



Szakirodalmi szemle nagy nehézforgalmú utak „optimális” aszfalt kopóréteg-típusának kiválasztásához

Gáspár László¹, Bencze Zsolt

¹ KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft.

KIVONAT

Az Európai Unió 7. Kutatási és Technológiafejlesztési Keretprogramjához kapcsolódva, 2013-ban egy nemzetközi konzorcium a 42 hónapos DURABROADS (Költséghatékony, tartós utak, „zöld” optimált építés és fenntartás révén) projekt részbeni finanszírozását nyerte el [1]. A DURABROADS projekt célkitűzését költséghatékony, környezetbarát és komplex módon optimált utak tervezése, fejlesztése és az eredmények demonstrálása képezi; 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 útpálya-szerkezeteket eredményez.

Ez a cikk az európai nagy nehézforgalmú utak aszfalt kopóréteg-típusának optimalására vonatkozó szakirodalomnak és a témában végzett kérdőíves felmérés eredményeinek áttekintésével foglalkozik.

Dr. habil. Gáspár László

Okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, az MTA doktora. A Közlekedéstudományi Intézet kutató professzora, a Széchenyi István Egyetem emeritusz professzora. 400 publikációjának és 520 szakmai előadásának zöme útépítési, -fenntartási és -gazdálkodási témákkal foglalkozik. 30+ nemzetközi téma és bizottság tagja vagy vezetője (volt).

Bencze Zsolt

Okl. építőmérnök. A Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Doktori Iskola PhD hallgatója. 2005 óta a Közlekedéstudományi Intézet munkatársa. Főbb kutatási projektjei: EU-s finanszírozású SPENS, INCRIS és DIRECT-MAT projekt, az M6 salaktöltéseinek vizsgálata, az M0 Keleti szektor betonburkolatának gyártásközi ellenőrzése, az első hazai betonburkolatú körforgalom kivitelezésének ellenőrzése.

1. ELŐZMÉNYEK

Az Európai Unió 7. Kutatási és Technológiafejlesztési Keretprogramjához kapcsolódva, 2013-ban egy nemzetközi konzorcium a 42 hónapos DURABROADS (Költséghatékony, tartós utak, „zöld” optimált építés és fenntartás révén) projekt részbeni finanszírozását nyerte el [1]. A projektet a spanyol UNICAN vezeti; a partnerek közé tartozik a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. is, az intézet a 2. munkabizottságot is vezeti.

A DURABROADS projekt célkitűzését költséghatékony, környezetbarát és komplex módon optimált utak tervezése, fejlesztése és az eredmények demonstrálása képezi; 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” útépítési anyagok előállítására is

törekcszenek. További célként jelölték meg az Európában általánosan alkalmazott útépítési, -fenntartási és -felújítási technológiák optimalizálását.

A DURABROADS-projekt „Útépítési anyagok és eljárások vizsgálata és optimalizálása” tárgyú, 2. munkabizottságában, a KTI vezetésével, a spanyol UNICAN és ACCIONA, a lett IB és az ERF (Európai Útügyi Szövetség) szakemberei vettek részt. Célkitűzésük az Európában elterjedten alkalmazott aszfalt kopórétegeknek és burkolat-felújítási módszereknek a szélsőséges környezeti és forgalmi terhelés kombinációjával szemben tanúsított ellenállás szempontjából végrehajtott optimalizálása képezte, az élettartam-mérnöki tudomány elveinek [2] hasznosításával. Eredményeiket három részjelentés formájában tették közzé.

A D2.1 „Egyes közúti eljárások korlátainak feltárása” című [3] és a D2.2 „Az éghajlatváltozás közép- és hosszú távú következményei által az európai úthálózaton létesített, nagy nehéz forgalmú folyosókra gyakorolt hatás számszerűsítése” című részjelentésen [4] kívül, a D2.3 „Javaslat az útkezelésben hasznosítható, gazdaságosabb, tartósabb és fenntartható, építési, fenntartási és felújítási technológiákra” című részjelentés [5] készült. Ez utóbbi céljai: négy európai körzetben, a nagy nehéz- forgalmú utak aszfalt kopóréteg-típusainak, illetve burkolat-felújítási technológiáinak optimalizálásához többtényezős módszertan kialakítása, valamint annak esettanulmányban alkalmazása. A részjelentés egyes eredményeit más publikációk [6, 7, 8] foglalják össze, a következő tárgykörökben: az összehasonlítható kopóréteg- és burkolatfelújítás-típusok kiválasztása; a döntéshozatali probléma meghatározása; a kérdőívek összeállítása; a 81 európai szakember válaszaiknak feldolgozása; az optimum-kritériumok definiálása; a kritériumok súlyozása; variánsok értékelése.

Ez a cikk az európai nagy nehézforgalmú utak aszfalt kopóréteg-típusának optimalizálására vonatkozó szakirodalomnak és a témában végzett kérdőíves felmérés eredményeinek áttekintésével foglalkozik.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS ÉS KÉRDŐÍVES FELMÉRÉS

Az öt vizsgált aszfalt kopóréteg-típus (SMA, BBTM, HRA, AC és PA) négy választott – műszaki (funkcionális), környezeti, gazdasági (pénzügyi) és társadalmi (humán) – szempontok szerinti teljesítményének szakirodalmi információk és a DURABROADS WP2 munkabizottság által összeállított kérdőívre 81 európai szakember által adott válaszok rövid összefoglalása következik.

2.1. MŰSZAKI (FUNKCIONÁLIS) SZEMPONTOK

2.1.1. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

a.) Maradó alakváltozási típusú romlás

Shiau SMA, HRA és AC keverékek rugalmassági modulusát (RM) és közvetett húzószilárdságát mérte [9]. Magas hőmérsékleten, mindkét minőségi paraméter szempontjából, az SMA mutatkozott a legkedvezőbbnek. Míg alacsony hőmérsékleten megfordult a helyzet. Nyilvánvaló ebből, hogy a vizsgált változatok közül a zúzalékvasas masztixaszfalt (melegben kialakuló) keréknyomvályú-képződési ellenállása a legnagyobb.

Blaziejowski összefoglalta több országnak az SMA keverékek maradó alakváltozással szembeni ellenállásával kapcsolatos kutatásainak eredményeit [10]:

- brit vizsgálatok az SMA nagyobb alakváltozással szembeni ellenállását igazolták, mint az (éresített homokaszfalthoz hasonló összetételű) hot rolled aszfalt esetében,
- finn kísérleti szakaszok rendszeres állapotvizsgálata az SMA-t mutatta az aszfaltbetonénál nagyobb deformációval szembeni ellenállásúnak,
- lengyel kutatások a finnéhez hasonló eredményekre jutottak.

Angol kutatócsoport a bitumen kötőanyagú keverékek egyes elméleti és gyakorlati kérdéseinek témakörében útmutatót készített [11], ebben a különböző aszfaltkeverék-típusok alakváltozással szembeni ellenállásáról a következőket állapítják meg:

- az SMA és a PA (porózus aszfalt) durva adalékanyag váza az alakváltozással szemben komoly ellenállást eredményez,

- az aszfaltbeton keverékek tömör ásványi anyag váza a keréknyomvályút okozó nyírófeszültségeket és a burkolatrepedést kiváltó húzófeszültségeket kompromisszumos megoldásként veszi fel,
- mivel a HRA nem tartalmaz durva adalékanyag-frakciót, ezért az SMA-énál jóval kisebb a keréknyomvályú-képződéssel szembeni ellenállása.

Az Európai Aszfaltburkolat Egyesület egyik jelentése az aszfaltbeton és különböző SMA keverékek alakváltozási jellemzőit hasonlította össze [12]. Mindegyik SMA-változat megelőzte az AC deformációs viselkedését. Különösen a modifikált bitumennel és alacsony penetrációjú bitumennel készült változatok voltak kedvező teljesítményűek.

Gite és Abjal vizsgálatai [13] szintén azt bizonyították, hogy a zúzalékvázás masztixaszfalt állandó alakváltozással szembeni ellenálló képessége az aszfaltbetonét érdemlegesen meghaladja.

Nemzetközi kutatási projekt [14] arra az eredményre jutott, hogy a PA (porózus aszfalt) a többi vizsgált aszfaltkeverék-típusénál kisebb állandó alakváltozást mutatott. Ennek okát abban találták, hogy a PA adalékanyag váza a forgalmi terhelésnek fokozott mértékig ellenáll.

Mansour azonban más eredményre jutott [15]: “A porózus aszfalt burkolatok nehéz forgalom hatására, különösen melegben, nagyobb valószínűséggel keréknyomosodnak, mint a többi keverék”.

Egy amerikai kutatási munka [16] hideg éghajlatú vidéken, kis forgalmú úton épített, teljes vastagságú porózus aszfalt pályaszerkezet tartósságát, fenntartási igényét, hidrológiai előnyeit és környezeti jellemzőit vizsgálta. Széleskörű szakirodalmi vizsgálódás alapján megállapították, hogy a PA rétegek a maradó alakváltozással szemben fokozott ellenállást tanúsítanak. Kísérleti szakaszaikon azonban, a hagyományos összetételűekhez képest mélyebb keréknyomvályúkat regisztráltak; igaz, hogy ebben az esetben nem csupán a kopóréteg készült PA-keverékből.

A hollandok vizsgálatai szerint, a porózus aszfaltburkolatok deformációnak fokozottan ellenállnak, és erről a burkolattípusról az úthasználók is jó véleménnyel vannak [17]. Ez a megállapítás a szakirodalomban említett laboratóriumi keréknyomvályú-képző (wheel tracking) és kúszási vizsgálatok eredményeivel konzisztens.

Egy spanyol kutatás [18] az SMA és a BBTM keverékek tulajdonságainak összehasonlítása során arra a megállapításra jutott, hogy mindkettőnek általában jók a mechanikai tulajdonságai, bár a zúzalékvázás masztixaszfaltnak az alakváltozással szembeni ellenállása kissé nagyobb, valamint öregedési és fáradási tulajdonságai is kedvezőbbek.

b.) Bomlás-típusú romlás

Shiau és szerzőtársai megállapították, hogy alacsony hőmérsékleten az SMA-keverékeknek kisebb a rugalmassági modulusa és a közvetett húzószilárdsága, mint az AC- és a HRA-típusoknak [9]; így az SMA esetében a termikus repedések képződésének esélye a másik kettőénél kisebb.

Blazejowski burkolatbomlási (fáradási repedéssel, termikus repedéssel, zúzalékkipergéssel kapcsolatos) szakirodalmi szemléléséből [10] néhány megállapítás:

- a PA-keverékeket az öregedésre és a termikus repedések keletkezésére hajlamosabbnak találták, mint az aszfaltbetont és az SMA-t,
- az AC és az SMA hidegviselkedése között érdemleges különbséget nem mutattak ki,
- amerikai kísérleti szakaszok 5 éves állapotmegfigyelése alapján megállapították, hogy az SMA-rétegekben reflexiós repedések hosszabb idő alatt alakulnak ki, mint az aszfaltbeton anyagúakban,
- az előbbihez hasonló megállapításra jutottak Ausztráliában is.

Spanyol kutatók szerint, 5°C-os hőmérséklet felett az SMA fáradási és termikus repedési jellemzői a hagyományos (aszfaltbeton) keverékekénél kedvezőbbek [19]. Ennél alacsonyabb hőmérsékleten a két aszfalttípus gyakorlatilag ugyanolyan viselkedésűnek bizonyult.

Gite and Abjal kutatási eredményei szerint az SMA-keverékeknek nagyobb a kopási ellenállásuk, lassabb az öregedésük, a korai repedésképződéssel szemben ellenállóbbak, de még a hidegviselkedésük is kedvezőbb, mint az aszfaltbetonoké [13].

Iránban végzett közvetett húzószilárdsági vizsgálatsorozat eredményei szerint, az aszfaltbeton keverékek merevségi modulusa és fáradási élettartama, ugyanakkora maximális adalékanyag-szemcsék

esetében, a zúzalékvázás masztixaszfalténál kedvezőbbnek bizonyult [20]. Azt találták, hogy az adalékanyag szemnagysága az aszfaltkeverék fáradási élettartamára nagyobb hatást gyakorol, mint a kötőanyag mennyisége.

Nemzetközi kutatócsoport PA-keverékek bomlási viselkedéséről a következőket állapította meg [20]:

- a porózus aszfalt, nagy hézagtartalma következtében, sokkal gyorsabban öregszik, mint a hagyományos, tömör keverékek; élettartamát a kötőanyag keményedése szabja meg,
- a porózus aszfaltrétegbe beszivárgó csapadékvíz a kötőanyagfilmmel hosszú időn keresztül érintkezik, és ezért a filmnek az adalékanyag-szemcsékről való, viszonylag rövid idő alatti leválása fenyeget.

Egy francia kiadvány [21] azt vizsgálta, hogy a porózus aszfalt nagy nehéz forgalmú utak kopórétegeként milyen mértékig alkalmas. Az új pályaszerkezetekhez készített, 30-50 mm-es vastagságú rétegek hátrányaként említik, hogy nyírószilárdságuk nem eléggé nagy.

Az amerikai Minnesota szövetségi állam Közlekedési Minisztériumának [16] és egy iráni egyetemnek [17] a kutatási jelentése azt bizonyította, hogy a porózus aszfaltburkolatok leggyakoribb romlásátípusa a zúzalék kipergése, amelyet jellemzően a bitumen öregedése vált ki.

Egy tárgyban készült útmutató [11] különböző aszfaltkeverék-fajták mechanikai tulajdonságait és tartóssági jellemzőit ismertetve, a következő megállapításokat teszi:

- a HRA-keverék – a durva adalékanyag-szemcséi között levő, kötőanyagban dús habarcsnak köszönhetően – a repedésképződéssel szemben különösen nagy ellenállást mutat,
- a HRA keréknyomvályú kialakulásával szemben az aszfaltbetonnál kevésbé érzékeny, a porózus aszfalt alacsony húzószilárdságú.

Öt általánosan alkalmazott aszfaltburkolat-típust – köztük vékony rétegeket is – funkcionális tulajdonságaik szempontjából összehasonlították [22]. A BBTM legnagyobb hátrányának a zúzalékkipergésre való érzékenységet találták. További hátránya, hogy a reflexiós repedések képződését sem tudja hatékonyan megakadályozni.

A korábbi szakirodalmi információk alapján, a vizsgált öt aszfalt kopóréteg-típus funkcionális osztályzatai az 1. táblázatban láthatók.

1. táblázat: Kopóréteg-típusok műszaki minősítése (osztályozása), szakirodalmi információk alapján

Aszfalttípus	Műszaki minősítés	
	Bomlással szembeni ellenállás	Alakváltozással szembeni ellenállás
Aszfaltbeton (AC)	3	3/4
Zúzalékvázás masztixaszfalt (SMA)	5	5
Porózus aszfalt (PA)	2	5
Hot Rolled Aszfalt (HRA)	4	3
Aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez (BBTM)	2/3	4

2.1.2. KÉRDŐÍVES SZAKÉRTŐI ÉRTÉKELÉS

A DURABROADS WP2 partnerei által összeállított kérdőívre a kopóréteg-fajták műszaki (funkcionális) összehasonlító értékelésére vonatkozó szakértői válaszokból – a 4.1 alfejezetben leírt módon – a 2. táblázaton bemutatott, konszenzuális értékeket (osztályzatokat) határoztak meg.

2. táblázat: Kopóréteg-típusok műszaki minősítése (osztályozása), szakértői vélemények alapján

Aszfalttípus	Műszaki minősítés		
	Bomlással szembeni ellenállás		Alakváltozással szembeni ellenállás
	Fáradási repedés	Termikus repedés	Nyomvályúsodással szembeni ellenállás

Aszfaltbeton (AC)	3.6	3.4	3.8
Zúzalékvázas masztixaszfalt (SMA)	4.2	3.7	4.7
Porózus aszfalt (PA)	2.7	2.6	3.2
Hot Rolled Asphalt (HRA)	3.9	3.7	3.9
Aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez (BBTM)	3.2	3.1	3.1

2.2. TÁRSADALMI (HUMÁN) SZEMPONTOK

2.2.1. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szakirodalmi szemle az egyes kopóréteg-típusok következő társadalmi (humán) tényezőire terjedt ki: az utazáskényelem (ezzel összefüggésben a gördülőzaj és a felületi egyenetlenség), és a forgalombiztonság (ezzel összefüggésben a csúszásellenállás, a vízköd-képződés és a vízen csúszás).

a.) Gördülőzaj

A NordTyre projekt keretében megállapították, hogy a keletkező gördülőzajra az utak tulajdonságai sokkal nagyobb hatást gyakorolnak, mint a gumiabroncsok jellemzői [23]. Vizsgálataik szerint, porózus aszfaltnak alacsony zajszintű gumiabronccsal történő kombinálása, az SMA-rétegen közlekedő, zajos gumiabroncs esetében regisztrálható képest, 13 dB(A) zajszint-csökkentést eredményez.

Egy Norvég kutatás különböző típusú burkolatok felületén az akusztikai jellemzőket mérte [24]. Aszfaltbeton és zúzalékvázas masztixaszfalt pályán, 50 és 80 km/óra sebesség mellett, hasonló átlagos gördülőzaj szinteket regisztráltak, akár új, akár pedig kopott felületű rétegről volt szó. A PA-rétegen alacsonyabb zajszintet mértek, különösen 80 km/óra sebesség esetében, még kopott útpályán is.

Különböző SMA-változatokon keletkező zajszintet, a hot rolled aszfalt kopórétegével összehasonlítva, az előbbieket kedvezőbbnek találták, bár a névleges adalékanyag szem nagyság növekedésével a gördülőzajban tapasztalható csökkenés egyre kisebb lesz [12].

Francia tudósok a porózus aszfalt jellemzői között kiemelték annak alacsony gördülőzaját, mivel üzemi élettartamának első időszakában az átlagos zajszint 70-75 dB(A) [22]. A jelentés a BBTM alacsony gördülőzaját is hangsúlyozza.

Az egyrétegű PA-keverékeknél, a tömör kopórétegekhez képest, nagy járműsebességek esetében, a zajcsökkenés 4 dB(A), ami aztán csökkenő sebességeknél fokozatosan eltűnik. SMA-rétegeken – 50 km/óra mérési sebesség esetében, a tömör változatokhoz képest, a gördülőzaj tekintetében, 2 dB(A) mértékű csökkenés tapasztalható [25].

A vékony SMA-rétegekről megállapították, hogy annak negatív felületi textúrája, a HRA burkolatok felületén regisztrálhatóhoz képest, a gördülőzajt mintegy 3 dB(A) értékkel csökkenteni tudja [26].

Olasz vizsgálatok szerint, 110 km/óra sebesség mellett, az ugyanolyan (0/15 mm-es) adalékanyag-szemeloszlású SMA és AC keverékek zajszintje között, az előbbi javára, 5-7 dB(A)-nyi különbség mutatkozik [12].

Az Egyesült Államokban az SMA, a PFC (porózus csúszásgátló réteg) és az ott elterjedt Superpave aszfalt egyes hosszú távú teljesítményi paramétereit hasonlították össze [27]. 97 km/óra sebességnél, a CPX (közlekedési zajmérés) adatok a PFC, az SMA és az AC esetében, rendre, 92,6, 97,6 és 96,4 értékre adódott, azaz a PFC a másik kettőnél sokkal „csendesebbnek” bizonyult.

A Hézagcsúszásgátló Réteg Alkalmazási Útmutatója szerint, ez a rétegtípus, jellemzően 3-5 dB(A) értékkel csendesebb, mint a tömör aszfaltbeton [28].

Német mérések szerint, a porózus aszfaltburkolat felületén, az SMA-éhoz viszonyítva, a gördülőzaj tekintetében, 4-7 dB(A)-nyi csökkenés mérhető [29]. Ez a különbség, az epoxigyanta bevonattal ellátott SMA-hoz képest, pedig akár 10 dB(A) is lehet.

Másik német vizsgálat során, különböző burkolattípusok esetében, tehergépjárműveknek a 70 km/óra sebesség mellett regisztrálható gumiabroncs/pálya zajképződését, a következő eredménnyel, hasonlították össze: porózus aszfalt 70-72 dB(A), aszfaltbeton 74-78 dB(A), zúzalékvázas masztixaszfalt 74-79 dB(A) [30].

b.) Csúszásellenállás

A francia IFSTTAR laboratóriumában végzett vizsgálatsorozat eredményei szerint, a legkedvezőbb WS csúszási tényezőt (0,42) a 10 mm-es legnagyobb adalékanyag-szemnagyságú SMA esetében regisztrálták, amit a 14 mm-es legnagyobb adalékanyag-szemnagyságú SMA (0,43) és a 20 mm-es szem-nagyságú impregnált zúzalékkal érdesített HRA (0,32) követett [31].

Amerikai kísérleti szakaszok hosszú távú megfigyelését megelőzően, azok felületén az IFI (Nemzetközi Csúszási Tényező) értékét meghatározták, a következő eredménnyel: PFC (porózus csúszásgátló réteg): 0,36; zúzalékvázás masztixaszfalt: 0,28 és hagyományos Superpave aszfaltbeton: 0,19 [32]. Makrotextúra szempontjából is ugyanez a sorrend alakult ki.

Nicholls vizsgálatai szerint a porózus aszfalt felületén legalább olyan kedvező csúszásellenállás mérhető, mint az ugyanolyan PKÉ-vel (polírozási kőértékkel) jellemezhető adalékanyaggal készült hot rolled aszfalten. A laboratóriumi vizsgálatok eredményeit kísérleti szakaszokon is igazolták [32, 33].

Poulikakos szerint, a porózus aszfalt kopórétegeken jobb csúszásellenállás mérhető, mint a tömör aszfaltkeverékből készületeken [14]. Ez a különbség különösen nedves útpályán jelentős mértékű. Azt is tapasztalták, hogy az üzemi élettartam alatt, a PA-burkolatok csúszásellenállása növekszik, míg a hagyományos, tömör aszfaltoké változatlan marad.

A francia SETRA egyik jelentése szerint, a porózus aszfaltrétegeken a következő, kedvező csúszásellenállás értékek mérhetők: 0,3-0,4 (120 km/óra sebességnél) és 0,4-0,6 (40 km/óra sebesség esetében)[21]. Megállapították azt is, hogy a BBTM-keverékből készült kopórétegeken, még nagy nehéz forgalmú utakon is, a kiváló felületi csúszásellenállás legalább 10 évig megmarad.

Nikolaides a BBTM-keverékek előnyei között említi, hogy “nagyon kedvező felületi jellemzőjű, kiváló homokmélységgel és csúszásellenállással rendelkező útpályát biztosítanak” [34].

Különböző aszfalt kopóréteg-típusoknak az Egyesült Államokban végzett összehasonlításakor azt találták, hogy az OFCG (porózus csúszásgátló réteg) ugyan kissé alacsonyabb csúszási számot mutatott, mint az aszfaltbeton és az SMA, azonban csúszási száma a sebességtől legkevésbé függ [35].

Szingapúri kutatók megállapították, hogy a burkolatfelületeken mérhető csúszásellenállás az érintkezési felülettel és a felületi mélyedések számával növekszik [36].

c.) Utazáskényelem és vízköd-képződés

Az amerikai Virginia államban folytatott vizsgálat arra az eredményre vezetett, hogy az általánosan alkalmazott aszfalt kopóréteg-típusok felületi egyenetlensége, mint meghatározó utazáskényelmi tényező gyakorlatilag ugyanolyan mértékű [37].

Brit kutatók a porózus aszfalt pályán tapasztalt utazáskényelmet a többi variánséhoz képest kedvezőbbnek találták [38].

Rungruangvirojn arra mutatott rá, hogy a hagyományos aszfaltbeton pályákon, nedves állapotában, a láthatóság sokkal nagyobb mértékben csökken, mint az SMA vagy a PA-változatokon [39]. Magas járműsebesség és nagy vízmélység mellett, a tömör aszfaltburkolaton, a vízköd-képződés következtében, a láthatóság akár 55%-nyit is csökkenhet, ugyanakkor ez az érték SMA és PA esetében 30%, illetve 28%.

Blazejowski szerint, az SMA-kopóréteg makro textúrája a pályán kialakuló vízfílmeket csökkenti, ezzel pedig, az aszfaltbeton burkolatokon tapasztaltakhoz képest, kisebb vízköd képződik, és a burkolatjelek láthatósága is javul [10].

A francia SETRA jelentése szerint, a BBTM-keverékből készült burkolat számára a kedvező felületi víztelenítést annak 0,8-1,2 mm-es homokmélysége biztosítja [21].

A korábbi szakirodalmi információk feldolgozása után, a vizsgált öt aszfalt kopóréteg-típus társadalmi (humán) osztályzatai a 3. táblázatban láthatók.

3. táblázat: Kopóréteg-típusok társadalmi (humán) minősítése, szakirodalmi információk alapján

Aszfalttípus	Társadalmi (humán)
--------------	--------------------

	Kényelem		Forgalombiztonság	
	Utazás-kényelem	Gördülőzaj	Csúszás-ellenállás	Vízköd-képződés + vízen csúszás
Aszfaltbeton (AC)	4	3	3	2
Zúzalékvázas masztixaszfalt (SMA)	4/5	3/4	4/5	4
Porózus aszfalt (PA)	4/5	5	5	5
Hot Rolled Aszfalt (HRA)	4	2	4	2
Aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez (BBTM)	4	4	4	4

2.2.2. KÉRDŐÍVES SZAKÉRTŐI ÉRTÉKELÉS

A DURABROADS-kérdőívre a kopóréteg-fajták társadalmi (humán) összehasonlító értékelésére vonatkozó szakértői válaszokból a 4. táblázaton bemutatott, konszenzuális értékeket (osztályzatokat) határoztak meg.

4. táblázat: Kopóréteg-típusok társadalmi minősítése (osztályozása) szakértői vélemények alapján

Aszfalttípus	Társadalmi (humán)			
	Kényelem		Forgalombiztonság	
	Utazáskényelem	Gördülőzaj	Csúszásellenállás	Vízköd-képződés + vízen csúszás
Aszfaltbeton (AC)	3.9	3.3	3.4	3.1
Zúzalékvázas masztixaszfalt (SMA)	4.5	3.7	4.2	3.4
Porózus aszfalt (PA)	3.9	4.3	4.6	4.8
Hot Rolled Aszfalt (HRA)	3.7	2.7	3.8	3.2
Aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez (BBTM)	3.8	3.8	3.8	3.2

2.3. GAZDASÁGI (PÉNZÜGYI) SZEMPONTOK

Szakirodalmi áttekintés

A végzett szakirodalmi szemle az egyes kopóréteg-típusok élettartam-költségére, üzemi élettartamára és építési költségére terjedt ki.

a.) Élettartam-költségek

Az egyik amerikai szövetségi államban a zúzalékvázas masztixaszfalt és a hagyományos aszfaltbeton-keverékek élettartamköltségeit összehasonlították [40]. Kis forgalmú utak esetében az SMA a hagyományos aszfaltbeton burkolatnál 11-14%-kal költséghatékonyabbnak bizonyult. A különbség tehát nem jelentős mértékű; ezért konkrét esetben, a választás előtt érdemes a megfelelő összehasonlító számítást elvégezni. Ugyanakkor az SMA építési egységköltsége a másik variánsét mintegy 50%-kal meghaladja.

Hasonló kanadai vizsgálat szerint, nagy forgalmú utakon – a használói költségeket is figyelembe véve – az aszfaltbeton változat egy sávkm-ének élettartam-költsége 172.000 CND, míg SMA esetében ez 166.000 CND-t tesz ki [41].

Amerikai és ausztrál számítások igazolják, hogy az SMA építési költsége a hagyományos tömör aszfalttét ugyan 20-40%-kal meghaladja, de, a keréknyomvályúk képződésével szembeni nagyobb ellenállása következtében, sokkal hosszabb üzemi élettartamút képes biztosítani [13].

Az Egyesült Államok Georgia szövetségi államában a különböző összetételű aszfaltkeverékekből készített kopórétegek élettartamköltségeit vetették össze [36]. Az SMA-t találták a legkedvezőbbnek, a következő feltételezések mellett: az SMA 25%-kal drágább az AC-nél; az AC üzemi élettartama 10 év, az SMA-é 15 év; a diszkonttényező 4%-os; vizsgálati időszak pedig 20 év.

A DURABROADS WP2 partnerei úgy döntöttek, hogy – az ez irányú, csupán korlátozottan rendelkezésre álló szakirodalmi információk kiegészítéseként – a vizsgált kopóréteg-változatok LCCA-ját (élettartam-költség felmérését) is elvégzik, amelynek eredményeit majd a többletanyag elemzésben hasznosíthatják.

2.3.1. SZAKÉRTŐI ÉRTÉKELÉS

Az egyes változatokhoz 24 éves vizsgálati időszakot választottak. Ez az alapvariáns aszfaltbeton élettartamának felel meg (12 év után a kopóréteg cseréjének feltételezésével). Az 5. táblázat az ötféle aszfalttípus alapul vett beavatkozási és élettartamvégi “naptárát” mutatja be.

5. táblázat: Az aszfalttípusok alapul vett beavatkozási és élettartam végi “naptára”

Év	PA	AC	BBTMA	SMA	HRA
0	Új építés	Új építés	Új építés	Új építés	Új építés
9	Marás + Újraturkolás				
12		Marás + Újraturkolás			
13			Marás + Újraturkolás		
15				Marás + Újraturkolás	
18	Marás + Újraturkolás				
19					Marás + Újraturkolás
24		Felújítás (Élettartam vége)			
26			Felújítás (Élettartam vége)		
27	Felújítás (Élettartam vége)				
30				Felújítás (Élettartam vége)	
36					Felújítás (Élettartam vége)

Az egyes kopóréteg-variánsok pénzügyi elemzéséhez az EUAC-t (egyenértékű egységes éves költséget) választották, valamint a pénz értékének időbeli csökkenését diszkonttényező alkalmazásával vették figyelembe:

Az aszfalt kopóréteg-változatok, szakirodalmi információkon alapuló, néhány átlagos jellemzője a 6. táblázaton látható.

6. táblázat: A vizsgált aszfaltfajták néhány átlagos jellemzője

Aszfalttípus	Bitumen (tömeg%)	Töltőanyag (tömeg%)	Térfogatsűrűség (to/m ³)	Vastagság (mm)
SMA	6.5	9	2.4	40
AC	5	5	2.4	45
PA	5	4	2.0	45
HRA	7	9	2.4	45

BBTM	6	7.5	2.2	30
------	---	-----	-----	----

A különböző aszfalt kopórétegek üzemi élettartama tekintetében, a rendelkezésre álló szakirodalmi adatokból láthatóan, a szórás meglehetősen nagy [37]. Az észak-európai országok 5-9 éves kopóréteg-élettartamról számolnak be; Közép-Európában 7-10 év a jellemző; nyugati országok pedig 9-15 évről szólnak. Az ismertetett vizsgálatban a 7. táblázatban feltüntetett átlagértékekkel (és a hozzájuk tartozó értékterjedelemmel) operáltak.

7. táblázat: Aszfalttípusok átlagos üzemi élettartama

Aszfalttípus	Üzemi élettartam, értékterjedelemmel (év)
Aszfaltbeton (AC)	12 ± 7
Zúzalékvasas masztixaszfalt (SMA)	14 ± 5,9
Porózus aszfalt (PA)	9 ± 3,4
Hot rolled aszfalt (HRA)	18 ± 4,5
Aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez (BBTM)	13 ± 4,4

A számításhoz számos spanyol útépítési munka 8. táblázatban látható, átlagos költségadatait vették alapul.

8. táblázat: Anyagok és tevékenységek alapul vett egységárai

Anyagok és tevékenységek	Egységár, értékterjedelemmel
Adalékanyag	(13 ± 3,4) €/ton
Bitumenspny	(363 ± 86) €/ton
Polimerrel modifikált bitumen	(454 ± 98) €/ton
Töltőanyag	(48.8 ± 6,8) €/ton
Aszfaltkeverés	(5 ± 2) €/ton
Elterítés és tömörítés	(1,1 ± 0,3) €/m ²
Marás és szállítás	(0,75 ± 0,1) €/m ² /cm

A 9. táblázat az öt aszfalttípus építési egységárát és az EUAC egyenértékű egységes éves költségét szemlélteti.

9. táblázat: Az aszfalttípusok építési egységára és egyenértékű éves költsége

Aszfalttípus	Építési egységár (€/m ² /cm)	EUAC (€/m ² /év)
Aszfaltbeton (AC)	5,2	0,69
Zúzalékvasas masztixaszfalt (SMA)	5,9	0,62
Porózus aszfalt (PA)	4,9	0,96
Hot rolled aszfalt (HRA)	6,0	0,54
Aszfaltbeton nagyon vékony rétegek-hez (BBTM)	4,2	0,50

2.4. KÖRNYEZETI SZEMPONTOK

A vizsgált öt aszfalt kopóréteg-típus környezeti megfelelőségének LCA-számításon alapuló, összehasonlító értékelése az energiaigénynek, a CO₂-emisszióknak és a nem megújuló anyagok (az adalékanyagokra és a bitumenre korlátozott) felhasználásának vizsgálatára vonatkozott.

Szakirodalmi áttekintés

Egy svéd disszertáció az aszfaltburkolatok LCA-számításával foglalkozott [44]. Figyelembe vette az építést, a fenntartás-felújítás és az élettartam-végi stratégiákat. 1 km-es hosszúságú és 3,5 m-es szélességű aszfaltburkolatú forgalmi sáv esetében, 18 éves üzemi élettartam és 4,5%-os bitumentartalom mellett, 570,2 GJ/sávm üzemanyagot használnak fel, és 51 tonna CO₂-t bocsátanak ki. Egyértelműnek találta, hogy az aszfaltkeverék készítése a legnagyobb energiaigényű.

A teljes vastagságban épített porózus aszfalt pályaszerkezet környezeti hatásainak vizsgálatok megállapították, hogy az útpályára szórt olvasztó sóban található réz és cink az ilyen burkolatokból – a hó és a jég gyorsabb elolvadása következtében – a tömör burkolatoknál tapasztaltakhoz képest rövidebb időn belül eltávozik [16]. További előnyként regisztrálták, hogy az azokból eltávozó víz hőmérséklete csökken.

HRA és AC keverékek bedolgozhatóságának összehasonlításakor megállapították, hogy az előbbieket sokkal könnyebb keverni és tömöríteni [44]. A hot rolled aszfalt minták az aszfaltbetonhoz képest kevésbé vízáteresztőknek bizonyultak.

Olasz kutatók aszfaltburkolatok környezeti hatásait többkritériumos elemzéssel vizsgálták [45] azzal a céllal, hogy a leginkább megfelelőt kiválaszthassák.

Gumiőrleménnyel modifikált bitumennek pályaszerkezet-erősítő aszfaltréteg kötőanyagaként való alkalmazásából származó energia-megtakarítást számították, ami a megnövekedett üzemi élettartamból vagy a csökkent erősítési vastagságból (csökkent alapanyag-előállítási és szállítási igényből) származik [46].

Szakértői értékelés

Az előbbi – bizonyos szempontból hézagos – szakirodalmi információk kiegészítésére a DURABROADS partnerek az egyes aszfalt kopóréteg-változatok összehasonlító LCA-elemzését is végrehajtották. A keverékek környezetre gyakorolt hatásának jellemzéséhez azok teljes élettartama alatt felmerülő energiaigényt (MJ/m²) és kibocsátott CO₂-mennyiséget mérték fel [5]. Az építés, a burkolatmarás és az újraburkolás során az energiaigényt és a CO₂-emissziót összegezték, és a vizsgálati időszak éveinek számával elosztották. Az időszak végén pedig a maradékértékkel is számoltak.

A 10. táblázat, számos szakirodalmi forrás adatainak átlagolásával, egyes útépitési anyagok és tevékenységek átlagos fajlagos energiaigényét és CO₂-emisszióját, értéktartományukkal együtt, szemlélteti.

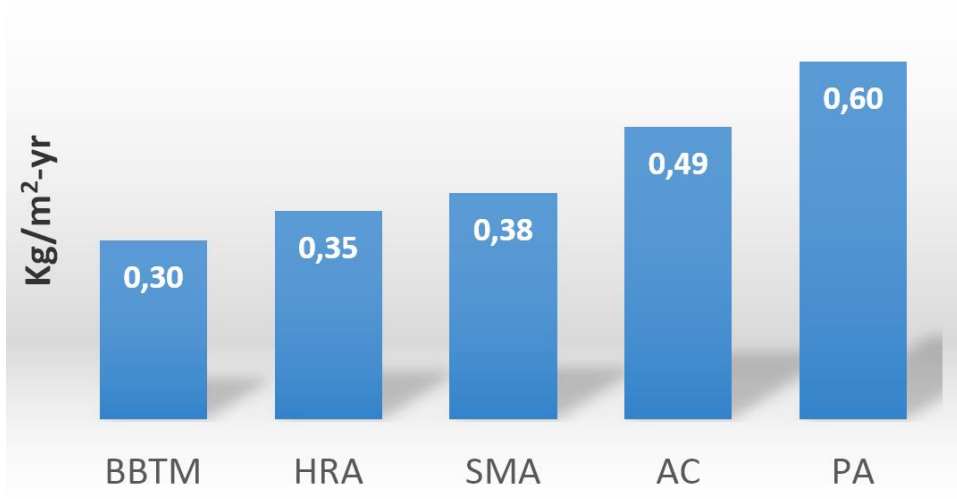
10. táblázat: Anyagok és tevékenységek átlagos energiaigénye és CO₂-emissziója, értékterjedelmükkel

Anyagok és tevékenységek	Energiaigény	CO ₂ -emisszió
Adalékanyag	(42,4 ± 11) MJ/ton	(6,1 ± 4) kg/ton
Bitumen	(5419 ± 2322) MJ/ton	(302 ± 137) kg/ton
Polimerrel modifikált bitumen	5940 MJ/ton	296 kg/ton
Töltőanyag	281 MJ/ton	16 kg/ton
Aszfaltkeverés	(348,5 ± 58,5) MJ/ton	(22,6 ± 4,6) kg/ton
Elterítés és tömörítés	(1,2 ± 0,3) MJ/m ²	(0,11 ± 0,06) kg/m ²
Marás és szállítás	0,75 MJ/m ²	0,055 kg/m ²

Az egyes változatok élettartamuk alatti összes fajlagos (1 m²-re vetített) energiaigény éves mennyiségét az 1. ábra, a CO₂-emissziójáét pedig a 2. ábra mutatja be.



1. ábra: Az aszfalttípus-variánsok élettartama alatti összes fajlagos (1 m²-re vetített) energiaigény éves mennyisége (MJ/m²/év)



2. ábra: Az aszfalttípus-variánsok élettartama alatti összes fajlagos (1 m²-re vetített) kibocsátott éves CO₂ mennyiség (kg/m²/év)

3. NÉHÁNY KÖVETKEZTETÉS

A DURABROADS-projekt 2.munkabizottsága keretében új, döntéstámogató modellt javasoltak, és nagy nehézforgalmú európai utak aszfalt kopóréteg-típusainak optimalásakor, a gyakorlatban is kipróbáltak. A módszertan az AHP (Analitikus Hierarchikus Eljárás) [47] és a TOPSIS (Rend Preferencia Ideális Megoldáshoz való Hasonlóság alapján történő Meghatározása) [48] módszer alkalmazásán alapul, kiegészítve a fuzzy logikával [49], a Monte Carlo módszerekkel [50], GRG (Általánosított Csökkentett Gradiens)-algoritmusokkal [51] és a távolság alapú aggregációval [50]. Ezeknek az eszközöknek a szinergikus kombinálásával olyan komplex és jól működő módszertant sikerült kifejleszteni, amely az összetett problémákra vonatkozó szakértői véleményekben általánosan meglevő határozatlanságokat, bizonytalanságokat és ellentmondásokat hatékonyan kezelni tudja.

Az esettanulmány során nyert eredmények a módszertan alkalmazhatóságát igazolták, támogatják a döntéshozókat abban a tekintetben, hogy, a fenntarthatósági szempontokon alapulva, a legmegfelelőbb

kopóréteg-típust tudják kiválasztani. Bár az igazán hatékony útkezelés a gazdaságra, a környezetre és a társadalomra nagyon kedvező hatást gyakorol, mégis kevés olyan eljárás áll rendelkezésre, amely az útkezelési döntéseket érdemlegesen segíteni tudja. A javasolt módszertan a döntéshozatali problémát hierarchikus fává strukturálja, és így az egyes változatok teljesítményéről különböző szempontok vagy tényezők szerinti következtetések levonását teszi lehetővé. A használó, az általa valamilyen forrásból megbízhatóbbnak tekintett súlyokkal és értékelésekkel, a jelenlegieket helyettesítheti.

4. 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. Gáspár, L.: 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 Deliverable D2.1 Assessment of the gaps in road-related procedures. 2014. 99 p.
4. DURABROADS project Deliverable D2.2 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.
5. 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.
6. Dr. habil. Gáspár L., Bencze Zs., D. Jato-Espino: Döntéstámogató modell nagy nehézforgalmú utak aszfalt kopóréteg-típusának kiválasztásához. Útügyi Lapok 7. szám 2016. március. 18 p.
7. Bencze Zs., Dr. habil. Gáspár L.: Esettanulmány nagy nehézforgalmú utak „optimális” aszfalt kopó-réteg-típusának kiválasztásához. Útügyi Lapok 8. szám 2016. november. 13 p.
8. Dr. habil. Gáspár L., Bencze Zs.: Nagy nehézforgalmú utak „optimális” felújítási technológiájának kiválasztása. Útügyi Lapok 8. szám 2016. november. 23 p.
9. Shiau, J. M., Lin, S. H., Gou, S.: The effects of aggregate gradation on permanent deformation of asphalt concrete. XIIIth World Meeting of the International Road Federation, 1997, Ontario (Canada).
10. Blazejowski, K.: Stone matrix asphalt: Theory and practice. New York (U.S.): CRC Press, 2010.
11. Hunter, R. N.: Bituminous mixtures in roads. London (U.K.): Thomas Telford Ltd., 1994.
12. EAPA: Heavy duty surfaces. The arguments for SMA. Breukelen (Netherlands): European Asphalt Pavement Association, 1998.
13. Gite, B. E., Abjal, M. S.: Stone Mastic Asphalt. Civil Engineering Portal, Kuala Lumpur, Malaysia, 2013. 4 p.
14. Poulidakos, L., Takahashi, S., Partl, M.: Evaluation of improved porous asphalt by various test methods. (No. 113). Dübendorf, Switzerland, 2006.
15. Mansour, T. N., Putman, B. J.: Influence of aggregate gradation on the performance properties of porous asphalt mixtures. Journal of Materials in Civil Engineering, 25(2), 2013, pp. 281-288.
16. Lebens, M.: Porous asphalt pavement performance in cold regions. (No. 12). Minnesota (U.S.): Minnesota Department of Transportation Office of Materials and Road Research, 2012.
17. Hamzah, M.O., Hardiman, D.: Effect of maximum aggregate size on single layer porous asphalt properties and a proposal for double layer to resist clogging. Proceedings of the 6th Malaysian Road Conference, Malaysia, 16-18 August 2004.
18. Lanchas, S., Herrero, O.: Characterization of fibres in durable mixes using the new European binder sliding test. [Caracterización de fibras en mezclas durables mediante el nuevo ensayo europeo de escurrimiento de ligante] Carreteras, 4(155), 2007, pp. 60-71.

19. Botella, R., Pérez, F. E., Miró, R., Costa, A., Loma, J., Cervantes, R., Potti, J.J.: SMA mixtures' thermal cracking and fatigue behaviour. [El comportamiento a fisuración térmica y por fatiga de las mezclas SMA] *Asfalto Y Pavimentación*, 8(3), 2013, pp. 11-18.
20. Nejad, F. M., Aflaki, E., Mohammadi, M. A.: Fatigue behavior of SMA and HMA mixtures. *Construction and Building Materials*, 24(7), 2010, pp. 1158-1165.
21. SETRA: Aide au choix des techniques d'entretien des couches de surface des chaussées. Paris, 2009. 70 p.
22. Sandberg, U., Kragh, J., Goubert, L., Bendtsen, H., Bergiers, A., Biligri, K. P., Vansteenkiste, S.: Optimization of thin asphalt layers – state-of-the-art review. (No.1). Linköping (Sweden): 2010. ERA-NET ROAD Project “Optimization of thin asphalt layers”.
23. Berge, T.: NordTyre – Tyre/road noise testing on various road surfaces – State-of-the-art. (No. SINTEF A22579). Trondheim (Norway): 2012. Project 90E380. 28 p.
24. Aksnes, J.: Environmentally friendly pavements. (No. 2578). Trondheim (Norway): 2009. VN PT – 15205.
25. van Keulen, W.: Silent Roads for Cost Effective Noise Reduction. Green Pages, 1-4, 2004.
26. Cattley, D: Towards Sustainability Good Practice Case Sheets: the use of Thin Surfacing Systems – a Quiet Revolution. ICE: London, 2008.
27. McDaniel, R.: Field Evaluation of Porous Asphalt Pavement. North Central Superpave Center PP-present-ation slides, 2009. 34 p.
28. Open Graded Friction Course Usage Guide (OGFC). California Department of Transportation, Sacramento, CA, 2006. 19 p.
29. Beckenbauer, T., Spiegler, P., van Blokland, G.J., Kuijpers, A., Reinink, F., Huschek, S., Stüttze, T., Heerkens, J.: Einfluss der Fahrbahntextur auf das Reifen-Fahrbahn-Gerausch. Forschungsbericht FE-Nr. 03.239/1995/MRB, Bundesanstalt für Strassenverkehr, 2001.
30. De Graaff, D. F.; Peeters, A. A. A.; Peeters, H.M.: Tire/road measurements of truck tires. Report M+P.DWW.03.71. Vught (Netherlands): M+P Noise and Vibration Consultancy, 2004.
31. Friel, S., Kane, M., Woodward, D.: Use of Wehner Schulze to predict skid resistance of Irish surfacing materials. 2013 Airfield and Highway Pavement Conference: Sustainable and Efficient Pavements, Los Angeles, California (U.S.).
32. Nicholls, J. C.: Review of UK porous asphalt trials (1st Ed.). Crowthorne, U.K.: Thomas Telford Ltd., 1999.
33. Daines, M. E.: Trials of porous asphalt and rolled asphalt on the A38 at Burton. (No. 323). Crowthorne, U.K., Transport Research Laboratory, 1992.
34. Nikolaidis, A.: Very thin surfacing: A beneficial and cost effective alternative to traditional surfacing materials for flexible pavements. 1st ICTI China Beijing, Beijing, China, 2008, pp. 131-140.
35. Davis, R. M.: Comparison of surface characteristics of hot-mix asphalt pavement surfaces at the Virginia Smart Road. Blacksburg, Virginia (U.S.): Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, 2012.
36. Fwa, T. F., Choo, Y. S., Liu, Y.: Effect of aggregate spacing on skid resistance of asphalt pavement. *Journal of Transportation Engineering*, 129(4), 2003, pp. 420-426.
37. McGhee, K. K.: Measuring, Achieving, And Promoting Smoothness of Virginia's Asphalt Overlays. Final Report, Virginia Transportation Research Council, April 1999. 42 p.
38. Nicholls, J. C., Carswell, I., James, D. J.: Durability of thin surfacing systems in the UK after nine years monitoring. 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Istanbul (Turkey), 2012.

39. Rungruangvirojn, P., Kanitpong, K.: Measurement of visibility loss due to splash and spray: Porous, SMA and conventional asphalt pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 11(6), 2010, pp. 499-510.
40. Smith, K. L., Titus-Glover, P., Rao, S., Von Quintus, H. L., Stanley, M.: Life-Cycle Cost Analysis of SMA Pavements and SMA Application Guidelines. Final Report. Wisconsin Highway Research Program #0092-04-06. Submitted to Wisconsin Department of Transportation. 2006. 116 p.
41. Life-cycle costing – Asphalt pavements in Ontario. Ontario Hot Mix Producers Association, 1998. 4 p.
42. Butt, A. A.: Life cycle assessment of asphalt pavements including the feedstock energy and asphalt additives. Stockholm (Sweden): Division of Highway and Railway Engineering, 2012.
43. OECD: Economic Evaluation of Long-Life Pavements. Programme of Research on Road Transport and Intermodal Linkages (RTR), 1, 3-114, 2005.
44. Kamaruddin, I., Soelistijo, A., Napiyah, M.: A comparison of the engineering properties of gap-graded and well-graded road bituminous mixtures. 16th International Conference on Urban Transport and the Environment, Urban Transport 2010, Limassol (Cyprus), pp. 275-287.45. Moretti, L., Di Mascio, P., D’Andrea, A.: Environmental impact assessment of road asphalt pavements. *Modern Applied Science*, 7(11), 2013, pp. 1-11.
46. Kaloush, K., Biligiri, K., Rodezno, M., Belshe, M., Way, O., Carison, D., Sousa, J.: Asphalt rubber asphalt concrete friction course overlay as a pavement preservation strategy. 4th International Gulf Conference on Roads, Doha (Qatar), 2008, pp. 559-569.
47. Saaty, T. L.: *The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation*. New York (U.S.), 1980, McGraw-Hill.
48. Hwang, C. L., Yoon, K.: *Multiple attribute decision making: Methods and applications*. New York (U.S.): Springer. 1981. 225 p.
49. Lin, H.: An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. *Computers and Education*, 54(4), 2010, pp. 877-888.
50. Hammersley, J. M., Handscomb, D. C.: *Monte Carlo methods*. London (U.K.): Methuen, 1964.
51. Abadie, J., Carpentier, J.: Generalization of the Wolfe reduced gradient method to the case of nonlinear constraints. *Optimization*, University of Keele, London (U.K.), 1968, pp. 37-47.