



Esettanulmány nagy nehézforgalmú utak „optimális” aszfalkopóréteg-típusának kiválasztásához

Bencze Zsolt, Gáspár László

Kivonat: A részben az Európai Unió által támogatott DURABROADS projekt keretében új, döntéstámogató modellt javasoltak, és – esettanulmányként – nagy nehézforgalmú európai utak aszfalkopóréteg-típusainak optimalizálása, a gyakorlatban is kipróbáltak. A különböző matematikai-statisztikai eszközök szinergikus kombinálásával kifejlesztett módszertan az összetett problémákra vonatkozó szakértői véleményekben meglévő bizonytalanságokat és elmentmondásokat hatékonyan tudja kezelni. Az érzékenységi vizsgálat a modell „rugalmasságát” is bizonyította; a módszertan architektúrája és algoritmusai az inputok széles sávjában való változtathatóságát teszik lehetővé anélkül, hogy a rendszer normális működését megzavarnák.

Kulcsszavak: aszfalkopóréteg-típusok, kopóréteg-típusok optimalizálása, nagy nehézforgalmú európai utak, matematikai-statisztikai eljárások, érzékenységvizsgálat

1. Bevezetés

Az Európai Unió 7. Kutatási és Technológiafejlesztési Keretprogramjához kapcsolódva, 2013-ban egy nemzetközi konzorcium a 42 hónapos DURABROADS (Cost-effective DURABLE ROADS by green optimized construction and maintenance; Költséghatékony, tartós utak, „zöld” optimált építés és fenntartás révén) projekt részbeni finanszírozását nyerte el [1]. A projekt partnere és a 2. munkabizottság vezetője a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. A DURABROADS projekt D2.3 „Javaslat az útkezelésben hasznosítható, gazdaságosabb, tartósabb és fenntartható, építési, fenntartási és felújítási technológiákra” tárgyú részjelentést [2] a KTI szakemberei koordinálták. A 114 oldalas anyag célját a következők képezték: Európa négy fő körzetében (Észak-, Nyugat-, Dél- és Közép-Európában) a nagy nehézforgalmú utakra (a TEN-T úthálózatra) vonatkozóan az aszfalkopó-réteg-típusok, illetve a fenntartási-felújítási technológiák optimalizálásához többtényezős – többkritériumos – módszertan kialakítása, valamint annak erre a célra történő alkalmazása.

A D2.3 részjelentés, egyebek mellett, az európai nagy nehézforgalmú utak kopóréteg-, illetve felújítástípusainak komplex vizsgálatára, optimalizálására, az élettartammérnöki tudomány alapelvein [3] nyugvó modellt dolgozott ki [4]. Ez a cikk a modell érzékenységvizsgálatával, valamint a tárgyban készített esettanulmánnyal foglalkozik.

2. A modell érzékenységvizsgálata

A projekt során kialakított döntéshozatali modellel olyan érzékenységvizsgálatot hajtottak végre, amellyel azt mérték fel, hogy a kritériumok súlyában és az egyes variánsok értékelésében bekövetkező változások az eredményként adódó R_i viszonylagos közelségi tényezőt milyen mértékig módosítják. Nem tartották elegendőnek, hogy a modell által szolgáltatott eredményekkel – minden további vizsgálat nélkül – elégedettek legyenek, hanem az inputok értékváltoztatásának a végeredményre gyakorolt hatásáról való tájékozódást is szükségesnek ítélték. A TOPSIS-módszert [5] alkalmazták az éghajlatváltozás hatásának az egyes kopóréteg-változa-

1. Táblázat. Érzékenységvizsgálati esetek és azoknak az aszfalt kopó rétegekre gyakorolt valószínű hatásai

| Körzet | Eset | Leírás | Kopó rétegre gyakorolt hatás |
|--------|------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ÉSZAK | 1a | Anyag kisebb tartóssága | ↓ Tartósság az LCC-ben és az LCA-ban ↑ Technológia |
| | 1b | Klímaváltozási hatások | ↑ Bomlási ellenállás ↑↑ Forgalmobiztonság |
| DÉL | 2a | Rövid távú klímaváltozás | ↑↑ Alakváltozási ellenállás ↑ Bomlási ellenállás ↓ Forgalmobiztonság |
| | 2b | Hosszú távú klímaváltozás | ↑↑ Alakváltozási ellenállás ↑ Bomlási ellenállás ↓ Forgalmobiztonság ↑ CO ₂ -emisszió |
| NYUGAT | 3a | Rövid távú klímaváltozás | ↑ Technológia ↑↑ Forgalmobiztonság |
| | 3b | Hosszú távú klímaváltozás | ↑ Technológia ↑↑ Forgalmobiztonság ↑ CO ₂ -emisszió |
| KÖZÉP | 4a | Rövid távú klímaváltozás | ↑ Alakváltozási ellenállás ↑↑ Bomlási ellenállás ↑ Forgalmobiztonság |
| | 4b | Hosszú távú klímaváltozás | ↑ Alakváltozási ellenállás ↑↑ Bomlási ellenállás ↑ Forgalmobiztonság ↑ CO ₂ -emisszió |

tok végleges sorba állításához. Az EEA (Európai Környezeti Hivatal) szerint [6] az éghajlatváltozás hatásai a kontinens régiói szerint nagyon különbözőek. A legnagyobb hőmérséklet-emelkedésre Dél-Európában és a sarki körzetben számítanak, ugyanakkor csapadék tekintetében Észak- és Nyugat-Európában lehet legjelentősebb a növekedés, miközben Dél-Európában a jelenleginél kevesebb csapadék várható. Az éghajlatváltozás egyes tényezői közül a csapadék, a hőmérséklet (pl. hőhullámok) és fagyási-felengedési ciklusok gyakorolják az útburkolatra a legnagyobb hatást [7, 8, 9]. A Joint Research Centre Európa egyes körzeteire különböző súlyos klímaváltozási hatásokat mutatott ki [10]:

- gyakori fagyási-felengedési ciklusok az északi országokban,
- általános nyári melegedés; a hőmérséklet a korábbi maximális értéket Dél-, Nyugat- és Közép-Európában egyre több napon haladja meg,

2. Táblázat. Az aszfaltkopóréteg-típusok választásához döntéshozatali fa (hierarchikus struktúra)

| Követelmények, R | Kritériumok, C | Mérőszámok, I |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gazdasági, R ₁ | Költségek, C _{1.1} | Kezdeti beruházás, I _{1.1.1} Élettartamköltség, I _{1.1.2} |
| Környezeti, R ₂ | Erőforrás-hatékonyság, C _{2.1} | Adalékanyag-igény, I _{2.1.1} Bitumenigény, I _{2.1.2} |
| | Fogyasztások, C _{2.2} Károsanyag-kibocsátás, C _{2.3} | Energiafogyasztás, I _{2.2.1} CO ₂ -kibocsátás, I _{2.3.1} |
| Társadalmi, R ₃ | Kényelem, C _{3.1} | Utazáskényelem, I _{3.1.1} Zaj, I _{3.1.2} |
| | Biztonság, C _{3.2} | Csúszásellenállás, I _{3.2.1} Vízköd, vízen csúszás I _{3.2.2} |
| Műszaki (funkcionális), C _{4.1} | Mechanikai ellenállás, C _{4.1} | Bomlási ellenállás, I _{4.1.1} Deformációs ellenállás, I _{4.1.2} |

- a csapadékkintenzitás és a szélsőséges csapadékmennyiség valószínűségének növekedése egész Európában, különösen Észak-Európa egyes körzeteiben.

Az említett adatforrásokra támaszkodva az 1. táblázat szemlélteti azokat a várható éghajlatváltozás-tényezőket, amelyek az egyes európai körzetek aszfaltburkolataira a legnagyobb hatást gyakorolják. A klímaváltozás jövőbeni hatásain kívül az 1. táblázat 1a scenáriója (esete) az északi országokban az aszfaltburkolatok csökkent mértékű tartósságát is feltüntette [11].

3. Az esettanulmány eredményei és azok tárgyalása (diszkussziója)

Ezután a korábbiakban ismertetett módszertan három számítási fázisának (kritériumok súlyozása, variánsok értékelése és érzékenységvizsgálat) az elvégzett esettanulmány során kapott eredményeit ismertetjük, és azokat tárgyaljuk. Ezek közül az első számítási fázist MS Excel-formátumban végezték, mivel a kitöltött kérdőívek is ebben a formátumban érkeztek. A másik kettőt pedig MAT-LAB R2014b-formátumban [12] kezelték, mivel ennek során 3 dimenziós mátrixok között kellett kapcsolatot teremteni.

3. Táblázat. Páronkénti összehasonlítási értékek a kopó rétegek típusválasztásakor

| Szint | Hasonlítható tényezők (l. a 2.táblázaton) | Érték | Konzisztenciaarány (CR) |
|---------------|----------------------------------------------|-------|-------------------------|
| Követelmények | R ₁ vs. R ₂ | 0,709 | 0,002 |
| | R ₁ vs. R ₃ | 0,876 | |
| | R ₁ vs. R ₄ | 0,484 | |
| | R ₂ vs. R ₃ | 1,249 | |
| | R ₂ vs. R ₄ | 0,603 | |
| | R ₃ vs. R ₄ | 0,619 | |
| Kritériumok | C _{2.1} vs. C _{2.2} | 1,643 | 0,000 |
| | C _{2.1} vs. C _{2.3} | 1,530 | |
| | C _{2.2} vs. C _{2.3} | 0,902 | |
| | C _{3.1} vs. C _{3.2} | 0,221 | 0,000 |
| Mérőszámok | I _{1.1} vs. I _{1.1.2} | 0,477 | 0,000 |
| | I _{2.1} vs. I _{2.1.2} | 0,450 | 0,000 |
| | I _{3.1} vs. I _{3.1.2} | 1,812 | 0,000 |
| | I _{3.2} vs. I _{3.2.2} | 2,458 | 0,000 |
| | I _{4.1} vs. I _{4.1.2} | 1,000 | 0,000 |

3.1 Kritériumok súlyozása

A javasolt módszertannak a szakértők által kitöltött kérdőívekben tapasztalt ellentmondások kezelésére és minimalására való alkalmazásával a 2. táblázaton feltüntetett követelmények, kritériumok és mérőszámok konszenzuális numerikus értékeihez [3] jutottak; ezeket a 3. táblázat szemlélteti. A konszenzuális összehasonlító mátrixok minden esetben konzisztensek ($CR \leq 0.1$, ahol CR konzisztenciaarány [3]), ami logikus is, hiszen minden összehasonlítási mátrixot a GRG- (általánosított csökkentett gradiens) algoritmus [13] segítségével – szükség esetében – konzisztensé tettek. A GRG-algoritmus alkalmazására példaként az (1) képlet az egyik szakember által a négy követelmény relatív fontosságára adott inkonzisztens ($CR = 0,275$) összehasonlítási mátrixot mutatja be:

| | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| R ₁ | | | | 1/3 |
| R ₂ | 1/7 | | | 1/5 |
| R ₃ | 1/5 | 1/5 | | 1/5 |
| R ₄ | | | | |

(1)

4. Táblázat. A kvalitatív változók értékelésére szolgáló verbális kifejezések

| Verbális kifejezések | Háromszögű fuzzy szám (TFN) |
|----------------------|-----------------------------|
| Rendkívül rossz | {1, 1, 2} |
| Nagyon rossz | {1, 2, 3} |
| Rossz | {2, 3, 4} |
| Elég rossz | {3, 4, 5} |
| Átlagos | {4, 5, 6} |
| Elég jó | {5, 6, 7} |
| Jó | {6, 7, 8} |
| Nagyon jó | {7, 8, 9} |
| Rendkívül jó | {8, 9, 10} |

A konzisztencia növelésének célkitűzése abban fogalmazható meg, hogy ennek a mátrixnak és a tökéletesen konzisztens mátrixnak [3] a jobb oldali, felső háromszögében levő megfelelő elemek közötti különbséget minimalják, miközben a (2) összefüggést is kielégítik:

$$\min \sqrt{\sum_{j=1}^n |x_{j_1 j_2} - x'_{j_1 j_2}|^2} \quad (2)$$

miközben, $1/9 \leq x'_{j_1 j_2} \leq 9$ és $CR \leq 0,1$.

A (2) összefüggés alkalmazásával az (1) mátrixot konzisztensé – $CR = 0,1$ – tudták tenni (lásd a [3] mátrixot) oly módon, hogy az értékelők eredeti véleményét a lehető legnagyobb mértékben figyelembe vették:

| | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| R ₁ | | | 5,446 | 0,416 |
| R ₂ | 0,194 | | | 0,205 |
| R ₃ | 0,184 | 0,277 | | |
| R ₄ | 2,403 | 4,868 | 6,353 | |

(3)

A 4. táblázaton látható háromszögű fuzzy számok [3, 14] felhasználásával, valamint a (4) és az (5) képlet alkalmazásával, az 1. táblázaton levő hierarchikus szerkezeti elemek súlyai meghatározhatók (5. táblázat).

A kritériumsúlyok számításához az $[A_c]$ mátrix [3] elemeit először normalizálni kell:

$$x_{j_1 j_2, cn} = \frac{x_{j_1 j_2, c}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j_2, c}^2}} \quad (4)$$

5. Táblázat. Elemsúlyok a kopóréteg-típus választásához

| R ₁ | | R ₂ | | | | R ₃ | | | | R ₄ | |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|--|
| 0,178 | | 0,244 | | | | 0,209 | | | | 0,369 | |
| C _{1.1} | | C _{2.1} | C _{2.2} | C _{2.3} | C _{3.1} | C _{3.2} | | | C _{4.1} | | |
| 1,000 | | 0,442 | | 0,266 | 0,292 | 0,181 | | 0,819 | | 1,000 | |
| h _{1.1} | h _{1.2} | l _{2.1} | l _{2.2} | l _{2.3} | l _{3.1} | l _{3.2} | l _{3.2.1} | l _{3.2.2} | l _{4.1} | l _{4.2} | |
| 0,323 | 0,677 | 0,310 | 0,690 | 1,000 | 1,000 | 0,644 | 0,356 | 0,711 | 0,289 | 0,500 | |

A normalizált konszenzuális összehasonlítási mátrixból az egyes kritériumsúlyok a következő összefüggésből határozhatók meg:

$$w_j = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j_1, j_2, c}}}}{\sum_{j=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{1}{\sqrt{\sum_{j=1}^n x_{j_1, j_2, c}}}} \quad (5)$$

Az 5. táblázat adatainak vizsgálatából nyilvánvaló a műszaki (funkcionális) követelmények határozott túlsúlya a többivel szemben, ami azzal magyarázható, hogy a megfelelő műszaki teljesítményt nyújtó utak általában gazdaságosak, és a társadalmi követelményeket is kielégítik. Az a tény, hogy a környezeti követelményt az értékelők általában fontosnak tekintik, igazolja az útügyi szektorban tapasztalható növekvő ökológiai tudatosságot. Az sem meglepő, hogy a használói forgalombiztonság mint társadalmi tényező kapta a legmagasabb pontszámot, mivel ez az Európai Unió útgazdálkodási célkitűzésével teljes mértékben megegyezik [15].

3.2 A variánsok értékelése

A 6. táblázat a különböző kopóréteg-variánsok esetében az egyes mérőszámokra adott értékeléseket szemlélteti. A kvantitatív mérőszámokat az általuk felvehető érték-tartománynak megfelelően jellemezték, amennyiben minimális, maximális és legvalószínűbb értéküket vették alapul.

A kvalitatív mérőszámok esetében, hogy azok egyszerűbben és könnyebben értékelhetők lehessenek, a háromszögű fuzzy számmal leírt változókat – a fokozatos, átlagos integráló módszer (graded mean integration method) alkalmazásával – kanonikus alakba írták át [16]. Az $\tilde{A} = (\alpha, \beta, \gamma)$ háromszögű fuzzy szám fokokba soroló, átlagos integráló formája a következő:

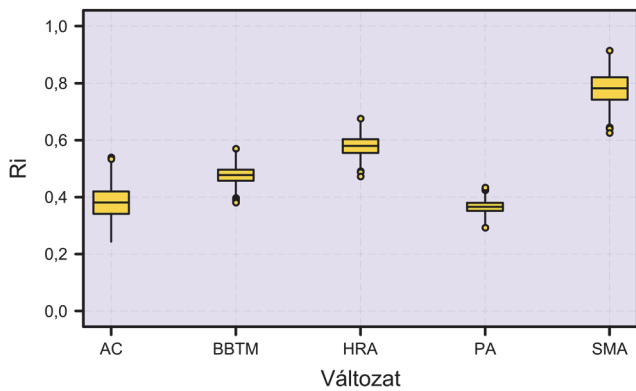
6. Táblázat. Mérőszámok sztochasztikus és kanonikus alakú értékelése

| Mérőszám | Érték | AC | BBTM | HRA | PA |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| I _{1.1.1} | MIN | 0,34 | 0,34 | 0,29 | 0,50 |
| | LV | 0,69 | 0,50 | 0,54 | 0,96 |
| | MAX | 1,00 | 0,71 | 0,79 | 1,33 |
| I _{1.1.2} | MIN | 3,10 | 2,90 | 3,60 | 3,40 |
| | LV | 5,20 | 4,20 | 6,00 | 4,90 |
| | MAX | 7,80 | 6,10 | 8,90 | 7,10 |
| I _{2.1.1} | MIN | 21,22 | 16,12 | 15,15 | 24,36 |
| | LV | 30,73 | 17,19 | 19,06 | 36,25 |
| | MAX | 42,95 | 20,09 | 24,11 | 51,98 |
| I _{2.1.2} | MIN | 1,00 | 0,85 | 1,05 | 1,09 |
| | LV | 1,67 | 1,08 | 1,40 | 2,00 |
| | MAX | 2,79 | 1,51 | 1,81 | 3,61 |
| I _{2.2.1} | MIN | 3,51 | 2,76 | 2,92 | 4,07 |
| | LV | 7,55 | 4,57 | 5,47 | 9,13 |
| | MAX | 15,52 | 7,99 | 9,65 | 19,66 |
| I _{2.3.1} | MIN | 0,25 | 0,19 | 0,20 | 0,29 |
| | LV | 0,49 | 0,30 | 0,35 | 0,60 |
| | MAX | 1,13 | 0,58 | 0,69 | 1,43 |
| I _{3.1.1} | KAN | 6,96 | 6,77 | 6,70 | 7,79 |
| I _{3.1.2} | KAN | 5,19 | 6,73 | 2,99 | 8,30 |
| I _{3.2.1} | KAN | 5,35 | 6,77 | 6,87 | 8,28 |
| I _{3.2.2} | KAN | 3,15 | 6,52 | 3,31 | 8,67 |
| I _{4.1.1} | KAN | 4,91 | 3,83 | 6,94 | 3,03 |
| I _{4.1.2} | KAN | 6,15 | 6,67 | 5,20 | 8,19 |

Jelmagyarázat: AC = aszfaltbeton; BBTM = aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez; HRA = hot rolled asphalt (az ÉHA-hoz hasonló); PA = porózus aszfalt; SMA = zúzalékvasas masztixaszfalt; MIN = minimális; LV = legvalószínűbb; MAX = maximális; KAN = kanonikus érték

$$P(\tilde{A}) = \frac{1}{6}(\alpha + 4 \times \beta + \gamma) \quad (6)$$

Mintegy 5000 szimulációt hajtottak végre annak érdekében, hogy a kvantitatív mérőszámokhoz a háromszögű eloszlású vektorokat generálhassák. Így az r_{ij} értékelések sorához jutottak, amelyek aztán a TOPSIS-módszer inputjaként használandó döntéshozatali mátrixok felépítésére szolgáltak. A 3. ábra – a TOPSIS-algoritmus egyes lépéseinek alkalmazása után – az egyes variánsoknak az ideális megoldástól való viszonylagos távolságát (R_i) mutatja meg.



1. Ábra. Az egyes kopóréteg-típusok összesített teljesítménye

Az egyes variánsok összesített teljesítményét – a gazdasági (pénzügyi) és a környezeti mérőszámokat jellemző szórások érzékeltesére – téglalapokkal ábrázolták. Ebből adódóan a végleges javaslat az úttervezőknek a kockázatokhoz való hozzáállásától függ, mivel egyes variánsok valamely speciális esetben – a piaci ingadozások és a környezeti körülmények következtében – a többinél jobb teljesítményt nyújthatnak. Azonban a kapott információk alapján állítható, hogy a legvalószínűbbnek tekinthető sorrend: $SMA > HRA > BBTM > AC > PA$. Ez a sorrend a 6. táblázat és a 2. ábra információi alapján egyértelműen magyarázható. Az SMA (zúzalékvázás masztixaszfalt) kiváló mechanikai (funkcionális) teljesítménye – a 6. táblázat szerint a legfontosabb követelmény – volt az elsődleges oka, hogy ez a kopóréteg-variáns került az első helyre. Az eredmények a bizonyos mértékig egymásnak ellentmondó kritériumok tekintetében a kiegyensúlyozott teljesítmény jelentőségére is felhívják a figyelmet. Ebben a vonatkozásban a HRA (hot rolled asphalt) kedvező összesített teljesítménye érdemel említést, amely mind a négy kritérium tekintetében legalább átlagos minősítést kapott. Ellenpéldaként pedig a PA (porózus aszfalt) említendő, amelyet az értékelők a burkolatbomlással szembeni csekély ellenállása és a környezetre gyakorolt hátrányos hatása miatt „szigorúan megbüntettek” annak ellenére, hogy társadalmi (humán) szempontból a legkedvezőbb változatnak bizonyult, valamint az alakváltozással szemben is kiváló ellenállásról tett tanúbizonyságot. Hasonlóképpen, a BBTM (aszfaltbeton nagyon vékony rétegekhez) összesített teljesítményét – bár a legolcsóbb és a „leginkább zöld” kopóréteg-típusnak értékelték –

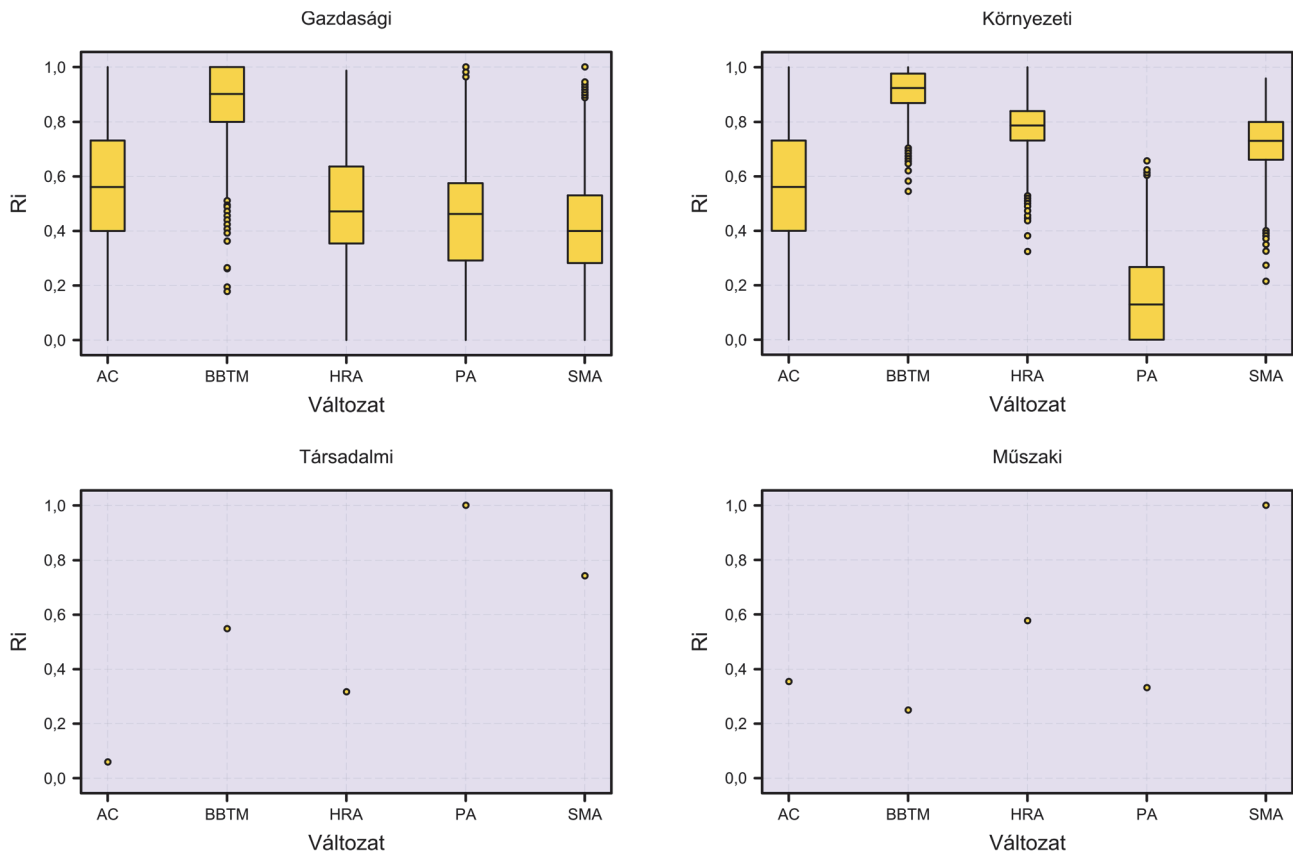
bomlással szembeni alacsony és alakváltozással szembeni nagyon mérsékelt ellenállása rendkívül hátrányosan befolyásolta.

3.3 Az esettanulmány érzékenységvizsgálata

A „nagy nehézforgalmú utak aszfalt kopó rétegeinek optimalizálása” esettanulmány érzékenységvizsgálatának eredményei (lásd az 3. ábrát) ismételten az SMA első helyét bizonyították, amely minden javasolt szcenárióban (esetben) a legmagasabb R_i -t kapta. Az SMA elsőbbségének mértékét csupán a dél-európai országok éghajlatváltozással szembeni hosszú távú félelmei csökkentették, mivel a CO_2 -kibocsátás növekvő jelentőségéből adódóan az SMA-tól való távolságot a BBTM és a HRA képes volt kissé csökkenteni. Az érzékenységvizsgálat során tapasztalt legnagyobb változás a PA tekintetében jelentkezett, amikor egyes (1b, 3a, 3b és 4a) szcenáriókban (esetekben) – ahol a forgalombiztonság a korábbiaknál nagyobb szerephez jutott – a porózus aszfalt összesített teljesítménye a BBTM-ét és az AC-ét (aszfaltbetont) is meghaladta. Egyértelmű, hogy ez a kopóréteg-változat csupán a bomlással szembeni csekély ellenállása miatt nem képes a HRA-t megelőzni. Ugyanakkor nyugat-, közép- és észak-európai országok egyes szcenárióiban (esetekben) az AC kedvezőtlen csúszásellenállása és a BBTM bomlási ellenállással szembeni csekély ellenállása tette azokat kevésbé megfelelőkké.

4. Néhány következtetés

A DURABROADS projekt 2. munkabizottsága keretében új, döntéstámogató modellt javasoltak, és – esettanulmányként – nagy nehézforgalmú európai utak aszfaltkopóréteg-típusainak optimalizálásakor a gyakorlatban is kipróbálták. A módszertan az AHP (analitikus hierarchikus eljárás) [17] és a TOPSIS (Rend Preferencia Ideális Megoldáshoz való Hasonlóság alapján történő Meghatározása) [8] módszer alkalmazásán alapul, kiegészítve a fuzzy logikával [14], a Monte Carlo-módszerekkel [19], GRG (általánosított csökkentett gradiens)-algoritmussal [13] és a távolságalapú aggregációval.



2. Ábra. A vizsgált kopóréteg-típusok teljesítménye a négy kritérium szempontjából

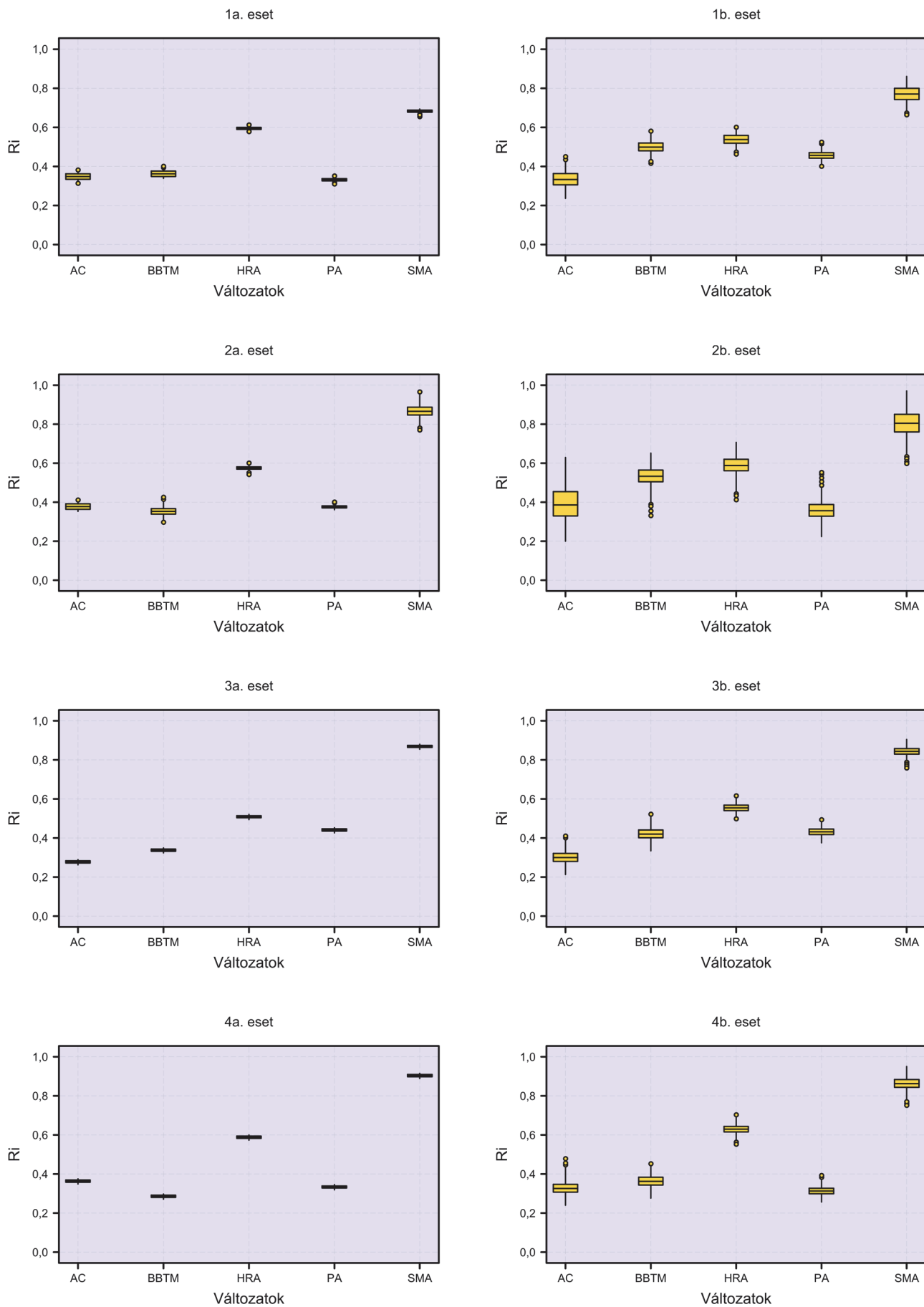
Ezeknek az eszközöknek a szinergikus kombinálásával olyan komplex és jól működő módszertant sikerült kifejleszteni, amely az összetett problémákra vonatkozó szakértői véleményekben általánosan meglévő határozatlanságokat, bizonytalanságokat és ellentmondásokat hatékonyan tudja kezelni.

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 ily módon az egyes változatok teljesítményéről különböző szempontok vagy tényezők szerinti következtetések levonását teszi lehetővé.

Mindezek mellett az Európa különböző körzeteire vonatkozóan végzett érzékenységi vizsgálat a modell „rugalmasságát” is bizonyította.

A módszertan architektúrája és algoritmusai az inputok széles sávbán való változtathatóságát lehetővé teszik anélkül, hogy a rendszer normális működését megzavarnák.

Ennek a ténynek pedig abból a szempontból van jelentősége, ha a modellt használók az elméleti háttérrel nincsenek tisztában. Végül pedig érdemes hangsúlyozni, hogy a használó számára az általa valamilyen forrásból megbízhatóbbnak tekintett súlyokkal és értékelésekkel a jelenlegieket helyettesítheti.



3. Ábra. Érzékenységvizsgálat az aszfalt kopó rétegek választásakor

6. 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. **DURABROADS** Deliverable D2.3 Proposal of construction, maintenance and rehabilitation procedures more affordable, resilient and sustainable for the management of road asset. 2015. 109 p.
3. **Gáspár, L.** (2012): Lifetime engineering for roads (Keynote lecture). Proceedings of CETRA 2012 (2nd International Conference on Road and Rail Infrastructure), Dubrovnik, 7-9 May, pp. 25-34.
4. **Gáspár L., Bencze Zs.** (2016): Döntéstámogató modell nagy nehézforgalmú utak aszfalt kopóréteg-típusának kiválasztásához. *Útügyi Lapok* 7. szám. 2016. március 18 p.
7. **Sandberg, U., Kragh, J., Goubert, L., Bendtsen, H., Bergiers, A., Biligri, K. P., Vansteenkiste, S.** (2010): Optimization of thin asphalt layers - state-of-the-art review. (No. 1). Linköping (Sweden): ERA-NET ROAD Project „Optimization of thin asphalt layers”.
8. **Gáspár, L.** (2008): Lifetime engineering in road asset management. CD-ROM Proceedings of 3rd European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra (Portugal), 10 p.
9. **Tabaković, A., McNally, C., Gibney, A., Cassidy, S., Shahmohammadi, R., King, S., Gilbert, K.** (2014): Recycling Road construction in a post-fossil fuel society. Report of laboratory and site testing for site trials. (No. 8). Dublin (Ireland): 2014. EARN project (Effects on Availability of Road Network).
10. **Nemry, F., Demirel, H.** (2012): Impacts of climate change on transport: A focus on road and rail transport infrastructures. Luxembourg: Joint Research Centre (European Commission), 93 p.
11. **OECD** (2005): Economic Evaluation of Long-Life Pavements. Programme of Research on Road Transport and Intermodal Linkages (RTR), 1, 3-114
12. **MathWorks. MATLAB R2014b.** Natick, Massachusetts (U.S.), 2014.
13. **Abadie, J., Carpentier, J.** (1968): Generalization of the Wolfe reduced gradient method to the case of nonlinear constraints. Optimization, University of Keele, London (U.K.), pp. 37-47.
14. **Lin, H.** (2010): An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. *Computers and Education*, 54(4), pp. 877-888.
15. **European Commission** (2006): Examples of assessed road safety measures. ROSEBUD - Road Safety and Environmental Benefit-Cost and Cost-Effectiveness Analysis for use in Decision-Making, pp. 63-65.
16. **Chou, C.** (2003): The canonical representation of multiplication operation on triangular fuzzy numbers. *Computers and Mathematics with Applications*, 45(10-11), pp. 1601-1610.
17. **Saaty, T. L.** (1980): The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. New York (U.S.), McGraw-Hill.
18. **Hwang, C. L., Yoon, K.** (1981): Multiple attribute decision making: Methods and applications. New York (U.S.): Springer. 225 p.
19. **Hammersley, J. M., Handscomb, D. C.** (1964): Monte Carlo methods. London (U.K.): Methuen

Case study for the selection of „optimum” asphalt wearing course types on heavily trafficked roads

Abstract: The DURABROADS-project partly financed by European Commission developed a new decision support model for the optimization of the asphalt wearing course types on heavily trafficked European roads. The model was also tested in a case study. The methodology based on the synergetic combination of various mathematical-statistical procedures is able to handle the uncertainties and the contradictions in the expert opinions given on complex problems. The sensitivity analysis has proved the “flexibility” of the model since the architecture and the algorithms of the methodology allow the variability of inputs in a wide range without disturbing the normal use of the system.

Keywords: asphalt wearing course types; optimization of wearing course types; heavily trafficked European roads; mathematical-statistical procedures; sensitivity analysis

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 gyártás-közi ellenőrzése, az első hazai betonburkolatú körforgalom kivitelezésének ellenőrzése.

Dr. habil. Gáspár László

Okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, az MTA doktora. A Közlekedéstudományi Intézet kutató professzora, a Széchenyi István Egyetem emeritus professzora. 414 publikációjának és 564 szakmai előadásának zöme útépítési, fenntartási és gazdálkodási témákkal foglalkozik. 30+ nemzetközi téma és bizottság tagja vagy vezetője (volt).