba.

Bár a DURABROADS-projekt partnerei az ez irányú európai gyakorlatban – szigorúan véve – hiányosságokat nem találtak, mégis megemlíthető néhány olyan kutatási-vizsgálati terület, amelyben az elérni remélt eredmények elősegíthetők, hogy a kontinens közúti szektora az említett kihívásoknak az eddigieknél jobban megfeleljen.

A készítendő pályaszerkezet-típusnak (ezzel együtt a kopóréteg fajtájának) konkrét esetben történő „optimális” kiválasztásához olyan komplex, tudományos alapokon nyugvó módszertanra van szükség, amely – egyebek mellett – a helyi forgalmi paramétereket, az általaj tulajdonságait, az alkalmazni kívánt alapanyagok minőségjellemzőit és a mikroklímát figyelembe veszi.

A hosszú élettartamú pályaszerkezetek – különösen a hosszú élettartamú kopórétegek – tervezésének és építésének célszerű az eddigieknél jóval nagyobb hangsúlyt kapnia [12]. Így érhető el a drága útfelújítások szükségességének időbeni elodázása, ami a beavatkozások során elkerülhetetlen, a nagy úthasználói többletköltségek felmerülése szempontjából is kedvező körülmény.

A komplex igénybevételeknek fokozott mértékig megfelelni képes aszfalttípusok kifejlesztése a korai burkolatromlások bármelyik formájának bekövetkeztét valószínűtlenebbé tenné. Megoldást kellene találni arra, hogy az észak-

európai országokban, az aszfalt kopórétegek számára – a havas-jeges útviszonyok miatt – az év mintegy felében kötelezően alkalmazott szöges abroncsok extrém burkolatkoptatási, keréknyomvályú-képződési hatásának tartósan ellenálló technológiákat dolgozzanak ki.

Aszfalttechnológiai innovációkra van szükség ahhoz, hogy a Dél- és Nyugat-Európában elterjedten alkalmazott, porózus aszfalt kopórétegek gyors kötőanyag-öregedését és idő előtti fáradását vissza lehessen szorítani.

Az útfelújítási technológiák továbbfejlesztésének javasolt irányai: a beavatkozási időtartam csökkentése, a felújítást követő ciklusidő növelése, a környezetvédelmi és biztonsági szempontok fokozott figyelembevétele.

Az élettartam-mérnöki tudomány alapelveinek [13] az útpályaszerkezetek tervezésekor történő hasznosítása az állandóan növekvő, forgalmi és környezeti terhelés szinergikus hatásának tartós elviseléséhez előnyös lehet.

6. A D2.2 RÉSZJELENTÉS

A D2.2 „Az éghajlatváltozás közép- és hosszú távú következményei által az európai úthálózaton létesített, nagy nehéz forgalmú „korridorokra” gyakorolt hatás számszerűsítése” című részjelentés [14] a KTI koordinálásában készült el. A 61 oldalas anyag az Európában elterjedten alkalmazott aszfalt kopórétegek kritikus tönkremeneteli formáival, az éghajlatváltozás utakra gyakorolt hatásával, a közúti korridorok burkolatromlásával, a szélsőséges éghajlati és mechanikai terhelés szinergikus hatásával, valamint az európai főutakat ért hatások számszerűsítésére szolgáló módszerre tett javaslattal foglalkozott.

6.1. Egyes aszfalt kopórétegtípusok jellegzetes tönkremeneteli formái

A kérdőívekre a 17 európai ország szakembereitől kapott válaszok feldolgozásakor az a döntés született, hogy – az éghajlati és a forgalmi eltérések következtében – négy körzetet (Észak-, Nyugat-, Dél- és Közép-Európát) külön-külön vizsgáljunk. A körzetek egyes jellemzőit az 5.1

pontban foglaltuk össze, itt csak azt ismételjük meg, hogy nagy nehéz forgalmú utakhoz Észak-Európában az aszfaltbeton (AC), Nyugat-Európában a zúzalékvázas masztixaszfalt (SMA) és a porózus aszfalt (PA), Dél-Európában az AC, az aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez (BBTM) és a PA, míg Közép-Európában az AC és az SMA a leginkább elterjedt kopórétégtípus.

A kopórétégekkel szemben támasztott követelmények között – a fáradási ellenállással összefüggő, minden pályaszerkezeti rétegre vonatkozó elvárás túlmenően – a következők emelhetők ki:

- csúszásellenállás (a forgalombiztonságot, a gumibroncsok kopását és az üzemanyag-fogyasztást érdemlegesen befolyásoló paraméter),
- hossz- és keresztirányú felületi egyenletesség (elsősorban az utazáskényelemre van hatása),
- gördülőzaj (a járművön belül és azon kívül),
- az útburkolat felületének fényvisszaverő képessége (a járművek éjszaka és/vagy nedves pályán való vezetésekor válik fontossá),
- az útpálya – burkolatfelület – vízelvezetése (a vízen csúszás és a vízködképződés veszélyének csökkentésére).
- Az aszfaltkeverék-tervezés egyik fő feladata, hogy az aszfaltréteg a felsorolt követelményeknek minél nagyobb mértékben megfeleljen. A műszaki átadásakor, a kopórétég – ideális esetben – kitűnő felületi és szerkezeti jellemzői, a jármű és környezet szinergikus terhelésének hatására, fokozatosan addig kezdenek romlani, amíg az állapotparaméterek közül az egyik, – a kritikus paraméter – a szóban forgó úttípustól függően megállapított „beavatkozási szintet” el nem éri. Ezen szint után az út további üzemeltetése a kezelő számára többé már nem gazdaságos, és/vagy az úthasználóknak balesetveszélyes helyzetet teremt [15]. A pályaszerkezet-tervezőknek fő ambíciója, hogy ennek az említett burkolatromlásnak az időpontját minél inkább elodázzák, azaz a lehető leghosszabb ciklusidőt ériék el. Közismert, hogy az útburkolatok romlásának két fő formája ismeretes:
 - bomlás (hámlás, zúzalékkipergés, repedés képződése, kátyúk kialakulása stb.),
 - alakváltozás (a burkolat hossz- és keresztirányú deformációja, keréknyomvályú képződése stb.)

- Európa vizsgált körzeteiben azonban a jellegzetes (tipikus) burkolat tönkremeneteli formája nem egységes:
 - Észak-Európa: bomlás,
 - Nyugat-Európa: bomlás,
 - Dél-Európa: alakváltozás,
 - Közép-Európa: bomlás és alakváltozás.

Ez persze nem jelenti azt, hogy Európának ezekben a régiókban az előzőekben nem említett romlástípus egyetlen nagy nehéz forgalmú úton sem válik soha mértékadóvá.

Az egyes európai körzetekben elterjedt burkolatfenntartási-felújítási módszerek kevéssé különböznek egymástól, csupán teljesítményük (várható ciklusidejük) függ a konkrét forgalmi és környezeti terhelés szinergikus hatásától. A DURABROADS-projekt vizsgálatát a következő fenntartási-felújítási technológiákra terjesztette ki:

- hideg burkolatmarás,
- (permetezéssel) felületi bevonás,
- (kevert) felületi bevonás vagy microsurfacing,
- újraburkolás emulziós kavicsal,
- újraburkolás hideg aszfaltkeverékkel,
- újraburkolás mérsékelten meleg aszfaltkeverékkel,
- újraburkolás meleg aszfaltkeverékkel,
- pályaszerkezet-erősítés aszfaltrétegekkel, a bontott anyag újrahasznosítása nélkül,
- pályaszerkezet-erősítés betonréteggel, a bontott anyag újrahasznosítása nélkül,
- bontott anyag hideg, helyszíni újrahasznosítása,
- bontott anyag meleg, helyszíni újrahasznosítása,
- bontott anyag telepi, meleg újrahasznosítása.

Ebből a komplex vizsgálatból a különböző kátyúzási és repedéskiöntési eljárásokat – mint „rutinfenntartási” és nem a teljes útpálya állapotát javító technológiákat – kizártuk.

6.2. A klímaváltozás és az utak

Az éghajlatváltozás (vagy klímaváltozás) az éghajlatnak helyi vagy globális szinten történő, tartós és jelentős mértékű megváltozását jelenti [16]. A változás az átlagos hőmérsékletre, az átlagos csapadéokra vagy a széljárásra terjedhet

ki. Az éghajlatváltozás jelentheti az éghajlat változékonyságának módosulását is. Egy adott klímaváltozás akár néhány évtized alatt is végbemehet. Bekövetkezhet a Földön végbemenő természetes folyamatok (pl. a földrészek tektonikus mozgása) következményeként, a bolygót érő külső hatások (pl. változások a Nap sugárzásának erősségében) eredményeképpen vagy akár emberi tevékenység folytán (pl. az üvegházhatású gázok termelése ilyen emberi tevékenység).

Az éghajlatváltozás hét fő bizonyítéka:

- magasabb hőmérséklet (a Föld átlagos hőmérséklete 1901 és 2012 között 0,89°C-ot növekedett),
- változó csapadékmennyiség és növekvő intenzitás (körzetenként változik, hogy az átlagos csapadékmennyiség nő vagy csökken),
- változások a növény- és az állatvilágban (az évszakokban tapasztalható módosulások következtében),
- a tengerszint változása (ez 1900 óta átlagosan 19 cm-t emelkedett),
- a gleccserek fokozatos elolvadása,
- a tengerek jégtakarójának változó nagysága,
- a szárazföldi jégtakaró csökkenése (főleg Grönlandon és az Antarktison).

A tapasztalt kedvezőtlen irányú változást az elmúlt 50 évben elsősorban emberi tevékenység váltotta ki. A globális probléma kezelésének, a közeljövő egyik legfontosabb feladatának két fő irányba lehet:

- mitigáció (a negatív hatások visszaszorítása, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése révén),
- adaptáció (az éghajlatváltozás hátrányos következményeinek megszüntetése vagy legalábbis mérséklése).

A probléma tudományos igényű megközelítéséhez regionális éghajlati modelleket hasznosítanak; ezek a számszerűsített modellek a légkör, az óceánok, a szárazföldek és a jégtakaró közötti kölcsönhatásokat, a jövőben várható helyzetet szimulálják [17].

Elsősorban a következő éghajlatváltozási elemek tekinthetők az útburkolatokra veszélyeknek (fenyegetőknek) [18]:

- a.) szélsőségesen magas léghőmérséklet (jellegzetes Dél- és Közép-Európában),
- b.) szélsőségesen alacsony léghőmérséklet (jellegzetes Észak- és Közép-Európában),
- c.) szélsőséges csapadékmennyiség (jellegzetes Nyugat-Európában),
- d.) szélsőséges hidrológiai jellemzők (jellegzetes Nyugat-Európában),
- e.) pusztító szélviharok (jellegzetes Észak- és Nyugat-Európában).

Minden országban célszerű az utakkal kapcsolatos szabványokat és műszaki előírásokat olyan szempontból részletes vizsgálat alá venni, hogy azokat – az útügyi szektornak a klímaváltozás kihívásaival szembeni ellenállásának növelése érdekében – mely pontjaiban kellene módosítani, milyen ütemezéssel és mekkora pénzügyi igénnyel [19].

6.3. A szélsőséges éghajlati és mechanikai (forgalmi) terhelés szinergikus hatása

Mivel a klímaváltozás következményeként az utak burkolatára is a korábbiaknál gyakrabban hatnak szélsőséges időjárási jelenségek, érdemes három jellegzetes időjárási eseménynek a közúti járműterheléssel együttes hatását felmérni.

6.3.1. Járműterhelés alacsony hőmérsékleten

Nyilvánvaló, hogy gyorsabb fáradásra (korai repedésképződésre) alacsony hőmérsékleten inkább lehet számítani, mint melegben; ez a megállapítás különösen abban az esetben helytálló, ha a szóban forgó aszfaltkeverék hidegviselkedése nem megfelelő. Főleg az észak-európai közúti korridorok – TEN-T utak – pályaszerkezet-tervezésekor indokolt erre a körülményre tekintettel lenni.

6.3.2. Járműterhelés magas hőmérsékleten

Az útburkolatoknak a nehéz járműterhelés hatására bekövetkező maradó alakváltozása (deformációja), természetszerűen, magas léghőmérséklet mellett gyorsul fel. A világszerte elterjedten alkalmazott, hajlékony pályaszerkezet-tervezési módszerek általában azzal a feltételezéssel élnek, hogy a pályaszerkezeti rendszerek

a forgalmi és a környezeti terhelésre rugalmas módon reagálnak [20]. Ez a feltételezés azonban csupán alacsony burkolathőmérséklet és nagy járműsebesség mellett tekinthető teljes mértékben igaznak. Ezért aztán a Dél- és Közép-Európában gyakori magas léghőmérsékletekre számítva, az aszfaltrétegeket az alakváltozással szembeni fokozott ellenállásra kell tervezni.

6.3.3. Járműterhelés nedves útpályán

Az aszfalt kopóréteg viszonylag gyors bomlásának a veszélye áll fenn, ha az útpályán, intenzív eső vagy olvadó hó esetében, nagyobb vízmenyiség hosszabb ideig pang. Ezt a burkolatromlást a nem megfelelően működő víztelenítési rendszer és/vagy az aszfaltrétegek repedezettsége meggyorsítja. Emiatt olyan körzetekben, mint Nyugat-Európa, ahol az átlagosnál több a csapadék, az aszfaltkeverékeket, különösen a kopórétegeket, nagyon kis vízáteresztőképességgel indokolt tervezni.

7. JAVASOLT MÓDSZERTAN A KÖZÉP- ÉS A HOSSZÚ TÁVÚ BURKOLATLEROMLÁS MODELLEZÉSÉHEZ

A módszertan bemutatását az annak háttéréül szolgáló életciklus-elemzés és élettartam-mérnöki tudomány alapelveinek ismertetésével kezdjük.

7.1. Életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment, LCA)

Az ISO az életciklus-elemzést a következőképpen határozza meg [21]: „Valamely termék vagy szolgáltatás egész élettartama során felmerülő környezeti inputok, outputok és hatások meghatározása és értékelése.” Az iteratív eljárás alkalmazásának fő célja, hogy, a döntéshozatali funkció révén, a termékek és a szolgáltatások környezet-terhelését csökkentsék. Az LCA legfontosabb előnyei a következők:

- az egyetlen olyan eljárás, amelynek alkalmazásával a termékek és a szolgáltatások egész élettartamuk alatti környezeti hatásait jellemezni lehet (a vizsgálatba a választott élettartam végi stratégiát is beleértik),
- ISO-szabvány által szabályozott módszer,
- az LCA a termék vagy a szolgáltatás átfogó vizsgálatára terjed ki, nem csupán egyszerűen „át-

hárítja” a szennyezés forrását egyik ciklusidőről a másikra,

- segítségével egy vállalat döntéshozási mechanizmusa (mikrogazdasági szinten) ugyanúgy irányítható, mint ahogyan a kormány közérdeklő döntéseit is támogatni lehet (makrogazdasági szinten).

7.2. Az élettartam-mérnöki tudomány (Lifetime engineering) alapelvei

Az élettartam-mérnöki tudomány (angol elnevezéssel: lifetime engineering) olyan innovatív gondolat, amely azt a célt tűzi ki maga elé, hogy a hosszú élettartamú infrastruktúra-elemek és azok tervezésének, kezelésének és fenntartástervezésének viszonylag rövid távú jellege között fennálló feszültséget megoldja [22]. Fő elemei a következők:

- az egész élettartamra vonatkozó beruházástervezés és döntéshozatal,
- az egész élettartamra vonatkozó, komplex tervezés,
- az egész élettartamra vonatkozó, komplex útkelés és fenntartástervezés,
- a korszerűsítés, újrahasználat, újrahasznosítás és deponálás,
- a környezeti hatások egész élettartamra vonatkozó komplex felmérése és minimálása.

Az élettartam-mérnöki tudomány komplex módszertana a szóban forgó létesítménnyel összefüggő műszaki, teljesítményi paramétereket állapít meg és hasznosít annak biztosítására, hogy a létesítmény egész élettartama során a gazdasági, a környezeti, a kulturális, a társadalmi és a humán követelményeket teljesítse. Bár az élettartam-mérnöki tudományt az 1990-es évek első felében épületekre, ipari létesítményekre és hidakra fejlesztették ki, alapelvei az utakra is adaptálhatók [23].

7.3. Módszertan a burkolatok leromlásának modellezéséhez

A megoldandó feladat az európai nagy nehéz forgalmú úthálózat (gyakorlatilag a TEN-T hálózat) burkolatleromlásának modellezése volt. Ennek során a DURABROADS-partnerek a hajlékony és a félig merev pályaszerkezet-típusokra szorítottak annak ellenére, hogy egyes országokban

(pl. Németország, Belgium) az autópálya-hálózat nagy része merev pályaszerkezettel, betonburkolattal épül [14].

7.3.1. Teljesítményi mérőszámok és kritériumok

A fő teljesítményi mérőszámok a szóban forgó létesítmény várható teljesítményének olyan jellemzői, amelyek a tervezett teljesítőképesség elérése irányában való haladásról nyújtanak információt [24]. Jellemző formáik: határértékek, célértékek, dátumok, darabszámok, %-os értékek, variancia értékek, szórások, változási sebességek, időpontok, időtartamok, költségek, indexek, arányok, vizsgálati adatok. Az útpályaszerkezetekre vonatkozó teljesítményi mérőszámok általában az új és a felújítandó pályaszerkezetek tervezési eljárásaiban találhatók meg, illetve azokat különböző burkolatállapot-vizsgálati módszerek tartalmazzák [25]. Ezek a mérőszámok szoros kapcsolatban vannak a következő burkolatromlás-típusokkal:

- bomlás jellegűek (alulról induló, fáradási repedés; felülről induló, fáradási repedés; termikus repedés),
- alakváltozás jellegűek (a burkolat hosszirányú, maradó deformációja; a burkolat keresztirányú, maradó deformációja – jellemző formája a keresztmetszeti alakváltozás).

Minden egyes állapotparaméterhez teljesítményi kritériumokat jelölnek ki, amelyeket beavatkozási határnak is neveznek. Ha a burkolatromlás ezek közül akármelyik állapotszintet eléri, akkor a szóban forgó útszakasz további üzemeltetése már nem gazdaságos; ezért a burkolat ciklusidejének végét, illetve hosszát az ilyen vonatkozásban mértékadó (leggyorsabban romló) állapotparaméter határozza meg. Számos olyan aszfaltvizsgálati módszert fejlesztettek ki, amelynek alkalmazásával a vizsgált aszfaltkeverék valamelyik állapotparaméter szempontjából értelmezett, várható teljesítménye, több-kevesebb megbízhatósággal, előrebecsülhető.

7.3.2. Az átfogó módszertan

Európa egyes körszeteinek nagy nehéz forgalmi terhelésű útjain (a TEN-T hálózaton) a jellegzetes aszfalt kopórétegtípusokra és mértékadó tönkremeneteli formáikra vonatkozó informá-

ciók az 5. pontban megtalálhatók. Ezekből nyilvánvaló volt, hogy a régióként eltérő éghajlati jellemzők és a helyileg legnagyobb közúti forgalmi terhelések össze nem hasonlíthatósága a kopórétegtípusoknak csupán regionális optimalizálását tette lehetővé. Erre a célra lehetőség szerint, számszerűsített paraméterekkel operálva, összehasonlítási módszertant alakítottunk ki. Célként azt tűztük ki, hogy az egyes aszfalt-típusokat – közép- és hosszú távú teljesítményük alapján – össze lehessen hasonlítani, majd pedig a legkedvezőbbnek bizonyuló változatot optimálisnak tekinteni, hogy azt az európai útkezelők figyelmébe ajánlhassuk. Megjegyzésre érdemes, hogy az egyre inkább terjedő, mérsékelt meleg aszfaltkeveréknek kopórétegben történő felhasználása is, mint összehasonlítási változat szóba jött; erről azonban a munkabizottság tagjai azért mondtak le, mert a WMA hosszú távú teljesítményéről világszerte még csak korlátozott mennyiségű információ áll rendelkezésre.

Az élettartam-mérnöki tudomány alapelvei segítségével voltak az aszfalt kopórétegtípusok optimalizálását célul kitűző eljárás kialakításakor. Ennek megfelelően a burkolatváltozatokat – azok teljes élettartamára kivetítve – a következő négy szempontból vizsgáltuk:

a.) Funkcionális teljesítmény

Az értékeléshez a következő lépésekre van szükség: a szóban forgó kopórétegtípustól elvárt funkciók összegyűjtése; a várható burkolatromlási formák megállapítása; a mértékadó (leggyorsabban, a többiekkel megelőzve, beavatkozási határát elérő) állapotparaméter kiválasztása; választott burkolatállapot-paraméterek viselkedési modelljének kimunkálása (a forgalmi és a környezeti igénybevételek szinergikus hatását figyelembe véve); az egységes vizsgálati időszak kijelölése (általában a kopóréteg jellemző ciklusidejéhez hasonló időtartamot, például, 15 évet választanak). Összehasonlítási célra célszerűen szóba jövő paraméter lehet – a kopóréteg 1 cm-es vastagságú részére vonatkoztatva – az egységtengely-terheléseknek az útburkolat tönkremenetelét kiváltó ismétlési száma, ($\text{ÁNET}_{\text{krit}}/\text{cm}$). Ennek meghatározásához számítógépes teljesítményi modellekből, laboratóriumi vizsgálatokból, gyorsított terhe-

lési vizsgálatokból (ALT) és/vagy útszakaszok hosszú távú állapotának megfigyeléséből származó információk egyaránt hasznosíthatók. Az egyes kopóréteg-variánsokra vonatkozó funkcionális teljesítményi paraméterek meghatározhatók, és egymással szembeállíthatók.

b.) Gazdasági (pénzügyi) paraméterek

Ennek során a következő lépések végrehajtása javasolható: a vizsgálatához burkolati egység (pl. 1 m^2 vagy 1000 m^2) és pénzegység választása; a kopóréteg építési egységárának kalkulálása; fenntartási-felújítási naptár (az évenkénti beavatkozási igény technológiájával, mennyiségével és árával) meghatározása; előrebecsült évenkénti úthasználói (közlekedésüzemi, idő- és baleseti) költségek; a jelenértékek kalkulációjánál alkalmazandó diszkonttényező kiválasztása; az élettartam végi stratégia (újra való használat, újrahasznosítás, deponálás) kijelölése; az egyes kopórétegtípusok élettartamköltségeinek megállapítása, az évenkénti, jelenre diszkontált költségek összegezésével. Ennél az Európa egészére kiterjesztendő gazdasági vizsgálatnál az egyes országokban meglehetősen különböző építési, fenntartási, üzemeltetési, felújítási és úthasználói egységárak komoly kihívást jelentenek. Közelítő megoldásként ezek (régiókénti) átlagértékeivel számoltunk. Diszkonttényezőként egységesen a 3%-os értéket választottuk.

c.) Környezeti szempontok

Ezek kopóréteg-változatokénti figyelembevétel a következő feladatok megoldását igényli: minden vizsgált kopórétegtípushoz, egész élettartamára vonatkozólag (azaz keverését, szállítását, beépítését, üzemeltetését, fenntartását, felújítását és élettartam végi stratégiáját figyelembe véve) az energiaigény, a légszennyezés, a vízszennyezés, a talajszennyezés, a zaj- és a vibrációs terhelés, a rádióaktivitás, az újrahasználatossági mérték, az újra való használat mértéke, a fajok sokszínűségével – a biodiverzitással – kapcsolatos, esetleges negatív hatások felmérése; az egyes hatásoknak, lehetőség szerint, pénzértékben való kifejezése, de, legalábbis a számszerűsítése; mindezek integrálásával a kopórétegtípusonkénti, összesített környezeti hatás meghatározása. Az ún. környezeti osztályzat, némileg egyszerűsített formában, az élettartam alatti, MJ-ban kifejezett, fajlagos energiafelhasználásból és az újrahasznosítha-

tóság mértékéből számítható, rendre 2,0 és 0,5 súlyszámok alkalmazásával.

d.) A humán (emberekkel kapcsolatos) szempontok

Ennek keretében minden egyes vizsgált aszfalt kopórétegtípus esetében egyrészt a közlekedésbiztonságot (például, a baleseti költségekkel jellemzetten), az utazáskényelmet (például, a pálya IRI-értékével jellemezve) és az esetleges egészségügyi kockázatokat (például, azokat rákeltő hatással vagy rádióaktivitással mérve fel) célszerű figyelembe venni. Az egyszerűsített elemzés céljára, a „humán osztályzat” megállapítására a közlekedésbiztonság felmérését választottuk, amit ugyanazon forgalmi terhelésre, az egyes kopóréteg-változatok egységnyi hosszára számítva, a teljes élettartamuk alatt felmerülő baleseti költségekkel jellemeztünk.

Tekintettel arra, hogy pénzértékben nem minden vizsgálati szempont fejezhető ki, tervezett kombinálásuk előzetes lépéseként az egyes rétegváltozatokra a különböző szempontok szerint adott, a különböző mértékegységű értékeket sorba rendeztük, és a sorban elfoglalt helyétől függő osztályzatot kaptak. A kedvezőbbnek bizonyult érték osztályzata nagyobb volt (például, a legjobb funkcionális teljesítmény paraméterű kopórétegtípus 4-es osztályzatot kapott, amennyiben a szóban forgó európai körzetben 4 típus „versenyzett”). Ezeknek az osztályzatoknak a súlyozott összege eredményezte az ún. Kombinált Megfelelőségi Értéket (KMÉ). (A súlyokat a projekt partnereinek szakértői becslése alapozta meg). A KMÉ képlete a következő:

$$\text{KMÉ} = w_f S_f + w_g S_g + w_k S_k + w_h S_h,$$

ahol

KMÉ: Kombinált Megfelelőségi Érték,

S_f : funkcionális osztályzat,

w_f : funkcionális súly(szám), javasolt érték: 2,0,

S_g : gazdasági osztályzat,

w_g : gazdasági súly(szám), javasolt érték: 1,5,

S_k : környezeti osztályzat,

w_k : környezeti súly(szám), javasolt érték: 1,0,

S_h : humán osztályzat,

w_h : humán súly(szám), javasolt érték: 1,0.

A négy európai körzetben a kopóréteg-változatok „versenyére” és optimalálására külön-külön

3. táblázat: A Kombinált Megfelelőségi Érték számításakor alkalmazott teljesítményi mérőszámok

Osztályzat típus	Teljesítményi mérőszám
FF Econ Funkcionális	$\dot{A}NET_{krit}/cm$
Gazdasági	Élettartam-költségek
Környezeti	Energiafogyasztás (2.0) és újrahasználatosság (0.5)
Humán	Közúti baleseti költségek

Megjegyzés: zárójelben a javasolt súly látható.

kerül sor. A nagy forgalmú európai utak jellegzetes fenntartási-felújítási technológiáinak összehasonlítása kapcsán, említésre érdemes, hogy azok a kontinensen gyakorlatilag egységesek, így régiónkénti külön-külön történő vizsgálatuk és optimalásuk erősen megkérdőjelezhető, még akkor is, ha a körzetekben jellemző forgalmi terhelés és klimatikus viszonyok eltérése vitathatatlan.

A különböző új és felújított kopórétegtípusok gazdasági, környezeti és humán teljesítményének összevetésekor, feltétlenül egységes vizsgálati időszakot – például 15 évet vagy 10^7 egységtengely-áthaladást – kell választani, még abban az esetben is, ha ez előzetesen végzett laboratóriumi vagy ALT-vizsgálatok az egyes rétegtípusoknál különböző várható ciklusidőt (funkcionális paramétert) bizonyítottak.

A 3. táblázat foglalja össze az új és a felújított aszfalt kopórétegtípusok optimalása során, a Kombinált Megfelelőségi Érték számításához alapul vett teljesítményi paramétereket.

8. ÖSSZEFOGLALÓ MEGJEGYZÉSEK

Az Európai Unió 7. Kutatási és Technológia-fejlesztési Keretprogramjához kapcsolódóan, 2013 óta, magyar szakemberek aktív közreműködésével művelt DURABROADS-projekt célkitűzése költséghatékony, környezetbarát és komplex módon optimált utak tervezése, fejlesztése és az eredmények demonstrálása. Egyik feladatként az Európában a nagy nehéz forgalmú utakra (a TEN-T hálózatra) általá-

nosan alkalmazott burkolatfelújítási technológiák és az elterjedt aszfalt kopórétegtípusok komplex optimalása jelentkezett. A projekt ezzel foglalkozó munkabizottsága – a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. vezetésével – eredményeit három jelentésben összegezte. Jelen cikk ezek közül kettőt [3, 14] ismerteti. A harmadik DURABROADS-jelentést [26] – a kopórétegtípus és a burkolatfelújítási technológia optimalás eredményeit – másik publikáció mutatja majd be. Megjegyezzük, hogy az egész Európára kiterjedő vizsgálat, egyértelműen, legkedvezőbbnek az SMA (zúzalékvasas masztixaszfalt) típusú kopóréteget mutatta ki.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket nyilvánítják az Európai Uniónak, amely 7. Kutatási és Technológia-fejlesztési Keretprogramjához kapcsolódóan, a jelen cikk alapját képező DURABROADS-projektet részben finanszírozta. Hasonlóképpen köszönet illeti a DURABROADS-projekt 2. munkabizottságának a munkájában közreműködött spanyol, lett és belga partnereit.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DURABROADS (Cost-effective DURABLE ROADS by green optimized construction and maintenance) project. Collaborative project financed by EU Seventh Framework Programme, Theme SST.2013.5-3 Grant agreement no: 606404 Annex I „Description of Work” 2013. 104 p.

- [2.] L. Gáspár: Lifetime engineering for roads (Keynote lecture). Proceedings of CETRA 2012 (2nd International Conference on Road and Rail Infrastructure), Dubrovnik, 7-9 May 2012. pp. 25-34.
- [3.] DURABROADS project Deliverable 2.1 Assessment of the gaps in road-related procedures. 2014. 99 p.
- [4.] M. Zaumanis, E. Olesen, V. Haritonovs, G. Brencis, J. Smirnovs: Laboratory evaluation of organic and chemical warm mix asphalt technologies for SMA asphalt. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Vol. 8, No. 3, 2012, pp. 191-197.
- [5.] A. Copeland: High Reclaimed Asphalt Pavement Use. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 2011.
- [6.] A. Copeland, C. Jones, J. Bukowski: Reclaiming Roads. Public roads, Vol. 73, No. 5, Federal Highway Administration, Washington, D. C., 2010.
- [7.] EAPA: Asphalt in Figures 2011. European Asphalt Pavement Association, Brussels, Belgium, 2012.
- [8.] R. S. McDaniel, H. Soleymani, M. R. Anderson, P. Turner, R. Peterson: Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Design Method. National Cooperative Highway Research Program, 2000. 280 p.
- [9.] N. H. Tran, A. Taylor, R. Willis: Effect of Rejuvenator on Performance Properties of HMA Mixtures with High RAP and RAS Contents. National Center for Asphalt Technology, Auburn, AL, 2012.
- [10.] J. Kudrna, M. Varaus, D. Sybilski, K. Mirski: Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructure (SAMARIS) Report Nr. SAM-06-DE15. 2006.
- [11.] U. Bagampadde, H. I. Al-Abdul Wahhab, S.A. Aiban: Optimization of Steel Slag Aggregates for Bituminous Mixes in Saudi Arabia, Journal of Materials in Civil Engineering, 1999, 11(1), pp. 30-35.
- [12.] Gáspár L., Horvát F., Lublók L.: Közlekedési létesítmények élettartama. UNIVERSITAS-Győr Nonprofit Kft., 2011. 324 p.
- [13.] L. Gáspár: Lifetime Engineering for Roads. Acta Technica Jaurinensis Vol. 1, No.1, 2008. pp. 37-46.
- [14.] DURABROADS project Deliverable D.2.2 Quantification of the medium and long-term influence of climate change and of the implementation of freight corridors on European road network. 2014. 61 p.
- [15.] Gáspár L.: Útgazdálkodás. Akadémiai Kiadó, 2003. 361 p.
- [16.] www.metoffice.gov.uk
- [17.] Dickinson, R., Errico, R., Giorgi, F., Bates, G.: A regional climate model for the western United States. Climate Change, 15, 1989, pp. 383-422.
- [18.] Gáspár, L., Rajcsányi, F.: Adaptation measures to the challenges of climate change in Hungarian road construction. CD-ROM Proceedings of 5th Eurobitume & Euraspalt Congress, Istanbul, Turkey, 13-15 June 2012. 8 p.
- [19.] dr. habil. Gáspár L., Rajcsányi F.: Az éghajlatváltozás és a hazai útügyi szabályozás. Közlekedésepítési Szemle 2010/10. pp. 1-9.
- [20.] Nesnas, K.: Elasto-viscoplastic modelling of non-linear behaviour of asphalt. TRL limited, Crowthorne, Berkshire, 2004. 8 p.
- [21.] ISO 14040: Environmental Management: Life Cycle Assessment – Principles and framework. International Organisation for Standardization, 1997.
- [22.] Sarja, A., Vesikari, E.: Durability Design of Concrete Structures. RILEM Report Series 14. E&FN Spon: London, 1996. 143 p.
- [23.] Gáspár, L.: Lifetime engineering in road asset management. CD-ROM Proceedings of 3rd European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra (Portugal), 2008, Session B3. 10 p.
- [24.] Garvin, M., Molenaar, K., Navarro, D., Proctor, G.: Key Performance Indicators in Public-Private Partnerships. A State-of-the-Practice Report. American Trade Initiatives, Alexandria, VA (USA). Federal Highway Administration FHWA-PL-10-029 Technical Report, 2011. 120 p.
- [25.] COST 354 Performance Indicators for Road Pavements (2008). The way forward

for pavement performance indicators across Europe. Final Report, Vienna. 68 p.
[26.] DURABROADS project Deliverable D2.3

Proposal of construction, maintenance and rehabilitation procedures more affordable, resilient and sustainable for the management of road asset. 2015. 109 p.



The optimization of asphalt pavement types

The main objective of the DURABROADS-project is the design, development and demonstration of cost-effective, eco-friendly and optimized long-life roads, more adapted to freight corridors and climate change by means of innovative designs and the use of greener materials improved by nanotechnology. The optimization of current construction, maintenance and rehabilitation procedures is also aimed in this project. Thus, existing constraints concerning these procedures and techniques to withstand challenges as the climate change impact and the high vehicle traffic loads of freight corridors are identified and evaluated in order to provide to highway managers with more affordable, safer and environment-friendly practices to manage the road asset. Two of the project deliverables are presented. One of them deals with the constraints before the suitable performance of highly-trafficked European roads, while the other one with the effect of climate change to these kinds of roads, mainly TEN-T routes.



Die Optimierung von Asphaltbelagstypen

Die Hauptzielsetzungen des DURABROADS-Projektes sind die Planung und Entwicklung von kosteneffektiven und umweltfreundlichen Straßen mit optimierter und langer Lebensdauer, sowie die Demonstration der Ergebnisse. Das Ziel ist es, durch die innovative Planung und durch die Anwendung von „grünen“ Werkstoffen die Resistenz der Straßen gegenüber den Auswirkungen des schweren Verkehrs und der Klimaveränderungen zu erhöhen. Die Optimierung der in Europa verbreiteten Methoden für Bau, Unterhaltung und Erneuerung von Straßen gehört auch zu den Zielsetzungen. Die Erfahrungen und Probleme bei Anwendung dieser Technologien und Verfahren bei extremer Belastung durch den Fahrzeugverkehr und bei Herausforderungen durch die Klimaveränderung werden die Probleme zusammengesammelt und ausgewertet, damit für die Straßenverwaltung eine Hilfe für die wirtschaftliche, sichere und umweltschonende Erhaltung des Straßenbestands geleistet werden kann. Es werden zwei Berichte des Projekts bekannt gegeben. Der erste beschäftigt sich mit den Leistungsgrenzen der großen europäischen Straßen, der andere mit den Auswirkungen der Klimaveränderungen auf diese – insbesondere zu dem TEN-T Netz gehörenden – Straßen.

E számunk lektorai

Bíró József
Domokos Ádám
Juhász Mattias

Dr. Katona András
Dr. Tóth János