



# A közúti forgalom változása és előrebecslésének lehetőségei

Gulyás András

**Kivonat:** A közúthálózat fejlesztéséhez és a meglévő hálózati elemek szükségessé váló megerősítéséhez egyaránt fontos a jelenlegi és a jövőben várható forgalom ismerete. A közúti forgalom alakulását és előrebecslését számos társadalmi-gazdasági tényező befolyásolja. A vonatkozó útügyi műszaki előírás felülvizsgálata időszerűvé vált. A cikk áttekinti az elmúlt 15 éves időszakban a forgalom tényleges alakulását az országos keresztmetszeti forgalomszámlálási kiadványok adatai alapján, valamint javaslatot tesz az előrebecslés paramétereinek módosítására.

**Kulcsszavak:** forgalom előrebecslés, forgalomszámlálás, nehéz forgalom

## 1. Bevezetés

A közúthálózat fejlesztéséhez és a meglévő hálózati elemek szükségessé váló megerősítéséhez egyaránt fontos a jelenlegi és a jövőben várható forgalom ismerete. A közúti forgalom alakulását és előrebecslését számos társadalmi-gazdasági tényező befolyásolja. A vonatkozó útügyi műszaki előírás (Magyar Útügyi Társaság 2005) felülvizsgálata időszerűvé vált. A cikk áttekinti az elmúlt 15 éves időszakban (2000–2015 között) a forgalom tényleges alakulását az országos keresztmetszeti forgalomszámlálási kiadványok (Magyar Közút Nonprofit Zrt. 2016) adatai alapján, valamint javaslatot tesz az előrebecslés paramétereinek módosítására.

## 2. A közúti forgalom változása 2000 és 2015 között

A vizsgált időszakban a magyar országos közúthálózaton, elsősorban a gyorsforgalmi úthálózaton jelentős változások történtek. Mind a hálózati elemek hossza, mind a díjszedés rendszere több alkalommal megváltozott 2000 és 2015 között. Az említett változások mellett 2008-tól az általános gazdasági válság hatása is jelentkezett a forgalom alakulásában. Az elemzett időszakban az üzemanyagárak jelentős változásokat mutattak, ami szintén befolyásolhatta a forgalom alakulását.

A 2000-es év kezdő évnek választását az e-UT 02.01.31 (ÚT 2-1.118) Közutak távlati forgalmának meghatározása előrevetítő módszerrel útügyi műszaki előírás előrebecslési módszere indokolja, mely a forgalmak alakulását a 2000-es alapévhez viszonyítja.

Az elvégzett elemzések az éves átlagos napi forgalom adataira és az alapvető fontosságú személygépkocsi-kategória mellett a pályaszerkezet-méretezésben meghatározó szerepet játszó nehézmotoros forgalom összegzett kategóriára (amely az autóbuszok, a nehéz tehergépkocsik, a pótkocsis tehergépkocsik, a nyerges szerelvények és a speciális nehézjárművek összege) vonatkoznak. Az úthálózat vizsgálata három kategóriában történt:

- a gyorsforgalmi utak forgalma az autópálya és az autópálya-kategóriák szakaszonkénti forgalmának hosszal súlyozott átlagértéke,
- a főutak forgalma az I. rendű főút és a II. rendű főút-kategóriák szakaszonkénti forgalmának hosszal súlyozott átlagértéke,
- a mellékutak forgalma az összekötő, a bekötő és az állomáshoz vezető utak szakaszonkénti forgalmának hosszal súlyozott átlagértéke.

A táblázat a tényleges forgalom nagyságokat tartalmazza, míg az ábrák a forgalom alakulását a 2000-es alapévhez képest az évenkénti relatív fejlődési értékekkel jelenítik meg.

**1. Táblázat.** A közúti forgalom alakulása 2000 és 2015 között (ÁNF jármű/nap)

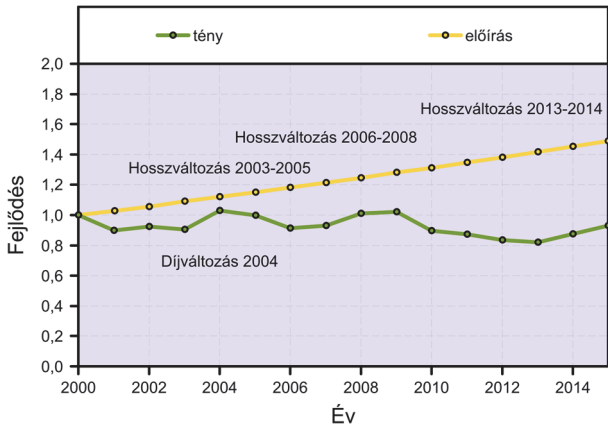
JÁRMŰ KATEGÓRIA	SZEMÉLYGÉPKOCSI			NEHÉZMOTOROS		
	év / útkategória	gyorsforgalmi	főút	mellékút	gyorsforgalmi	főút
2000	15885	4534	946	2630	778	124
2001	14262	4085	854	2688	803	123
2002	14679	4222	891	2839	840	127
2003	14401	4415	955	3214	866	130
2004	16343	4582	1001	3776	847	129
2005	15835	4637	1032	3718	838	128
2006	14531	4669	1024	3693	850	124
2007	14812	4747	1043	3998	853	121
2008	15996	4800	1058	4336	810	122
2009	16168	4582	1045	4269	780	131
2010	14258	4334	1053	4174	732	131
2011	13870	4252	995	4264	689	113
2012	13249	4063	958	4132	652	111
2013	13046	3995	931	3951	605	93
2014	13901	4112	961	3820	633	92
2015	14745	4198	991	4021	637	92

Az ábrákon viszonyítási alapként szerepel a 2005-ben kiadott útügyi műszaki előírás szerinti, az adott út- és jármű-kategóriára érvényesnek tekintett forgalomfejlődési függvény is. Az elemzésből látható, hogy a személygépkocsi-forgalom a gyorsforgalmi utakon és a főutakon egyaránt a 2000-es évhez képest 2015-re mintegy 7%-kal mérséklődött, a mellékutakon pedig lényegében változatlan maradt. A várt fejlődés elmaradásának főként társadalmi-gazdasági okai lehetnek, ezen belül is elsősorban a gazdasági okok játszhattak szerepet. A környezettudatos életszemlélet terjedése emellett hatást gyakorolhatott a személygépkocsi-forgalom alakulására. Fontos tényező még a gyorsforgalmi úthálózatnak a vizsgált időszakban lezajlott jelentős hossznövekedése, mert a kisebb forgalmú új szakaszok belépésével az útkategória átlagos forgalma nyilván csökkenhetett, és ezt a főutak forgalmában megmutatkozó, a gyorsforgalmi utakra történő forgalomátterelő hatása sem volt képes ellensúlyozni.

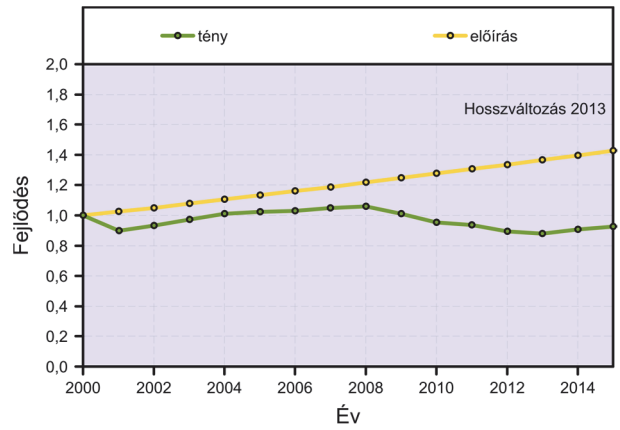
A gyorsforgalmi úthálózaton a 2000-es évek első felében a díjrendszer változása a nehézmotoros forgalom erőteljesebb növekedését eredményezte, majd az úthálózati

hossznövekedés hatása és a nehézjárművek megtett úttal arányos díjrendszerének bevezetése kissé visszafogta a nehézmotoros forgalom fejlődését. A gyorsforgalmi úthálózat jelentős hossznövekedése miatt a növekvő nehézmotoros forgalom fejlődésének alakulása a 2014–2015-ös évekre lényegében megközelítette az előírás szerinti előrebecslő függvénnyel számított értékeket. Az elemzés alapján megfigyelhető továbbá, hogy a gyorsforgalmi utak és a főutak nehézmotoros forgalmának alakulása eltérő tendenciát mutat, amint azt Soós is kimutatta a fő közlekedési folyosókon megyeiszakasz-bontásban elvégzett vizsgálataival (Soós 2016).

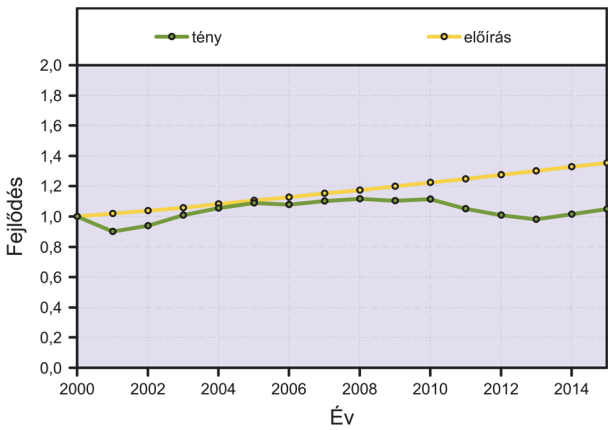
A gyorsforgalmi utak forgalma az előírás alkalmazásával becsülhetőhöz képest a vizsgált időszak középső részében nagyobb, a főutaké pedig lényegesen kisebb volt. A mellékutakon szintén határozott forgalomcsökkenés jelentkezett. Mindez alátámasztja és indokolja az előrebecsléshez alkalmazható függvények paramétereinek módosítását. A fő közlekedési folyosók forgalma a nemzetközi folyamatoktól és kapcsolatuktól is függ. A nagyobb forgalmú sugárirányú autópályák forgalmának alakulása ezt jól mutatja.



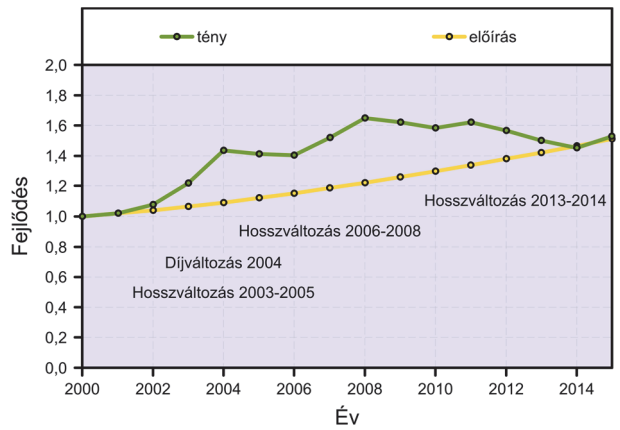
1. Ábra. A személygépkocsi-forgalom alakulása 2000 és 2015 között – gyorsforgalmi utak



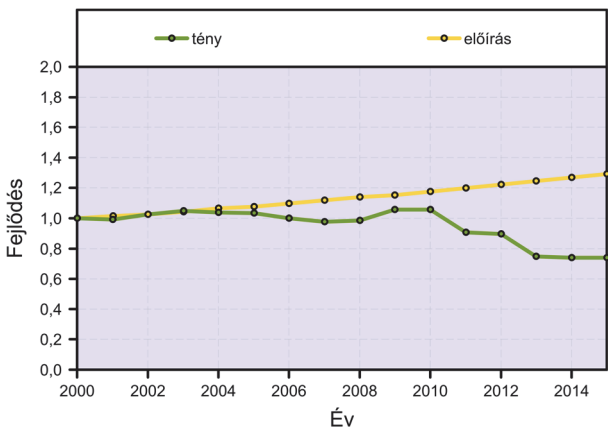
2. Ábra. A személygépkocsi-forgalom alakulása 2000 és 2015 között – fıutak



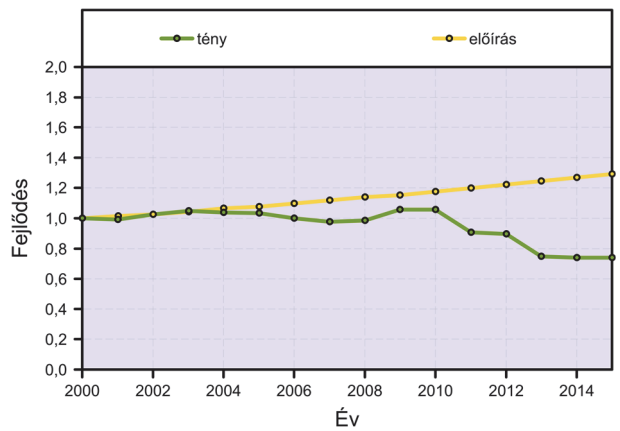
3. Ábra. A személygépkocsi-forgalom alakulása 2000 és 2015 között – mellékutak



4. Ábra. A nehézmotoros forgalom alakulása 2000 és 2015 között – gyorsforgalmi utak



5. Ábra. A nehézmotoros forgalom alakulása 2000 és 2015 között – fıutak



6. Ábra. A nehézmotoros forgalom alakulása 2000 és 2015 között – mellékutak

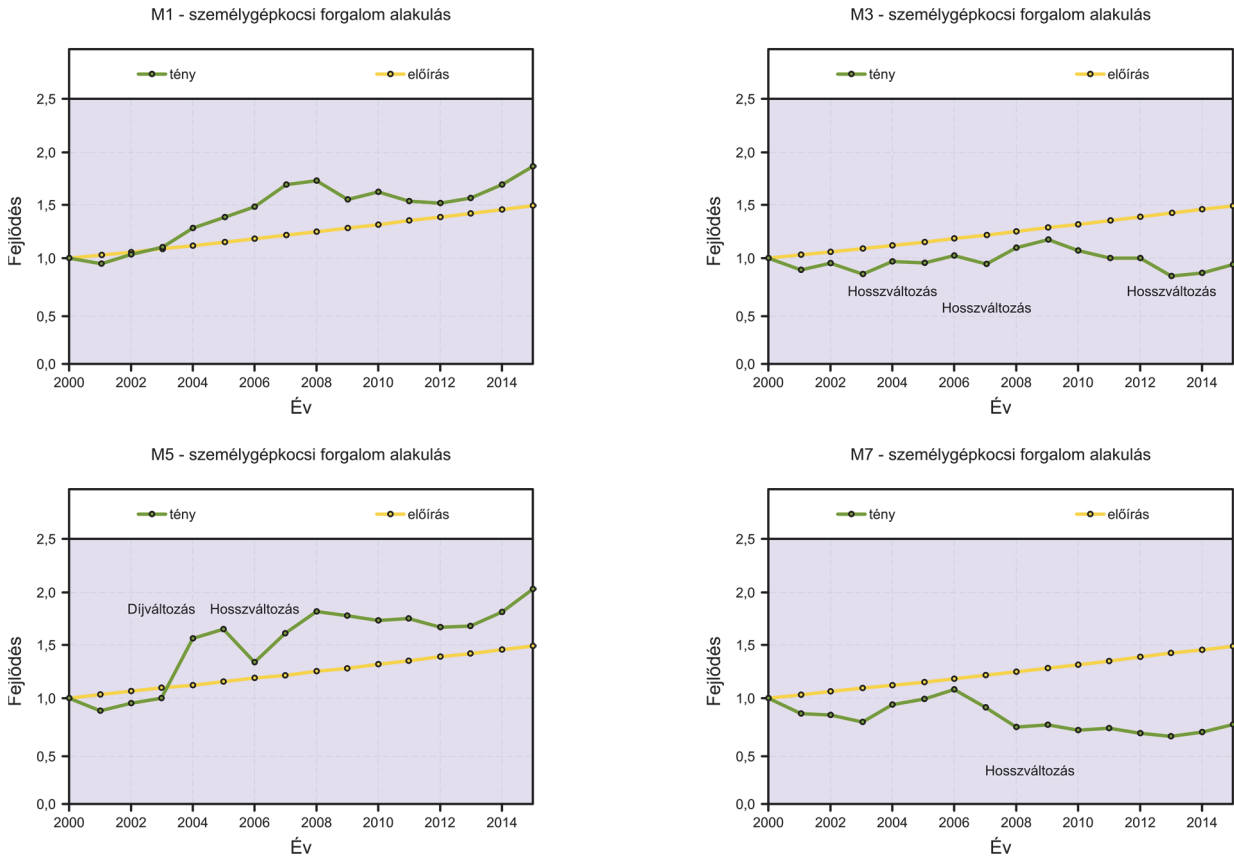
**2. Táblázat.** A közúti forgalom alakulása 2000 és 2015 között (M1, M3, M5, M7, ÁNF j/n).

JÁRMŰ KATEGÓRIA	SZEMÉLYGÉPKOCSI				NEHÉZMOTOROS			
	év / út	M1	M3	M5	M7	M1	M3	M5
2000	13281	16200	8945	24491	3289	1687	1121	2524
2001	12569	14384	7876	20923	3415	2074	1081	2418
2002	13725	15425	8497	20527	3659	2167	1261	2647
2003	14572	13695	8945	18956	4370	2575	1396	2916
2004	17017	15673	13981	23015	5199	3120	2868	3378
2005	18393	15347	14755	24217	5276	2820	3804	3696
2006	19575	16527	12009	26428	5688	3604	3527	3951
2007	22410	15309	14485	22294	7134	3506	4621	3951
2008	22936	17775	16247	17799	8738	3758	5145	3440
2009	20634	19001	15939	18307	7633	3407	5291	3476
2010	21520	17223	15488	17064	8696	3373	6281	3716
2011	20381	16134	15648	17498	9330	3417	6143	3833
2012	20187	16035	14889	16385	9149	3509	5886	3663
2013	20771	13432	15003	15709	9113	2723	5735	3644
2014	22351	13868	16192	16616	9327	2525	5470	3497
2015	24628	15260	18140	18371	10000	2783	6107	3630

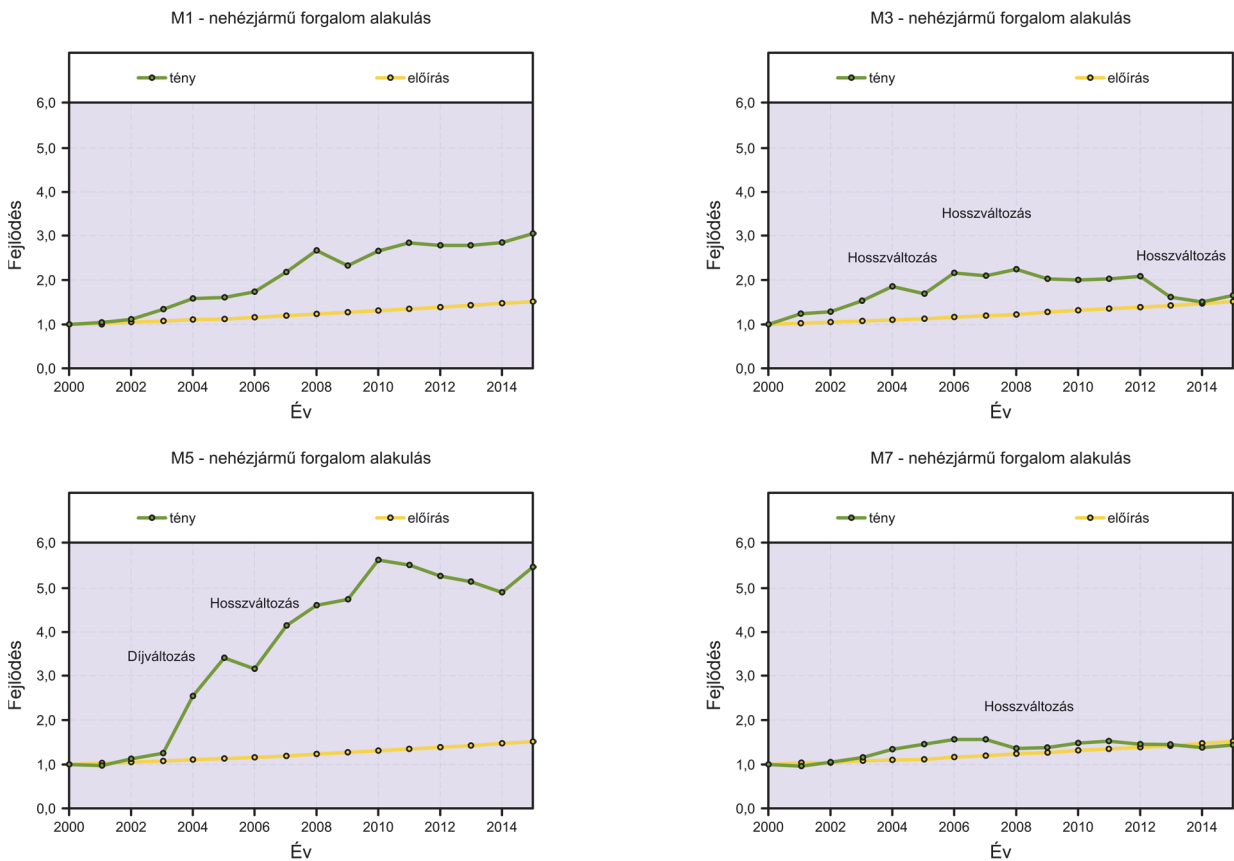
Az M1-es, az M3-as, az M5-ös és az M7-es autópályák (egyres szakaszokon bizonyos korábbi években autók) forgalmának alakulását 2000 és 2015 között a vizsgált járműkategóriákban a 2. táblázat, valamint a 7. és 8. ábrák az előzőekben bemutatotthoz hasonló tartalommal szemléltetik. A személygépkocsi-forgalomban jól látható a nemzetközi kapcsolatokban meghatározó M1 és M5 autópályákon a forgalom jelentős növekedése az előírás szerint előrebecsülthez képest. A 2015 évi forgalom a 2000-es évnél mintegy kétszerese ezeken az utakon. Ezzel szemben a kisebb nemzetközi jelentőségű M3 és M7 autópályákon a forgalom az előrebecsülthez képest kevésbé növekedett, az M7 autópálya esetén mintegy 25%-kal csökkent 2000-hez viszonyítva.

A nehézmotoros forgalomban jellemzően az előírásnak megfelelő előrebecsléshez képest nagyobb, esetenként lényegesen nagyobb volt a forgalom növekedése 2000 és 2015 között. Egyedül az M7 autópálya nehézmotoros forgalmának alakulása hasonlít az előrebecsülthez. Az M3 autópálya nehézmotoros forgalma az erőteljesebb emelkedés után a hossznövekedés miatt visszaállt az

előrebecsléshez közeli értékekre. Az M1 autópálya nehézmotoros forgalma a 2000-es évhez viszonyítva háromszorosra növekedett, amely az előírás szerinti másfélszeres előrebecsült értéknek éppen a duplája. Még ennél is jelentősebb volt az M5 autópálya nehézmotoros forgalmának a 2000-es évhez viszonyított több mint ötszörös forgalomfejlődése, amelyet elsősorban a 2000-es évek elején bekövetkezett kedvező irányú díjváltozás tett lehetővé. Az M1 és az M5 autópályák nehézmotoros forgalmának többségét a folyamatosan növekvő nemzetközi tranzitforgalom teszi ki.



7. Ábra. A személygépkocsi-forgalom alakulása 2000 és 2015 között (M1, M3, M5, M7)



8. Ábra. A nehézmotoros forgalom alakulása 2000 és 2015 között (M1, M3, M5, M7)

### 3. A közúti forgalom előre becslésének lehetőségei

A projektív vagy előrevetítő módszer lényege a közel-múlt változásainak előrevetítése, általában valamilyen függvénykapcsolatot feltételezve az eltelt idő és a forgalom nagysága között. A projektív módszer alkalmazásakor célszerű jármű-kategóriánként, útkategóriánként és területileg eltérő paramétereket meghatározni. Fontos emellett a paraméterek rendszeres, legfeljebb 5 évenkénti felülvizsgálata.

A projektív módszerek között említhető:

- lineáris előrebecslés, amely csak rövidtávra használható és meglehetősen pontatlan,
- harmadfokú polinom, amely az érvényes útügyi műszaki előírásban szerepel, bár az ott megadott paraméterek nem fedik a valóságot,
- logisztikus (szigmoid) görbe, amely jellegzetesen S alakú, és elsősorban a motorizációs szint előrebecslésére alkalmas (Fleischer et al. 2009).

Az analitikus vagy elemző módszer lényege, hogy valamely jövőbeni időpontra előrebecsült társadalmi-gazdasági jellemzők alapján számítható a forgalomkeltés és forgalomvonzás, majd a forgalmi áramlatokat a jövőbeni úthálózatra ráterhelve előállíthatók a távlatban várható forgalmak. A módszer alkalmazásakor célszerű az egyes közlekedési módok megkülönböztetése. Fontos emellett az alkalmazott modellek kalibrálása, validálása, általában a jelenlegi állapotot alapul véve. Az analitikus módszerek között említhető:

- összközlekedési forgalmi modell, amelyet a 2014-ben elfogadott Nemzeti Közlekedési Infrastruktúra-fejlesztési Stratégia alkalmazott,
- országos célforgalmi felvételen alapuló forgalmi modell, melynek kidolgozását a 2016-ban elvégzett felvételek alapján a Közlekedéstudományi Intézet végzi.

Jelentős jövőbeni társadalmi-gazdasági, településszerkezeti változások, illetve hálózati átrendeződéssel járó jelentősebb projektek esetén elsősorban az analitikus módszerek alkalmazása célszerű, azonban éppen az ilyen helyzetekben rendkívül nehéz a jövőre vonatkozó megbízható alapadatok előállítása, beszerzése, becslése.

### 4. Javaslat a közúti forgalom projektív előre becslésére

Hazánkban a következő 10–15 évben várhatóan kis valószínűséggel fordulhatnak elő jelentős jövőbeni társadalmi-gazdasági, településszerkezeti változások, ezért a jelentősebb projektekkal nem érintett hálózatrészek elfogadható a közúti forgalom projektív módszerrel történő előrebecslése. Az előrebecslő függvények jellegét tekintve megfelelőnek tekinthető az útügyi műszaki előírásba foglalt harmadfokú polinom, de a jelenlegi állapothoz illesztett paraméterezéssel, alapévnak a 2015. évet tekintve. Az e-UT 02.01.31 (ÚT 2-1.118) Közutak távlati forgalmának meghatározása előrevetítő módszerrel útügyi műszaki előírás (Magyar Útügyi Társaság 2005) szerint az előrebecslő függvény képlete:

$$f_{év1/év0}^{j,t,k} = a^{j,t,k} \cdot (év_1 - év_0)^3 + b^{j,t,k} \cdot (év_1 - év_0)^2 + c^{j,t,k} \cdot (év_1 - év_0) + d^{j,t,k}$$

$$f_{év2/év0}^{j,t,k} = a^{j,t,k} \cdot (év_2 - év_0)^3 + b^{j,t,k} \cdot (év_2 - év_0)^2 + c^{j,t,k} \cdot (év_2 - év_0) + d^{j,t,k}$$

$$f_{v2/v1}^{j,t,k} = \frac{f_{v2/v0}^{j,t,k}}{f_{v1/v0}^{j,t,k}} \quad (1)$$

ahol  $a$ ,  $b$ ,  $c$  változó paraméterek,  $d = 1,000$  és az  $év0$  az úgynevezett alapév.

Az új javasolt paraméterek az alapév és bármely tetszőleges év között határozzák meg a forgalom tényleges alakulásának figyelembevételével módosított előrebecslő függvényt:

$$f_{év1/év0}^{j,t,k} = a^{j,t,k} \cdot (év_1 - év_0)^3 + b^{j,t,k} \cdot (év_1 - év_0)^2 + c^{j,t,k} \cdot (év_1 - év_0) + d^{j,t,k} \quad (2)$$

ahol  $a$ ,  $b$ ,  $c$  változó paraméterek,  $d = 1,000$  és  $év0 = 2015$ .

Az előrebecslési paraméterek megválasztása 2015. évi kiindulóponttal azért indokolt, mert

- a fő folyosókon kialakult a gyorsforgalmi úthálózat,

**3. Táblázat.** Javasolt előrebecslőfüggvény-paraméterek

útkategória	jármű kategória	„a” paraméter	„b” paraméter	„c” paraméter
gyorsforgalmi	személygépkocsi	-0,00001247	0,001392	-0,0229
	nehézmotoros	-0,00002133	0,001504	0,0175
főút	személygépkocsi	0,00001673	-0,000525	-0,0008
	nehézmotoros	0,00002312	-0,000821	-0,0050
mellékút	személygépkocsi	0,00005434	-0,002978	0,0357
	nehézmotoros	0,00005408	-0,002772	0,0122

**4. Táblázat.** Javasolt előrebecslési tényezők 2015-ös alapéből kiindulva

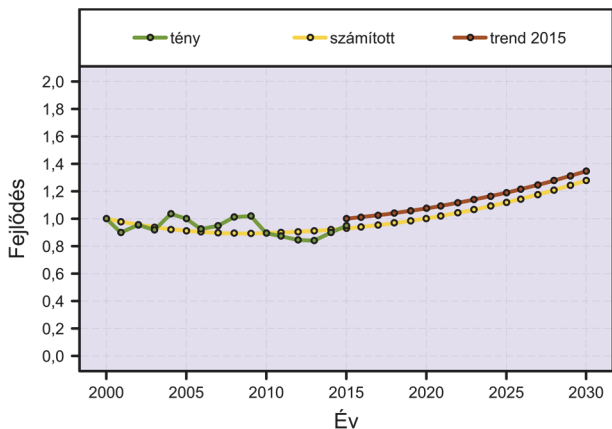
JÁRMŰ KATEGÓRIA	SZEMÉLYGÉPKOCSI			NEHÉZMOTOROS		
	év / útkategória	gyorsforgalmi	főút	mellékút	gyorsforgalmi	főút
2015	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2016	1,012	0,995	0,983	1,032	0,983	0,953
2017	1,026	0,990	0,966	1,064	0,967	0,906
2018	1,042	0,986	0,948	1,097	0,952	0,859
2019	1,059	0,982	0,930	1,131	0,938	0,812
2020	1,077	0,980	0,913	1,165	0,925	0,766
2021	1,097	0,979	0,895	1,199	0,913	0,721
2022	1,118	0,978	0,879	1,233	0,903	0,678
2023	1,141	0,979	0,864	1,268	0,895	0,637
2024	1,164	0,982	0,850	1,303	0,889	0,598
2025	1,189	0,986	0,839	1,337	0,884	0,563
2026	1,214	0,991	0,829	1,372	0,882	0,531
2027	1,241	0,998	0,821	1,406	0,883	0,503
2028	1,268	1,007	0,817	1,440	0,886	0,480
2029	1,296	1,018	0,815	1,473	0,891	0,461
2030	1,325	1,031	0,817	1,506	0,900	0,447

- létrejött egy társadalmilag elfogadható díjrendszer,
- remélhetőleg mérséklődött a gazdasági válság hatása.

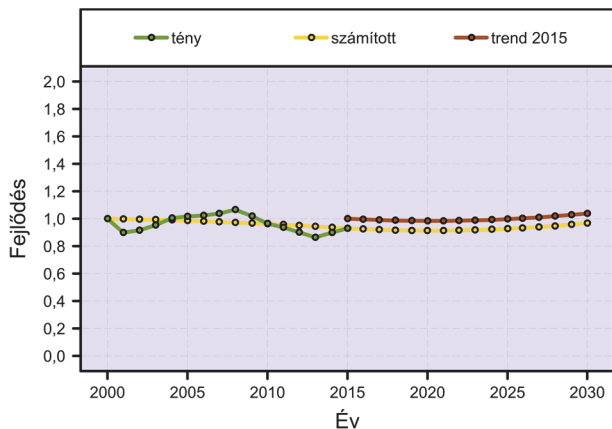
Az előrebecslő függvények új paramétereinek meghatározásához a 2000–2015 közötti tényadatokból lehetett kiindulni. A paraméterek meghatározása kitüntetett pontokra (általában 2000 és 2015) történő függvényillesztéssel, az Excel Solver eljárásának használatával történt. A személygépkocsi-kategóriában az illesztési pontok közé bekerült a 2010-es év is.

A gyorsforgalmi utak nehézmotorosforgalom-fejlődési függvényének 2050-re kiterjesztett értékét alapul véve (ez az érték 2015-hez viszonyítva 1,942) arányosan számítható a többi út és jármű kategória megfelelő sarokszáma, ahol az arányosítás az eredeti előírás szerint 2015-re meghatározott függvényértékekkel képződik. Az illesztési pontokkal így mérnökiileg reálisnak tekinthető függvények jönnek létre, melyek javasolt paramétereit a 3. táblázat tartalmazza.

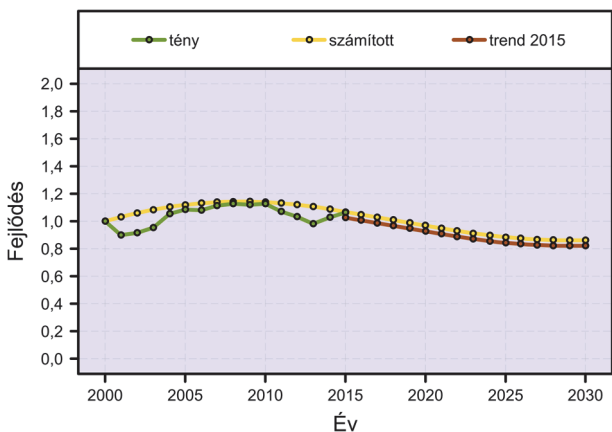
A javasolt új paraméterekkel kiszámolt forgalomfejlődési arányszámokat 2015-től 2030-ig a vizsgált út- és jármű-kategóriák esetén a 4. táblázat tartalmazza.



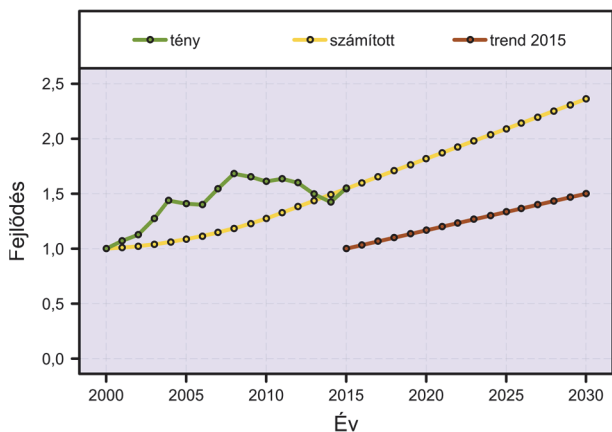
9. Ábra. A személygépkocsi-forgalom előrebecslése – gyorsforgalmi utak



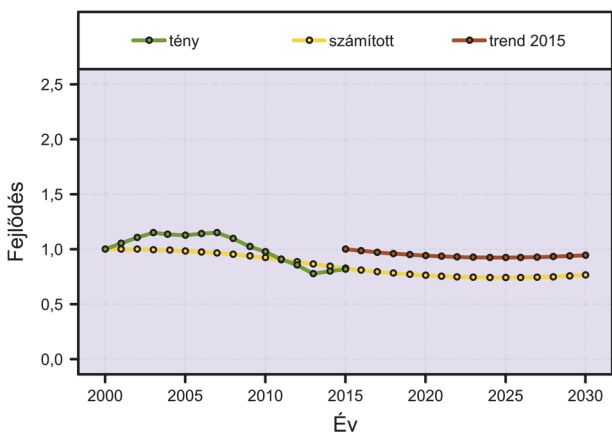
10. Ábra. A személygépkocsi-forgalom előrebecslése – főutak



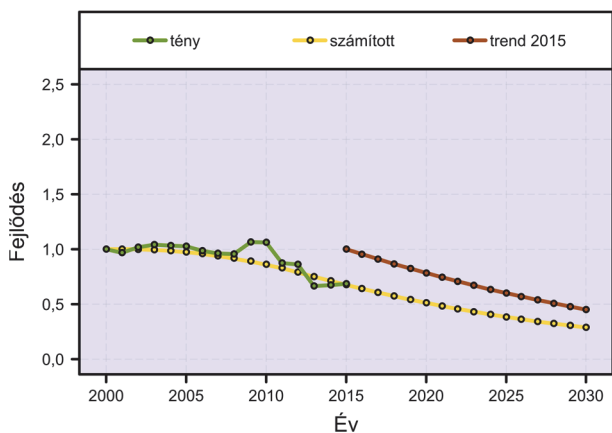
11. Ábra. A személygépkocsi-forgalom előrebecslése – mellékutak



12. Ábra. A nehézmotoros forgalom előrebecslése – gyorsforgalmi utak



13. Ábra. A nehézmotoros forgalom előrebecslése – főutak



14. Ábra. A nehézmotoros forgalom előrebecslése – mellékutak



A 15 éves időtávon túl nem célszerű a harmadfokú függvény változatlan paraméterekkel történő alkalmazása az erősödő – és mérnöki szempontból irreálissá váló – görbülete miatt. A megoldást az 5 évenkénti rendszeres paraméter-felülvizsgálat és a paraméterek szükség szerinti módosítása jelenti. Az új paraméterekkel rendelkező, a forgalom fejlődését leíró függvényeket és a 2015-ből kiinduló forgalomfejlődési értékeket a 9–14. ábrák mutatják grafikusán – a vizsgált út- és jármű-kategóriákat tekintve.

## 5. Következtetések

Az útügyi műszaki előírásban megadott projektív előrebecslési módszer a forgalom tényleges alakulásához illesztett paraméterekkel rendelkező harmadfokú függvények alkalmazásával – a jelentősebb projektekkal nem érintett hálózatrészekben – továbbra is elfogadható rövidtávon és középtávon a várható forgalom meghatározására, alapévként a 2015-ös évet tekintve. Természe-

tesen indokolt lenne az előírás korszerűsített változatának kiadása, melyhez szükséges a függvény paraméterek részletes meghatározása a további jármű-kategóriák és főként a területi eltérések figyelembevételével.

## 6. Felhasznált irodalom

**Fleischer T., Gulyás A., Koren Cs., Makula L.** (2009): A motorizáció előrebecslésének módszertani kérdései. Közlekedéstudományi Szemle 59:(2) pp. 37–47.

**Magyar Közút Nonprofit Zrt.** (2016): Az országos közutak 2001–2015. évekre vonatkozó keresztmetszeti forgalma. <http://internet.kozut.hu/Lapok/forgalom-szamlalas.aspx>

**Magyar Útügyi Társaság** (2005): e-UT 02.01.31 (ÚT 2-1.118) Közutak távlati forgalmának meghatározása előrevetítő módszerrel.

**Soós Z.** (2016): A forgalomfejlődés becslésének módszertana a valós forgalom tükrében. Közlekedéstudományi Szemle 66:(5) pp. 28–40

---

# Changes in road traffic and forecast possibilities

**Abstract:** Knowledge about current and future traffic is important for the development of road network and the required strengthening of existing network elements. Changes and forecast of road traffic are affected by various socio-economic factors. Revision of the technical specification for traffic forecast is timely. The paper analyses changes in road traffic taking into account data of the past 15 years and provides recommendations for the amendment of forecast parameters.

**Keywords:** traffic forecast, traffic census, heavy traffic

**Dr. habil. Gulyás András, PhD.**

Nyugalmazott egyetemi docens, Pécsi Tudományegyetem

András Gulyás PhD. associate professor (ret.) University of Pécs

e-mail: [gulyasandras@hotmail.com](mailto:gulyasandras@hotmail.com)



# Közúti adatbázisok valós idejű frissítése közösségi megoldás alkalmazásával

Szántó Mátyás

**Kivonat:** Az alábbi cikkben bemutatott eljárás segítségével egy olyan közösségi közreműködésen alapuló rendszer hozható létre, melyben az egyes mozgó ágensek (járművek) az általuk az utak felületéről készített képfolyamot egy felhőbe továbbítják, ahol ezek feldolgozásra kerülnek, és az így létrejövő információval egy útdatbankot támogatnak. Cikkemben ismertetek néhány manapság használatos útminőség-vizsgálati rendszert és azok korlátait, bemutatom egy crowdsourcing alapú útfelület ellenőrző rendszer tervezett struktúráját. Kitérek e rendszer működéséhez elengedhetetlen szenzor megvalósíthatóságának vizsgálatára, melyet egy általam készített működési modell bemutatásával szemléltetek.

**Kulcsszavak:** útfelület-ellenőrzés, közösségi közreműködés, crowdsourcing, közúti adatbázisok, gépi látás, úthibák, felhőalapú feldolgozás

## 1. Bevezetés

Napjainkban folyamatosan növekszik az úthálózatok kihasználtsága, terheltsége, ami szükségszerűen az útfelületek gyorsuló romlását, elhasználódását vonja maga után. Az Európai Unió 28 tagállamában 1995 és 2011 között éves szinten átlagosan 1,1%-kal növekedett a gépjárműhasználók (utasok, autóvezetők, kamionsofőrök, motorosok stb.) által az úthálózatokon megtett távolság. Ennek ellenére a közúti közlekedésbiztonság folyamatos javuló tendenciát mutat: 2001 és 2010 között 43%-kal csökkent a tagállamokban a halálos kimenetű balesetek száma. Ez a trend nagyban köszönhető annak az irányelvnek, melynek értelmében az Európai Unió szerette volna a végzetes balesetek áldozatainak számát 2001-hez képest 2010-re a felére csökkenteni, és mivel ezt a számot nem sikerült elérni, ezért a következő 10 évre is ugyanezt a célt tűzte ki. Ez a direktíva hajtórugója a közúti beruházásoknak, melyek segítségével a tagállamok az úthálózatukat tudják karbantartani [Gleave et al., 2014].

A közlekedési kapcsolatok, útszakaszok karbantartási-felújítási munkálatait megelőző döntés-előkészítési folyamatok során elengedhetetlen egy több tényező figyelembevételével végrehajtott átfogó elemzés lefolytatása. Az ilyen elemzési módszerek szempontjai, kritériumai [Gulyás, 2012]:

- a vizsgált útszakaszon realizálódó forgalom nagysága,
- a tervezett beavatkozás becsült költsége és élettartama,
- a hálózati és elérhetőségi jellemzők,
- a közösségi közlekedés megléte,
- az adott út relatív társadalmi-gazdasági jelentősége,
- az útállapot-jellemzők.

Ezen adatok legnagyobb része az útfelügyeleti hatóságok által létrehozott és üzemeltetett közúti adatbázisokban elérhető.

Az Országos Közúti Adatbázisban (OKA) található adatok egy része ún. nem változó adat. Ilyen például egy adott szakasz hálózati szerepe, melyet az adat keletkezésével egyszerre visznek be a rendszerbe. Ezen



1. **Ábra.** ROADMASTER-G terepi adatfelvő készülék [Tóth, 2015]

adatok frissítésére – természetükből adódóan – nincs szükség.

Az időben változó adatok aktualizálását azonban ismétlődő mérésekkel tudják megtenni, melyek periódusideje az adattípustól függően adott. Ilyen információ például az útburkolat pillanatnyi minősége [Szakos, 2015]. Az útburkolat minőségének felmérésére napjainkban alkalmazott technikák:

- vizuális felmérés, amely főleg projektmérésekben alkalmazható,
- manuális adatrögzítés automatikus tárolással és feldolgozással, amely hálózatrészek mérésére alkalmazható,
- automatikus felmérés, amely hálózati és projektmérésekre egyaránt alkalmazható.

## 2. Útfelület-ellenőrzési eljárások Magyarországon

Magyarországon a manuális adatrögzítés eszköze a ROADMASTER útfelületállapot-minősítő eljárás. Ennek során egy felkészült útvizsgáló szakember a vizsgálandó szakaszon (autóval) végighaladva szemrevételezi az út felületét, majd szakszerűen definiált burkolathibatípus-osztályokba sorolja az azon látható anomáliákat. A hiba észlelésének helyén a szakember a ROADMASTER-G terepi adatfelvő készülék (1. ábra) segítségével rögzíti az adatokat, melyekhez az eszköz GPS-koordinátákat és adatrögzítési időpontot rendel [Tóth, 2015].



2. **Ábra.** A Magyarországon használható hasonló Ramböll RST tesztjármű [Ramböll: Vagytemätning – Vagnät]

Egy ehhez hasonló, azonban jobban automatizálható módszert javasol Markó és Primusz: az eljárás során az út egy-egy 10 m-es hosszúságú szakaszáról fényképet készítenek, majd a fényképeket egy egyedi szoftver segítségével kiértékelik. Az eljárás eredményeként rögzíthető a vizsgált szakasz felületi hibáinak pontos helye, valamint összes területe. A szerzők a mérési eljárást sikeresen tesztelték is a 81114 jelű közúton [Markó-Primusz, 2013].

Az automatizált felmérést megvalósító berendezések rendszeres használata segítségével lehet az útburkolat-gazdálkodási rendszerek adatszükségletét legjobban kielégíteni. Az ilyen megoldások nagy előnye az előzőekben felsoroltakkal szemben, hogy sokkal gyorsabb működésük mellett a felmérés eredménye objektív, hiszen emberi tényező nem játszik szerepet az adatrögzítésben. Ennek köszönhetően az eltérő időben rögzített adatok összevethetők, a különbségek pedig az útburkolat-állapot tényleges megváltozásának tekinthetők.

Magyarországon is használatos ilyen automatizált mérési céleszköz, a Magyar Közút Nonprofit Zrt. a svéd Ramböll által gyártott RST rendszerrel (Road Surface Tester) végez gyakori útburkolat-felméréseket. A 2. ábrán látható mérőjármű elülső részére rögzített detektor egységben legalább 11 darab lézertriangulációs elven működő távolságmérő található. A mérőrendszer 15 és 90 km/h közötti haladási sebesség esetén képes az út felületére jellemző állapotmutatók (egyenetlenség, nyomvályú, felületi textúra) és geometriai adatok



**3. Ábra.** A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen fejlesztett PHORMS rendszer [Kertész, 2011]

(hosszirányú esés és emelkedés, vízszintes ívsugár) mérésére és továbbítására. A rendszer éves futásteljesítménye cca. 80 000 km (2004-ben) [Kertész, 2011].

Mivel a fentihez hasonló automatikus útburkolat-felmérő rendszerek megvásárlása akár több százmillió forintos költséget is jelenthet az útkezelők számára, ezért Magyarországon vagy mellőzik használatukat, vagy bérlik őket. A bérlet azonban hosszú távon sokkal nagyobb anyagi megterhelést jelent (futott kilométerenként 1000 Ft [2004-es adat]) egy megvásárolt rendszer üzemeltetésével szemben. Egyebek mellett ez a gazdasági megfontolás is hajtórugója volt hazai automatizált útburkolat-felmérő rendszerek fejlesztésének.

A Fővárosi Közterület-fenntartó Zrt. megbízásából a BME Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék a BME Út- és Vasútépítési Tanszék együttműködésével fejlesztette ki a PHORMS (Photogrammetric Road Measurement System) rendszert. A berendezés első változata a burkolat háromdimenziós modelljének előállítására volt képes az egymás után regisztrált keresztirányú profilok összeillesztésével. A rendszer felhasználásával 2008 és 2011 között Budapesten több mint 800 kilométernyi útburkolat felmérését végezték el [Kertész, 2011].

A BKK Közút Zrt. 2012-ben indult fejlesztésének eredményeként létrehozott KARESZ (Közúti Adatgyűjtő Rendszer, 4. ábra) berendezés egy olyan mérőrendszer, amellyel a közutakon, közterületeken található tereptárgyak és geometriák geodéziai szintű felmérése végezhető el [Kovács, 2015]. A működés során a rendszer a



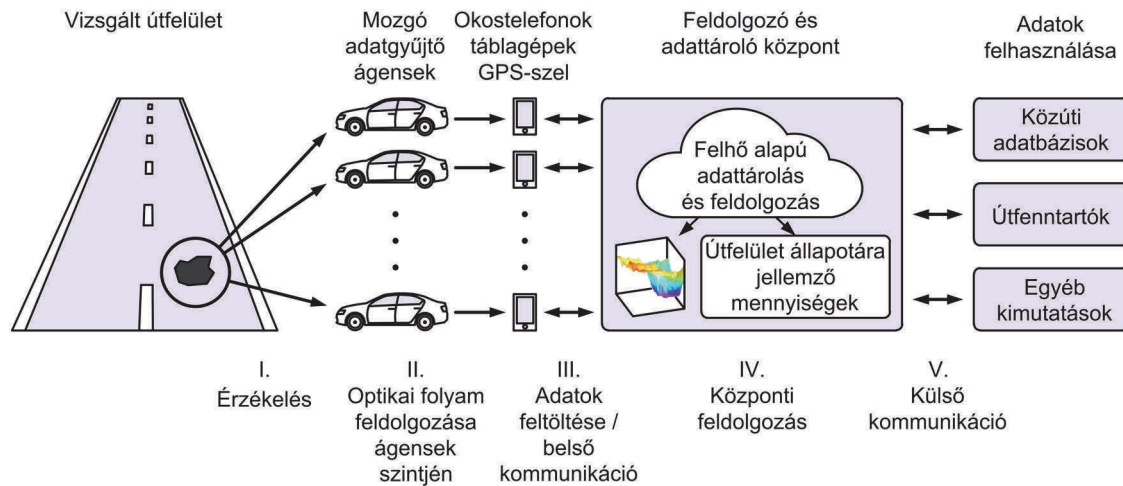
**4. Ábra.** A BKK Közút Zrt. Közúti Adatgyűjtő Rendszere [BKK Közút, KARESZ ismertető]

vizsgált térrészekről 3D pontfelhőket generál, melyekből az adott útfelületen található nyomvályú(k) helyzete(i), IRI- (International Roughness Index) értékek, és további – a közúti adatbázisokban használatos – adatok, útállapot-jellemzők is kinyerhetők. A közúti adatgyűjtő rendszer használatával 2014. január és 2015. február között Budapest 1300 kilométer hosszúságú fő- és tömegközlekedési útjairól készítették pontfelhőket [Almássy, 2015].

### 3. Crowdsourcing alapú útfelület-ellenőrző rendszer

Az útfelújítási források leggazdaságosabb elosztásának érdekében, vagyis az úthálózatok karbantartási-felújítási munkálatainak döntés-előkészítési folyamatában folytatott elemzések eredményességéhez elengedhetetlenül fontos, hogy a bemenetükként felhasznált útállapot-jellemző adatok a lehető legnaprakészebbek legyenek. A fent bemutatott rendszerekkel azonban az aktualitás elérése és fenntartása – bérelt berendezés esetén – rendkívül költséges feladat, a nem számottevő mennyiségű saját tulajdonban lévő rendszerrel pedig – a vizsgálandó utak összes hosszúsága miatt – szinte kivitelezhetetlen lenne.

Az itt bemutatott rendszer több mozgó adatgyűjtő ágens által szolgáltatott képi információ feldolgozásán alapul. A korábban bemutatottakhoz hasonlóan ez a megoldás is az útburkolatok minőségét, pillanatnyi állapotát képes rögzíteni, azt felhőbe (adatbázisba) továbbítani, és ott tárolni. E rendszer esetében azonban



5. Ábra. Mozgó ágensek adatgyűjtésén alapuló, útburkolat-minőségi adatbázist támogató rendszer felépítése [forrás: Szántó, 2015]

az egyes ágensek által szolgáltatott adatok összessége időben és térben is nagy adatsűrűséget biztosít. Ez a tulajdonság az, amely lehetővé teszi az adatbázis valós idejű frissítését (naprakészen tartását). A tervezett rendszer felépítése az 5. ábrán látható.

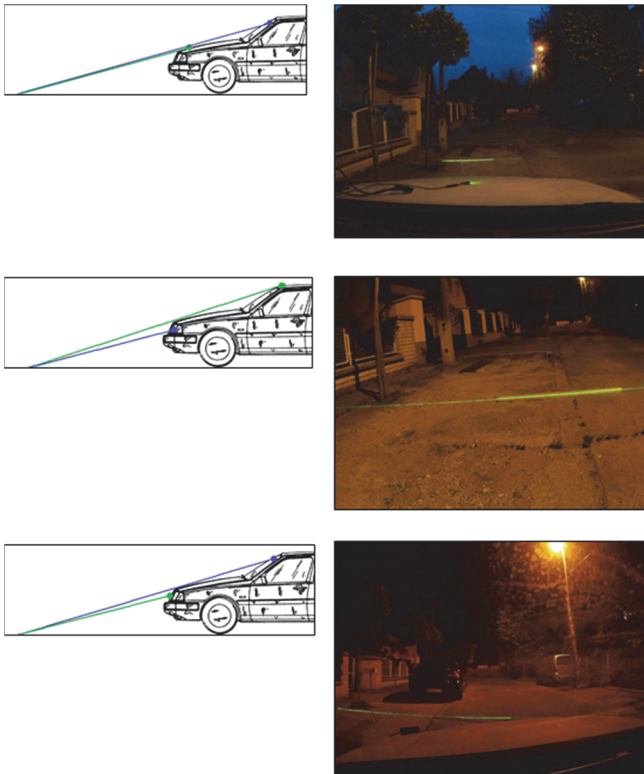
A crowdsourcing rendszerek működésének fontos tényezője, hogy az egyes közreműködők – vagyis a „tömeg” tagjai – minél kisebb kiadások árán tudjanak részt venni a projektben. A módszer kialakításánál így fontos szempont, hogy az adatgyűjtő ágensek (például buszok, kamionok, személyautók) feladata egy, a járművek egyre növekvő hányadában már megtalálható szenzor segítségével nagyrészt elvégezhető legyen, vagyis ne legyen szükség a járműtulajdonosok részéről speciális eszközök beszerzésére és felszerelésére. A napjainkban forgalomba kerülő közép- és felsőkategóriás járművek szinte mindegyikében megtalálható kamera alapú DAS-ek (driver assistance system / járművezetőt támogató rendszerek) funkcionalitása kibővíthető oly módon, hogy az általuk továbbított képek egy vonalas leképező rendszerbe (lézerskenner, vonalkamerás leképezők) illeszthetők legyenek. Az így keletkező vonalképek feldolgozásával a kamera alapú járművezetőt támogató rendszerek alkalmassá tehetők térbeli képek rögzítésére, olyan extrém nagy sebességgel, amelyet a fenti ábrán bemutatott struktúra megkívánhat.

Az itt bemutatott rendszer adatgyűjtési feladatát megvalósító mozgó ágensek – vagyis az egyes járművek –

(vonalas) optikai képfolyamok rögzítésére képesek. Az adatbázisok létrehozásának érdekében szükséges, hogy az utak felületéről nyert képeket az egyes résztvevők a feldolgozó és adattároló központba juttassák. Azért, hogy a hálózati kommunikáció során a képfolyamok által generált adatmennyiség ne terhelje meg túlságosan a „tömeg” tagjainak adatforgalmát, a készített képeket még az adatgyűjtő ágensek szintjén fel kell dolgozni. Az előfeldolgozás után továbbított adat(ok) lehet(nek) például egy keresztirányú profil vagy akár már kifejezetten a vizsgált útszakaszhoz tartozó felületi állapotjellemző(k).

A rendszer tervezésekor fontos szempont volt tehát, hogy a berendezés egy kamera alapú járművezetőt támogató rendszerből kiindulva, annak kis módosításával megvalósítható legyen. A sávellahagyás-felügyeleti rendszer kiindulásként való használata mellett az szölt, hogy az ilyen rendszerek kamerája – a rendszer alapfeladatának ellátása érdekében is – a jármű előtti útfelületet pásztázza. Ha e detektor felbontása és a képkészítési frekvenciája (fps, frame per second) a valós idejű kiértékelhetőséghez nem túl alacsony, akkor ez a rendszer a crowdsourcing megvalósíthatóság szempontjából ideális kiindulást jelenthet.

Egyes kamera alapú DAS-rendszerek egy kisebb módosítás árán – egy lézercsík vetítésével – fényképes elven működő profilométerre alakíthatók.



**6. Ábra.** Útfelület-ellenőrző vonalas leképezőrendszer lehetséges kialakításai (balra) és az adott struktúrában készített tesztképek (jobbra) [Szántó, 2015]

Ezt a módosítást elvégezve a rendszer korábbi funkcionalitása is megmarad, és csupán egy másodlagos funkció, alternatív felhasználási lehetőség jön létre. A járművek haladási irányába eső útfelület térbeli képének kiszámítása manapság már valós igény a járműiparban [Mercedes-Benz, 2013].

A lézerekés trianguláció a profilometriai alkalmazások során egy elterjedten alkalmazott módszer, ezért várható, hogy a lézercsík-vetítés is fel fog merülni ilyen típusú DAS-rendszerek tervezésekor. Az autóiparban már megjelentek olyan világítási technikák is, amelyek lézergyforrás alkalmazásán alapulnak. Ezek segítségével egy projektorhoz hasonlóan a fényszóró bármilyen mintát ki tud vetíteni az autó előtti felületekre, vagyis a strukturált fény (csík) vetítése az útburkolatra már megoldható ilyen járművekben [Göbolyös, 2015]. A korábban említettek mellett ezért is célszerű választás a lézerekés triangulációs technikán alapuló szenzor választása a rendszer tervezése során.

### 3.1 Megvalósítás

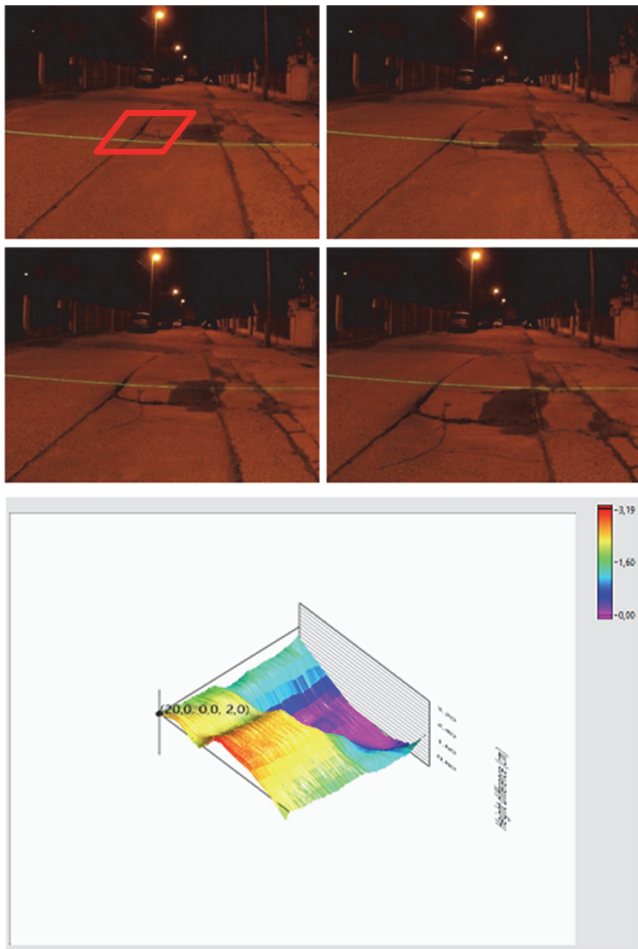
Az alábbi eljárás a fent ismertetett crowdsourcing alapú útfelület-ellenőrző rendszer egyes adatgyűjtő ágensein implementálandó szenzor megvalósíthatóságának vizsgálatára készült. A megvalósított érzékelő a következő elemekből épül fel:

- az alkalmazott jármű, amelyre a szenzor egyes részei felszerelésre kerültek (Volvo 440 típusú személygépjármű),
- ConCorde HD30 menetrögzítő kamera (1080p felbontás, 30fps)
- lézerforrás: vonalsugárzó ( $P = 2\text{mW}$ , zöld lézergyfény,  $120^\circ$ -os vetítési szög).

A lézertriangulációs eszközök működését nagyban befolyásolja az ún. triangulációs szög nagysága, vagyis a lézergyfény vetítési iránya és a detektorként használt kamera optikai tengelye által bezárt szög mértéke. A 6. ábrán a megvalósíthatóság-ellenőrzés során tesztelt különböző geometriai kialakítások láthatók. Az ábrákon a zöld pont a lézerforrás helyét, a zöld szakasz pedig ennek vetítési irányát jelöli. Hasonlóan, a kamera helyét kék pont, optikai tengelyét pedig kék szakasz jelöli. Az egyes geometriai kialakítások mellett látható képek az adott struktúrában készített tesztképek.

A képek feldolgozását LabVIEW környezetben elkészített algoritmus végzi, amely a mélységi képek kiszámítása során a differenciális trianguláció technikáját alkalmazza. Ez a módszer a lézertriangulációs és a differenciaképeken alapuló módszerek egyes előnyeit kihasználva jut el a felületi struktúra meghatározásáig. A feldolgozási folyamat legfontosabb lépései:

1. **Képek betöltése a szoftverbe:** A menetrögzítő kamera a rögzített videó(ka)t, illetve képe(ke)t egy microSD-kártyán tárolja. A memóriakártyát a számítógéphez csatlakoztatva lehet ezeket a programba betölteni.
2. **Kalibráció:** Mivel az itt bemutatott eljárás kialakítása során a struktúra állandósága nem volt garantálható, ezért minden kiértékelési ciklus előtt szükséges a rendszer újrakalibrálása. Ez egy referenciakép használatával tehető



7. Ábra. A vizsgált útszakaszról készített képek (felül) és a belőlük létrehozott felület (alul) [Szántó, 2015]

meg, ami minden mérési képsorozat első képe kell, hogy legyen.

3. **Differenciaképek kiszámítása:** A vizsgált felület ideális síktól való különbözőségei – a triangulációs elrendezés miatt – a kamera képén a lézercsík egyenestől való differenciáiként jelennek meg, így az eltérésekből kiszámítható egy mélységértékekből álló egydimenziós tömb, vagyis a lézervonal által megvilágított helyen a felületi profil.
4. **Mélységkép előállítás:** A profiloknak megfelelő tömböket összefűzve az eredmény egy kétdimenziós tömb, melynek elemei az adott pontokban mért magasságértékek. A feldolgozó algoritmus az egymást követő profilokat interpoláció (lépcsős, lineáris, spline) alkalmazásával összefűzi.

A bemutatott berendezés tesztelésére Budapest XVI. kerületében, a Hámfa utcában került sor. A 7. ábrán láthatók a vizsgált útszakaszról készített felvételek és a kiértékelésükkel létrehozott háromdimenziós felület. Az algoritmus a háromdimenziós felületet csupán a vizsgált útszakasz azon részéről számítja ki, ahol a feldolgozási algoritmus első lépésében a kalibráció megtörténik. Ez a régió a 7. ábrán bemutatott képsorozat esetében az első képen pirossal bekeretezett rész.

Nagyobb kiterjedésű útszegmens vizsgálata esetén a kiszámított felületi képeken automatizáltan meghatározhatók az útfelület minőségére jellemző állapotmutatók. A megoldás jellegéből adódóan folyamatosan nagy mennyiségű adat érkezik az egyes adatgyűjtő ágensektől. Az érkező adatmennyiség feldolgozására hasznos megoldást kínálhatnak a manapság igen gyorsan fejlődő és egyre szélesebb körben elterjedő „big data”-feldolgozási módszerek.

## 5. Összegzés

Az itt bemutatott közösségi közreműködésen alapuló útburkolat-minőségi adatbázist támogató rendszer megvalósítása esetén alternatívát adhat a jelenleg is alkalmazott útfelület-vizsgáló berendezésekre. Kiterjedt alkalmazása esetén a közúti adatbázisokban tárolt útállapot-jellemzők a jelenlegi megoldásoknál nagyságrendekkel költséghatékonyabban, valamint valós idejűen frissíthetők, ideális esetben pedig teljesen naprakészen tarthatók lennének.

## 6. Felhasznált irodalom

**Gleave et al.** (2014): EU Road Surfaces: Economic and Safety Impact of the Lack of Regular Road Maintenance, Study

**Gulyás, A.** (2012): Pavement management of secondary roads in Hungary. 4th European Pavement and Asset Management Conference. Malmö, Svédország

**Szakos, P.** (2015): Az utak állapotminősítése, Közutak üzemeltetése 1., Üzemeltetés és útfenntartás 1., 4. előadás

**Tóth, Cs.** (2015): Útépítés és fenntartás, 3. előadás

**Markó, G., Primusz, P.** (2013): Útburkolatok felületi állapotának objektív minősítése fotogrammetriai eljárással. Útügyi lapok. 2013.06.08.

**Kertész, I.** (2011): Útállapot felmérés integrált mérőrendszerrel. PhD értekezés, Budapest, Magyarország

**Kovács, D.** (2015): KARESZ a kézenfekvő megoldás fővárosi egységes műszaki nyilvántartásra. II. KARESZ Konferencia Budapest. Budapest, Magyarország. 2015.04.27.

**Almássy, K.** (2015): A közterületi adatkezelés jövője. II. KARESZ Konferencia Budapest. Budapest, Magyarország, 2015.04.27.

**Szántó, M.** (2015): Vonalas leképező rendszerek alkalmazása optical flow vizsgálatokban. Diplomamunka. Budapest, Magyarország

**Mercedes-Benz** (2013): Magic body control. 2013. Forrás: <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/innovation/magic-body-control/>, Megtekintve: 2016. november.

**Göbölös, Zs.** (2016): Lézerrel fogunk világítani. 2015. [http://totalcar.hu/magazin/technika/2015/02/26/audi\\_led\\_lezer/](http://totalcar.hu/magazin/technika/2015/02/26/audi_led_lezer/), Megtekintve: 2016. november

---

# Real time update techniques of road databases using crowdsourcing based applications

**Abstract:** Using the method introduced in this paper, a crowdsourcing-based system can be created, in which the moving data-collector agents (vehicles) transmit the captured image flows and data gained from the road surface to a cloud, where these are processed and saved to a road databank. Some currently used pavement surveying systems are presented as well as their limitations, and a crowdsourcing based road survey system is introduced. The feasibility of a sensor for such a system is also described and demonstrated by the introduction of a formerly created operating model.

**Keywords:** road surface testing, road surface survey, crowdsourcing, road databanks, machine vision, road surface damages, cloud-based processing

## Szántó Mátyás

Okleveles gépészmérnök, tanulmányait 2015-ben fejezte be a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem mechatronikai mérnöki mesterszakán. 2015 óta az IIT tanszék Gépi látás c. tárgyának laborvezetője.

e-mail: [matyasszanto@gmail.com](mailto:matyasszanto@gmail.com)





# Nagy nehézforgalmú utak „optimális” felújítási technológiájának kiválasztása

Gáspár László, Bencze Zsolt

**Kivonat:** A részben Európai Unió által finanszírozott DURABROADS-projekt nagy nehézforgalmú, európai utak aszfalt kopóréteg-típusaihoz szóba jövő felújítási technológiák optimalálásához döntéstámogató modellt javasolt, és esettanulmányként, a gyakorlatban is kipróbált. Az esettanulmány során nyert eredmények a módszertan alkalmazhatóságát igazolták, a döntéshozókat támogatják abban a tekintetben, hogy komplex fenntarthatósági szempontokon alapulva, a legmegfelelőbb burkolatfelújítási technológiatípust ki tudják választani. A javasolt módszertan a döntéshozatali problémát hierarchikus fává strukturálja, és ily módon az egyes változatok teljesítménye különböző szempontok szerint jellemezhető.

**Kulcsszavak:** európai nagy nehézforgalmú utak, aszfalt kopóréteg-típusok, EU 7. Keretprogram által finanszírozott projekt, útburkolat-felújítási technológiák, döntéstámogató modell, matematikai-statisztikai eljárások

## 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 (DURABROADS, 2013). A partnerek egyike a KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft., amely a 2. munkabizottságnak is a vezetője.

A DURABROADS projekt fő célkitűzését költséghatékony, környezetbarát és komplex módon optimált utak tervezése, fejlesztése és az eredmények demonstrálása képezi. A projekt 2. munkabizottságának célkitűzése az Európában elterjedten alkalmazott aszfaltkopórétegeknek és burkolat-felújítási módszereknek a szélsőséges környezeti és forgalmi terhelés kombinációjával szemben tanúsított ellenállás szempontjából, az élettartam-mérnöki tudomány elveinek (Gáspár, 2012) hasznosításával végrehajtott optimalása képezte. Eredményeiket

három részjelentés (DURABROADS, 2014a; DURABROADS, 2014b; DURABROADS, 2015) formájában tették közzé. Jelen cikk az európai nagy nehézforgalmú utak jellegzetes burkolatfelújítási technológiáinak komplex vizsgálatával és az eljárások ennek alapján történő sorolásával foglalkozik.

## 2. Jellegzetes burkolatfelújítási technológiák

A DURABROADS WP2 munkabizottságának tagjai által összeállított kérdőív célját az képezte, hogy az európai nehézforgalmú utak (TEN-T hálózat) fő forgalmi és technológiai jellemzőiről széles körű információkat gyűjtsenek (Gáspár, Bencze, ma. (1); Gáspár, Bencze, Jato-Espino, ma.; Gáspár, Bencze, ma. (2)). A kérdőívre 17 országból (BE, CRO, CZ, EST, FR, GE, HU, IT, LT, LV, NO, PT, SLO, SP, SRB, UK) érkezett válasz. Bár az Európában elterjedten alkalmazott burkolatfelújítási módszerek teljesítményét az egyes körzetekben a különböző forgalmi-környezeti terhelés érzékelhetően befolyásolja, a DURABROADS-partnerek abban

**1. Táblázat.** Egyes burkolatfelújítási technológiák funkcionális osztályozása

Felújítási technológiák	Tartósság	Repedésképződéssel szembeni ellenállás
Kétrétegű felületi bevonat	3	1
12-18 mm-es vastagságú mikro-aszfaltburkolat	2	1

állapodtak meg, hogy a kontinensen egységesen a következő burkolatfelújítási technológiákat „versenyeztetik”:

- helyszíni, hideg recycling + új, 50 mm-es vastagságú AC kopó réteg (CIR),
- kétrétegű, permetezéses felületi bevonat (DCS),
- teljes vastagságú recycling + új, 50 mm-es vastagságú AC kopó réteg (FDR),
- helyszíni, meleg recycling + 38 mm-es vastagságú AC kopó réteg (HIR),
- burkolatmarás + új, 50 mm-es vastagságú AC kopó réteg (MOV),
- kevert felületi bevonat (microsurfacing) (MS),
- új, 50 mm-es vastagságú AC kopóréteg (OV),
- új, vékony (pl. 30 mm-es vastagságú) AC kopóréteg (THMA).

Az egyes burkolatfelújítási technológiák közüli választáskor az útkezelők általában elsősorban a módszerrel elérhető teljesítményjavulást próbálják figyelembe venni. A DURABROADS project keretében végzett elemzés (optimálás) – az élettartammérnöki tudomány alapelveit (Gáspár, 2008) követve – ennél jóval sokrétűbb, hiszen – a műszaki (funkcionális) szempontokon túlmenően – társadalmi (humán), gazdasági (pénzügyi) és környezeti szempontokra is kitér.

### 3. Szakirodalmi áttekintés és kérdőíves felmérés

A 2. fejezet szerinti nyolc vizsgált aszfaltburkolatfelújítás-típusnak (CIR, DCS, FDR, HIR, MOV, MS, OV és THMA) a négy választott – műszaki (funkcionális), környezeti, gazdasági (pénzügyi) és társadalmi (humán) – szempont (Gáspár, 2008) szerinti teljesítményével kapcsolatos információkat – szakirodalmi adatok és a

**2. Táblázat.** Burkolatfelújítási technológiák műszaki jellegű osztályozása (szakirodalmi források)

Burkolatfelújítási technológiák	Műszaki osztályzatok	
	Bomlási ellenállás	Alakváltozási (nyomósodási) ellenállás
Kétrétegű felületi bevonat	1/2	1/2
Microsurfacing	1/2	2
Vékony aszfaltréteg	2/3	2/3
50 mm erősítés	3/4	4
Helyszíni meleg recycling	3/4	4/5
Marás + 50 mm erősítés	4	4/5
Helyszíni hideg recycling + 50 mm erősítés	5	3/4
Teljes vastagságú recycling + 50 mm erősítés	5	4

DURABROADS WP2 munkabizottság által összeállított kérdőívre 81 európai szakember által adott válaszok alapján – röviden összefoglaljuk.

#### 3.1 Műszaki (funkcionális) szempontok

##### 3.1.1 Szakirodalmi áttekintés

Az 1. táblázatban két jellegzetes burkolatfelújítási rétegnek angol szakemberek által adott és útmutató formájában közkinccsé tett, tartóssági és repedésképződési ellenállást jellemző osztályzatai láthatók (Hampshire City Council 2010).

A 2. táblázat szakirodalmi információk összesítése alapján a különböző aszfaltfelújítási technológiák műszaki (funkcionális) osztályzatait szemlélteti. A „bomlási ellenállás” a felületi kopással, a zúzalékkipergéssel, valamint a fáradási és a termikus repedések képződésével szembeni ellenállást összegezi.

##### 3.1.2 Kérdőíves szakértői értékelés

A DURABROADS projekt partnerei által összeállított kérdőívre 81 európai szakember által adott válaszok (Gáspár, Bencze, Jato-Espino, ma.; Gáspár, Bencze, ma. (2) konszenzuális értékelése [MathWorks 2014 27/14] után a vizsgált burkolatfelújítási technológiákra a 3. táblázaton feltüntetett osztályzatok adódtak.

#### 3.2 Társadalmi (humán) szempontok

##### 3.2.1 Szakirodalmi áttekintés

**3. Táblázat.** Burkolatfelújítási technológiák műszaki jellegű osztályozása (szakirodalmi források)

Burkolatfelújítási technológiák	Műszaki osztályzatok		
	Bomlási ellenállás		Alakváltozási (nyomosodási) ellenállás
	Fáradási repedések	Termikus repedések	
Kétrétegű felületi bevonat	1,6 ± 1,0	1,7 ± 1,1	1,6 ± 1,2
Microsurfacing	2,2 ± 1,1	2,4 ± 1,0	1,8 ± 1,2
Vékony aszfaltréteg	2,9 ± 0,7	2,8 ± 0,8	2,7 ± 1,0
Marás + 50mm meleg-aszfalt-erősítés	3,9 ± 0,8	3,9 ± 0,8	4,0 ± 0,7
Helyszíni hideg recycling + 50 mm erősítés	3,3 ± 0,9	3,6 ± 0,9	4,5 ± 0,9
Helyszíni meleg recycling	4,0 ± 1,1	4,0 ± 1,1	4,0 ± 1,1

a) Forgalmi torlódások és időveszteségek

A forgalmi torlódásokkal és az utazási időveszteségekkel kapcsolatos információkat a 4. táblázat szemlélteti.

b) Forgalombiztonság

Szakirodalmi információk összesítése alapján a különböző aszfaltfelújítási technológiák társadalmi (humán) osztályzatait az 5. táblázat mutatja be.

A DURABROADS projekt partnerei által összeállított kérdőívre 81 európai szakember által adott válaszok (Gáspár, Bencze, Jato-Espino, ma.; Gáspár, Bencze, ma. (2)) konszenzuális értékelése (MathWorks 2014) után a vizsgált burkolatfelújítási technológiákra a 6. táblázaton feltüntetett társadalmi osztályzatok adódtak. (A 6. táblázaton az eredeti technológialistából azért maradt ki két eljárás, mert a kihagyottaknál a kérdőíves válaszok nem voltak eléggé konzekvensek).

3.3 Gazdasági (költséghatékonysági) értékelés

A következő vizsgálat a burkolatfelújítási technológiák gazdasági (költséghatékonysági) szempontból történő összehasonlítására irányul; a kivitelezési költségeket, az egész élettartam alatti költségeket és az évszaki építési korlátozásokat vették alapul.

3.3.1 Szakirodalmi áttekintés

a) A kivitelezés időjárási korlátai

**4. Táblázat.** Felújítási technológiákkal kapcsolatos időveszteségekre és forgalmi torlódásokra vonatkozó információk

Szakirodalmi hivatkozás	Felületi bevonás	Microsurfacing	Aszfaltréteg
Croteau, Linton, Davidson, Houston, 2005	Minimális forgalomzavarást okoz.		
ADEPT/RSTA 2011		Gyors szilárdulás (a forgalom akár 20 perc után rámeget).	
Jahren 2011		1 órán belül forgalomba helyezhető.	
Cuelho, Mokwa, Akin, 2006	Sebességkorlátozás kell építés után.	1 órán belül forgalomba helyezhető.	
South Dakota DOT 2010	2 órányi szilárdulás után normál sebességű forgalom rámeget.	1 órán belül forgalomba helyezhető.	
Johnson 2000a	Csak a hengerlés befejezése és az aszfalt megszilárdulása után helyezhető forgalomba.	Kb. 1 órán belül forgalomba helyezhető.	„Szőnyegezés”-nél minimális forgalomszabályozási igény.

A 7. táblázat egyes burkolatfelújítási technológiák megvalósításakor jelentkező időjárási korlátokra vonatkozó szakirodalmi információkat foglal össze.

b) Aszfaltkeverékek élettartam-költségeinek vizsgálata

Mivel a vizsgált burkolatfenntartási technológiák gazdasági jellegű összehasonlításához (sorba rendezéséhez) a szakirodalmi áttekintés nem szolgáltatott kielégítő eredményeket, az egyes változatok egész élettartamukra kiterjedő, környezeti és gazdasági értékelésre került sor. Az egyes technológiákat nyilvánvalóan ugyanarra a vizsgálati időszakra vonatkozólag hasonlítják össze, és a 8. táblázaton feltüntetett stratégiákat („felújítási naptárakat”) veszik alapul.

Az egyes vizsgált burkolatfelújítási technológiák 1 m<sup>2</sup>-re vetített költségét a 9. táblázat összegezi. A különböző, főleg amerikai forrásokból származó adatok szórást is feltüntetettük.

**5. Táblázat.** Burkolatfelújítási technológiák társadalmi jellegű osztályozása (szakirodalmi források)

Burkolatfelújítási technológiák	Társadalmi osztályzat	
	Kényelem Torlódás és idővesztés	Biztonság Munkahelyi biztonság
Kétrétegű felületi bevonat	4/5	4
Microsurfacing	5	4/5
Vékony aszfaltréteg	4/5	3/4
50 mm-es vastagságú erősítés	4/5	3/4
Helyszíni meleg recycling	4	3
Marás + 50 mm-es vastagságú erősítés	4	3/4
Helyszíni hideg recycling + 50 mm-es vastagságú erősítés	4	3/4
Teljes vastagságú recycling + 50 mm-es vastagságú erősítés	4	3/4

c) A burkolatélettartam felújítással való meghosszabbítása

A különböző állapotjavító beavatkozások, köztük a felújítások az útburkolatok üzemi élettartamát meghosszabbítják. A meghosszabbodás mértékét elsősorban a felújítás technológiája és a beavatkozás időpontjában regisztrálható burkolatállapot határozza meg. A 10. táblázat a szakirodalomban található, technológiától függő, élettartam-megnövekedési élettartamokat mutatja be, szórásértékkel együtt.

d) A változatok élettartamköltségei

Az egyes felújítási stratégiák esetében az átlagos éves költségek jellemzésére az egyenértékű éves költséget (EÉK) választották (11. táblázat). 11. táblázat. Felújítási technológiák átlagos egyenértékű éves költsége (EÉK), USD/m<sup>2</sup>-év-ben (2013-as értékek).

### 3.4 Környezeti értékelés

A következő vizsgálat a burkolatfelújítási technológiákat környezeti szempontból hasonlítja össze. Akárcsak a költségelemzés során, minden felújítási változatnál felmérték az élettartam alatti energiafelhasználást (MJ/m<sup>2</sup>) és a kibocsátott CO<sub>2</sub>-mennyiséget (kg/m<sup>2</sup>).

**6. Táblázat.** Burkolatfelújítási technológiák társadalmi jellegű osztályozása (szakértői értékelés)

Burkolatfelújítási technológiák	Társadalmi osztályzat	
	Kényelem Torlódás és idővesztés	Biztonság Munkahelyi biztonság
Kétrétegű felületi bevonat	3.5 ± 1.1	3.1 ± 1.0
Microsurfacing	3.7 ± 0.9	3.6 ± 1.0
Vékony aszfaltréteg	3.5 ± 0.9	3.6 ± 0.8
Marás + 50mm melegaszfalt erősítés	2.7 ± 1.1	2.9 ± 1.1
Helyszíni hideg recycling + 50 mm erősítés	2.5 ± 1.1	2.8 ± 0.9
Helyszíni meleg recycling	2.7 ± 1.3	2.7 ± 1.3

Minden stratégiának környezeti hatását (CO<sub>2</sub>-kibocsátását, energiaigényét, a felhasznált meg nem újuló anyagokat) meghatározták.

a) A variánsok energiafelhasználása és CO<sub>2</sub>-kibocsátása

Az energiaigényre és a CO<sub>2</sub>-kibocsátásra vonatkozó becslések különböző forrásokból származnak. A 12. táblázat ezeknek a technológiánkénti átlagát és az értékek szórását szemlélteti. A 13. táblázat a vizsgált változatok élettartamuk alatti átlagos éves energiafelhasználását, kibocsátott CO<sub>2</sub>-mennyiségét, valamint adalékanyag- és bitumenigényét szemlélteti.

A 13. táblázatból kitűnik, hogy:

- az energiafelhasználás szempontjából a legjobbnak a felületi bevonás és a microsurfacing, míg legkedvezőtlenebbnek a hideg recycling és az aszfalterősítés bizonyult;
- a CO<sub>2</sub>-kibocsátás szempontjából a felületi bevonás és a microsurfacing a legjobb, míg az aszfalterősítés és a teljes vastagságú recycling a legkedvezőtlenebb;
- az adalékanyagigény szempontjából a legkedvezőbbnek a teljes vastagságú recycling és a hideg recycling, míg legkevésbé jónak a vékonyaszfalt és az aszfalterősítés bizonyult;
- a bitumenigény szempontjából a microsurfacing és a felületi bevonás a legjobb, míg a teljes vastagságú recycling és az aszfalterősítés mutatkozott a legkedvezőtlenebbnek.

**7. Táblázat.** Burkolatfelújítási munkák időjárással összefüggő korlátai

Referencia	Permetezéses felületi bevonás	Microsurfacing	Referencia
Johnson, 2000b	Napvilágnál kell dolgozni. Levegő T > 15°C. Relatív nedvességtartalma <75%. Ködös vagy esős napon kerülendő.	Hideg időben kerülendő.	A vékony aszfaltréteg építése csak T > 13°C hőmérséklet felett megengedett.
Jahren, 2011	Iowa: nem építhető szeptember 1. után. Minnesota: nem építhető augusztus 31. után. Kansas: nem építhető szeptember 15. után. Idaho: nem építhető október 31. után.	Éjszakai munka is lehetséges.	

**8. Táblázat.** Az egyes változatok felújítási stratégiája

Év	Kétrétegű felületi bevonat	Microsurfacing	Vékony aszfaltréteg	Aszfaltréteg	HIR vékony aszfalttal	Marás, aszfaltréteggel	CIR aszfaltréteggel	FDR + aszfaltréteggel
0	Marás és erősítés	Marás és erősítés	Marás és erősítés	Marás és erősítés	Marás és erősítés	Marás és erősítés	Marás és erősítés	Marás és erősítés
7	Felületi bevonat	Microsurfacing	Vékony aszfalt					
12				Aszfaltréteg	HIR aszfaltréteggel	Marás és erősítés	Aszfaltréteg	Aszfaltréteg
14	Aszfaltréteg	Aszfaltréteg	Aszfaltréteg					
23				Marás és erősítés			CIR aszfaltréteggel	FDR aszfaltréteggel
24					Marás és erősítés			
25						Marás és erősítés		
29	Marás és erősítés	Marás és erősítés						
30			Marás és erősítés					
35							Élettartam vége	
37				Élettartam vége				
38					Élettartam vége			
39						Élettartam vége		Élettartam vége
42		Élettartam vége						
43	Élettartam vége							
44			Élettartam vége					

**Jelmagyarázat:** HIR = helyszíni, meleg aszfalt-újrafelhasználás, CIR = helyszíni, hideg aszfalt-újrafelhasználás, FDR = teljes vastagságú aszfalt-újrafelhasználás.

**9. Táblázat.** Felújítási technológiák átlagos fajlagos költsége, USD/m<sup>2</sup>-ben (2013-as értékek)

Felújítási technológia	Átlagos fajlagos költség (USD/m <sup>2</sup> )
Kétrétegű felületi bevonat	2,50 ± 0,76
Kevert felületi bevonat (microsurfacing)	3,90 ± 2,00
Vékony aszfaltréteg (aszfaltszőnyeg)	5,00 ± 3,70
Aszfaltréteg	9,70 ± 5,30
Helyszíni meleg recycling + aszfaltréteg	10,90 ± 4,48
Marás + aszfaltréteg	11,30 ± 3,43
Helyszíni hideg recycling + aszfaltréteg	11,30 ± 3,43
Teljes vastagságú recycling + aszfaltréteg	23,80 ± 6,50

**10. Táblázat.** Felújítási technológiák átlagos élettartamnövelése, évben

Felújítási technológia	Átlagos élettartamnövekedés (év)
Kétrétegű felületi bevonat	6 ± 3
Kevert felületi bevonat (microsurfacing)	5 ± 2
Vékony aszfaltréteg (aszfaltszőnyeg)	7 ± 3
Aszfaltréteg	9 ± 3
Helyszíni meleg recycling + aszfaltréteg	10 ± 3
Marás + aszfaltréteg	11 ± 4
Helyszíni hideg recycling + aszfaltréteg	12 ± 4
Teljes vastagságú recycling + aszfaltréteg	16 ± 5

#### 4. Esettanulmány felújítási technológiák kérdőíves komplex összehasonlítására

A DURABROADS projekt művelése során a különböző burkolatfelújítási technológiák komplex összehasonlítására kialakított módszertan (DURABROADS, 2014b) bemutatására a partnerek esettanulmányt végeztek (DURABROADS, 2015; Gáspár, Bencze, Jato-Espino, ma.; Gáspár, Bencze, ma. (2)). Annak három számítási fázisában (kritériumok súlyozása, variánsok értékelése és érzékenységvizsgálat) kapott eredményeket ismertetjük.

##### 4.1 Kritériumok súlyozása

A javasolt módszertannak a szakértők által kitöltött kérdőívekben tapasztalt ellentmondások kezelésére és minimalására való alkalmazásával a 14. táblázaton feltüntetett követelmények, kritériumok és mérőszámok konszenzuális numerikus értékeihez (Gáspár, Bencze ma. (1)) jutottak; ezeket a 15. táblázat szemlélteti. A

konszenzuális összehasonlító mátrixok minden esetben konzisztensek ( $CR \leq 0.1$ , ahol CR konzisztenciaarány (Gáspár, Bencze, Jato-Espino, ma.)), ami logikus is, hiszen minden összehasonlítási mátrixot a GRG (általánosított csökkentett gradiens) algoritmus (Abadie, Carpentier, 1968) segítségével – szükség esetében – konzisztenssé tettek. (A konszenzuális értékelés az értékelők eredeti véleményét a lehető legnagyobb mértékben megőrzi). A 16. táblázaton – háromszögű fuzzy számok (Gáspár, Bencze, ma. (1), Lin, 2010) alkalmazásával – az útburkolat-felújítási technológiák hierarchikus szerkezeti elemeinek súlyai láthatók.

A 16. táblázat adatainak vizsgálatából nyilvánvaló a műszaki (funkcionális) követelmények a többivel szemben megnyilvánuló határozott túlsúlya, mivel 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, az útügyi szektorban a növekvő ökológiai tudatosságot igazolja.

**11. Táblázat.** Felújítási technológiák átlagos egyenértékű éves költsége (EÉK), USD/m<sup>2</sup>-év-ben (2013-as értékek)

Felújítási technológia	EÉK (USD/m <sup>2</sup> -év)
Kétrétegű felületi bevonat	1,9
Vékony (max. 38 mm-es vastagságú) aszfaltréteg	2,0
Kevert felületi bevonat (microsurfacing)	2,0
Helyszíni, hideg recycling + 50 mm-es vastagságú aszfaltréteg	2,0
Teljes vastagságú recycling + aszfaltréteg	2,0
Marás + 50 mm-es vastagságú aszfaltréteg	2,1
50 mm-es vastagságú aszfaltréteg	21
Helyszíni, meleg recycling + 38 mm-es vastagságú aszfaltréteg	21

**12. Táblázat.** Burkolatfelújítási eljárások energiaigénye és CO<sub>2</sub>-kibocsátása

Felújítási technológia	Energiaigény (MJ/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> -kibocsátás (kg/m <sup>2</sup> )
Permetezéssel felületi bevonat	9,5 ± 4,5	0,40 ± 0,05
Microsurfacing	15,9 ± 13,0	0,8 ± 0,7
Vékony aszfaltréteg (aszfaltszőnyeg)	47 ± 10	3,7 ± 1,0
Aszfaltréteg	70 ± 7	4,6 ± 1,2
Helyszíni meleg recycling + aszfaltréteg	65 ± 14	4,4 ± 1,0
Marás + aszfaltréteg	89,5 ± 22,0	5,2 ± 1,5
Helyszíni hideg recycling + aszfaltréteg	109,7 ± 21,0	8,7 ± 4,0
Teljes vastagságú recycling + aszfaltréteg	153,3 ± 54,0	15 ± 13

**13. Táblázat.** A burkolatfelújítási változatok egyes átlagos élettartam-jellemzői

Felújítási technológia	Fajlagos éves energiafelhasználás (MJ/m <sup>2</sup> -év)	Fajlagos éves CO <sub>2</sub> -kibocsátás (kg/m <sup>2</sup> -év)	Fajlagos éves adalékanyag-igény (kg/m <sup>2</sup> -év)	Fajlagos éves bitumenigény (kg/m <sup>2</sup> -év)
Kétrétegű felületi bevonat	9,6	0,61	13,0	0,88
Vékony (max. 38 mm-es vastagságú) aszfaltréteg	10,2	0,64	13,4	0,87
Kevert felületi bevonat (microsurfacing)	10,5	0,67	14,4	0,92
Helyszíni, hideg recycling + 50 mm-es vastagságú aszfaltréteg	11,5	0,74	15,2	0,97
Teljes vastagságú recycling + aszfaltréteg	11,0	0,72	14,5	0,93
Marás + 50 mm-es vastagságú aszfaltréteg	11,3	0,72	14,3	0,91
50 mm-es vastagságú aszfaltréteg	10,3	0,71	12,9	0,88
Helyszíni, meleg recycling + 38 mm-es vastagságú aszfaltréteg	10,4	0,78	12,1	0,94

**14. Táblázat.** Az aszfaltfelújítás-típusok választásához döntéshozatali fa (hierarchikus struktúra)

Követelmények, R	Kritériumok, C	Mérőszámok, I
Gazdasági, R <sub>1</sub>	Költségek, C <sub>1.1</sub> Rugalmasság, C <sub>1.2</sub>	Kezdeti beruházás, I <sub>1.1.1</sub> Élettartam-költség, I <sub>1.1.2</sub> Érzékenység az évszakokra, I <sub>1.2.1</sub>
Környezeti, R <sub>2</sub>	Erőforráshatékonyosság, C <sub>2.1</sub> Fogyasztások, C <sub>2.2</sub> Károsanyag-kibocsátás, C <sub>2.3</sub>	Adalékanyagigény, I <sub>2.1.1</sub> Bitumenigény, I <sub>2.1.2</sub> Energiafogyasztás, I <sub>2.2.1</sub> CO <sub>2</sub> -kibocsátás, I <sub>2.3.1</sub>
Társadalmi, R <sub>3</sub>	Kényelem, C <sub>3.1</sub> Biztonság, C <sub>3.2</sub>	Torlódás, idővesztés, I <sub>3.1.1</sub> Munkahelyi biztonság, I <sub>3.2.1</sub>
Műszaki (funkcionális)	Mechanikai ellenállás, C <sub>4.1</sub>	Bomlási ellenállás, I <sub>4.1.1</sub> Deformációs ellenállás, I <sub>4.1.2</sub>

**15. Táblázat.** Páronkénti összehasonlítási értékek a felújítási technológiák típusválasztásakor

Szint	Hasonlítandók (l. 14.táblázat)	Érték	Konzisztenciaarány (CR)
Követelmény	R <sub>1</sub> vs. R <sub>2</sub>	0,714	0,002
	R <sub>1</sub> vs. R <sub>3</sub>	1,032	
	R <sub>1</sub> vs. R <sub>4</sub>	0,613	
	R <sub>2</sub> vs. R <sub>3</sub>	1,416	
	R <sub>2</sub> vs. R <sub>4</sub>	0,699	
	R <sub>3</sub> vs. R <sub>4</sub>	0,573	
Kritérium	C <sub>1.1</sub> vs. C <sub>1.2</sub>	1,276	0,000
	C <sub>2.1</sub> vs. C <sub>2.2</sub>	1,595	0,001
	C <sub>2.1</sub> vs. C <sub>2.3</sub>	1,462	
	C <sub>2.2</sub> vs. C <sub>2.3</sub>	0,852	
	C <sub>3.1</sub> vs. C <sub>3.2</sub>	0,221	0,000
Mérőszám	I <sub>1.1.1</sub> vs. I <sub>1.1.2</sub>	0,470	0,000
	I <sub>2.1.1</sub> vs. I <sub>2.1.2</sub>	0,497	0,000
	I <sub>4.1.1</sub> vs. I <sub>4.1.2</sub>	0,910	0,000

#### 4.2 A variánsok értékelése

A 17. táblázat a különböző felújítás-variánsok esetében az egyes mérőszámokra adott értékeléseket szemlélteti. A kvantitatív mérőszámokat az általuk felvehető érték-tartománynak megfelelően jellemezték, amennyiben minimális, maximális és legvalószínűbb értéküket tüntetik fel.

A kvalitatív mérőszámok esetében – hogy azok egyszerűbben és könnyebben értékelhetők lehessenek – a háromszögű fuzzy számmal leírt változókat a fokozatos, átlagos integráló módszer alkalmazásával kanonikus alakba írták át (Chou, 2003). 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 (Hwang, Yoon, 1981) inputjaként használandó döntéshozatali mátrixok felépítésére szolgáltattak. Az 1. ábra a TOPSIS-algoritmus egyes lépéseinek alkalmazása után az egyes variánsoknak az ideális megoldástól való viszonylagos távolságát ( $R_i$ ) mutatja meg. A kétklaszteres grafikonból egyértelmű, hogy a nyolc vizsgált technológiából öt db a többi háromnál határozottan kedvezőbb értékeket mutat.



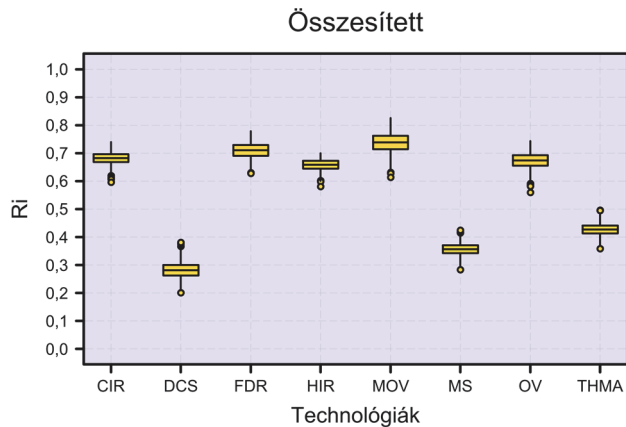
**16. Táblázat.** Elemsúlyok az útburkolat-felújítási technológiák kiválasztásához

Követelmények	W <sub>R</sub>	Kritériumok	W <sub>C</sub>	Mérőszámok	W <sub>I</sub>
Gazdasági	0,199	Költségek	0,561	Kezdeti beruházás	0,320
				Élettartamköltség	0,680
		Rugalmasság	0,439	Érzékenység évszakra	1,000
Környezeti	0,264	Erőforrás-hatékonyság	0,432	Adalékanyagigény	0,332
				Bitumenigény	0,668
		Fogyasztás	0,265	Energiafogyasztás	1,000
		Károsanyag-kibocsátás	0,303	CO <sub>2</sub> -kibocsátás	1,000
Társadalmi	0,192	Kényelem	0,181	Idővesztés & torlódás	1,000
		Biztonság	0,819	Munkahelyi biztonság	1,000
Műszaki (funkcionális)	0,345	Mechanikai ellenállás	1,000	Bomlási ellenállás	0,476
				Alakváltozási ellenállás	0,524

**17. Táblázat.** Elemsúlyok az útburkolat-felújítási technológiák kiválasztásához

Mérőszám	Egység	Érték	CIR	DCS	FDR	HIR	MOV	MC	OV	THMA
I <sub>1.1.1</sub>	\$/m <sup>2</sup>	MIN	13,20	1,70	17,40	7,90	8,90	2,00	4,40	1,30
		M.L.	17,70	2,50	23,80	11,30	12,30	3,90	9,70	5,00
		MAX	22,30	3,20	30,30	14,80	15,70	5,90	15,00	8,60
I <sub>1.1.2</sub>	\$/m <sup>2</sup> -év	MIN	1,13	1,04	1,13	1,23	1,22	1,07	1,14	1,01
		M.L.	2,01	1,88	2,01	2,08	2,06	1,98	2,08	1,95
		MAX	3,65	3,51	3,61	3,68	3,73	3,65	3,86	3,65
I <sub>1.1.3</sub>	Osztályzat	CAN	4,95	0,82	7,99	6,93	8,00	4,99	7,99	6,98
I <sub>2.1.1</sub>	kg/m <sup>2</sup> -év	MIN	9,41	9,14	8,85	10,38	10,11	9,56	10,82	10,26
		M.L.	12,90	13,04	12,10	14,46	14,29	13,43	15,21	14,43
		MAX	19,63	21,09	18,30	23,58	22,36	20,98	24,30	22,82
I <sub>2.1.2</sub>	kg/m <sup>2</sup> -év	MIN	0,64	0,62	0,69	0,66	0,65	0,62	0,69	0,65
		M.L.	0,88	0,88	0,94	0,93	0,91	0,87	0,97	0,92
		MAX	1,34	1,43	1,41	1,51	1,43	1,37	1,55	1,46
I <sub>2.2.1</sub>	MJ/m <sup>2</sup> -év	MIN	4,49	4,23	4,96	4,91	4,78	4,45	5,09	4,81
		M.L.	10,28	9,61	10,43	11,00	11,33	10,16	11,53	10,52
		MAX	21,02	20,73	19,83	21,79	23,39	21,53	23,45	21,97
I <sub>2.3.1</sub>	kg/m <sup>2</sup> -év	MIN	0,30	0,29	0,37	0,37	0,35	0,30	0,36	0,32
		M.L.	0,71	0,61	0,78	0,71	0,72	0,64	0,74	0,67
		MAX	1,68	1,50	1,78	1,65	1,76	1,56	1,74	1,61
I <sub>3.1.1</sub>	Osztályzat	CAN	6,99	7,94	6,99	7,00	6,97	8,80	7,95	7,99
I <sub>3.2.1</sub>	Osztályzat	CAN	5,92	6,99	6,00	4,90	6,99	7,95	6,99	5,99
I <sub>4.1.1</sub>	Osztályzat	CAN	8,80	2,00	8,83	5,99	7,00	1,84	5,95	3,98
I <sub>4.1.2</sub>	Osztályzat	CAN	5,92	1,87	6,95	7,99	7,94	2,94	6,98	3,99

**Jelmagyarázat:** CIR = helyszíni, hideg recycling; DCS = kétrétegű felületi bevonat; FDR = teljes vastagságú recycling; HIR = helyszíni, meleg recycling; MOV = marás + aszfaltréteg; MC = microsurfacing; OV = aszfaltréteg; THMA = vékonyaszfalt („szőnyegezés”); MIN = minimális; LV = legvalószínűbb; MAX = maximális; CAN = kanonikus érték



**1. Ábra.** A nyolc vizsgált burkolatfelújítási technológia összesített teljesítménye

Az itt kialakult sorrend: MOV > FDR > CIR > OV > HIR > THMA > MS > DCS. A 2. ábra a technológiák funkcionális, gazdasági, társadalmi és környezeti jellemzői tekintetében már jelentősebb eltéréseket mutat.

A 2. ábra szerint a szóban forgó burkolatfelújítási technológia összesített értékelését elsősorban a funkcionális (műszaki) jellemzője határozza meg. Az is figyelemre méltó, hogy az összesített értékelésben a „marás után aszfaltréteg elterítése” változat kedvezőbb gazdasági és társadalmi jellemzői következtében tudta a „teljes vastagságban végzett recycling”-ot az első helyért folyó „versenyben” megelőzni.

Ugyanakkor a kétrétegű felületi bevonásnak a társadalmi és a környezeti megítélése hiába volt kedvező, mivel a különösen gyenge mechanikai ellenállása az összesített kedvezőtlen értékelésnél döntőnek bizonyult.

## 5. Néhány következtetés

A DURABROADS projekt 2. munkabizottsága új, döntéstámogató modellt javasolt, és – esettanulmányként – nagy nehézforgalmú európai utak aszfaltkopóréteg-típusaihoz szóba jövő felújítási technológiák optimalálásával a gyakorlatban is kipróbált. Olyan komplex és jól működő módszertant sikerült kifejleszteni, amely az összetett problémákra vonatkozó szakértői véleményekben általánosan meglévő határozatlanságokat, bizonytalanságokat és ellentmondásokat hatékonyan tudja kezelni.

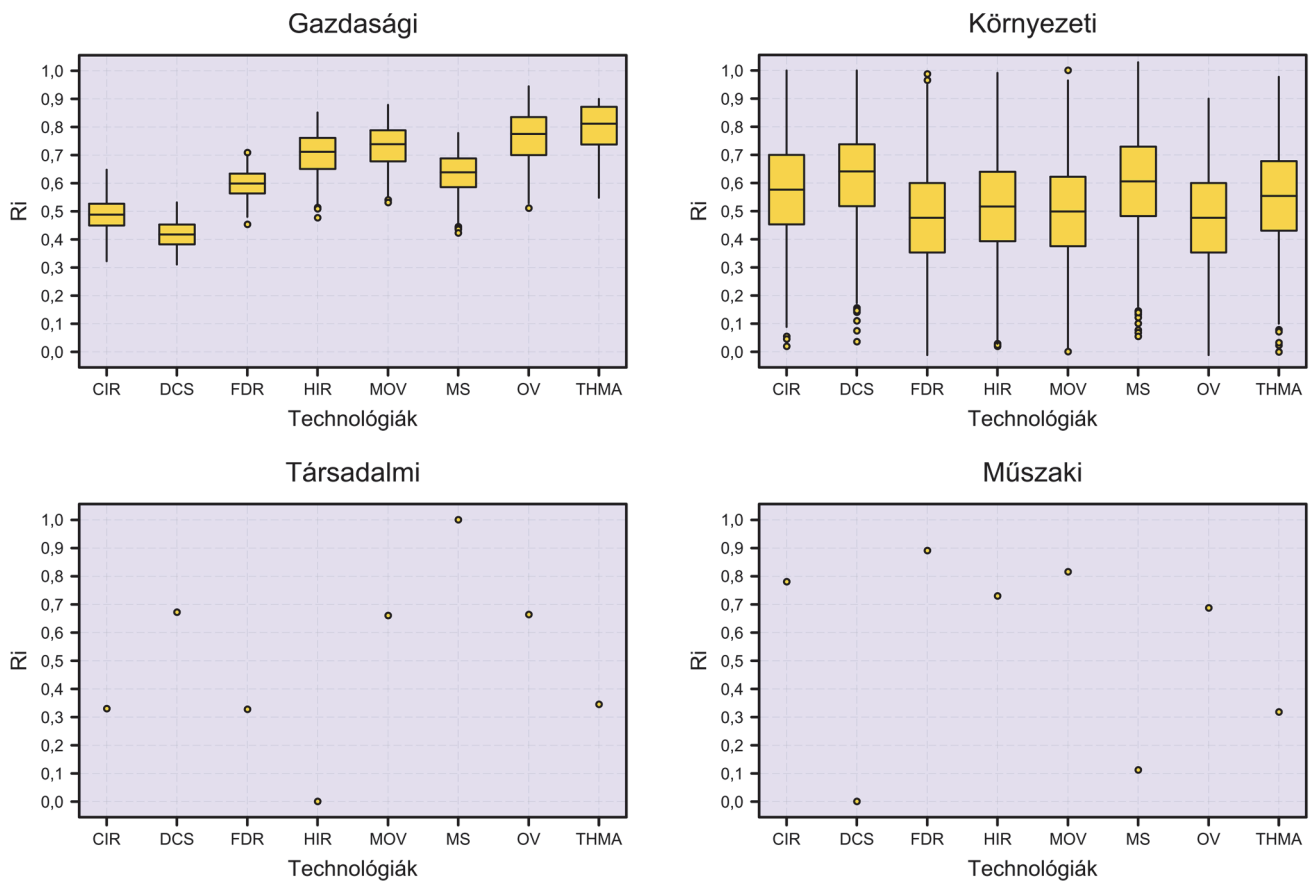
Az esettanulmány során nyert eredmények a módszer alkalmazhatóságát igazolták, a döntéshozókat támogatják abban a tekintetben, hogy a fenntarthatósági szempontokon alapulva, a legmegfelelőbb burkolatfelújításitechnológia-típust ki tudják választani. Bár az igazán hatékony útkezelés a gazdaságra, a környezetre 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.

## 7. Köszönetnyilvánítás

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

## 6. Felhasznált irodalom

- 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.
- Gáspár, L.** (2012): Lifetime engineering for roads (Keynote lecture). Proceedings of CETRA 2012 (2<sup>nd</sup> International Conference on Road and Rail Infrastructure), Dubrovnik, 7-9 May, pp. 25-34.
- DURABROADS project** Deliverable D2.1 Assessment of the gaps in road-related procedures. 2014a. 99 p.
- 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. 2014b. 61 p.



2. Ábra. A felújítási technológiák összehasonlítása a négy vizsgálati szempont szerint

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. **Gáspár L., Bencze Zs.** (2016): Aszfaltburkolat-típusok optimalása. Közlekedéstudományi Szemle, 2. szám pp. 16-30.
7. **Gáspár L., Bencze Zs. Jato-Espino, D.** (2016): Döntéstámogató modell nagy nehézforgalmú utak aszfalt kopóréteg-típusának kiválasztásához. Útügyi Lapok, 7. szám. 10 p.
8. **Gáspár L., Bencze Zs.** (2016): Szakirodalmi szemle és esettanulmány nagy nehézforgalmú utak „optimális” aszfalt kopóréteg-típusának kiválasztásához. Útügyi Lapok, 8. szám 17 p.
9. **Gáspár, L.** (2008): Lifetime engineering in road asset management. CD-ROM Proceedings of 3<sup>rd</sup>

- European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra (Portugal), 10 p.
10. **Guidance Document on Surfacing Options for Highways.** Technical Advice Group Hampshire County Council, Winchester, UK, 2010. 101 p.
11. **MathWorks.** MATLAB R2014b. Natick, Massachusetts (U.S.), 2014.
12. **Shuller, S., Schmidt, Ch., Goldbaum, J.** (2010): Life-Cycle Economic Performance for Hot Mix Asphalt Pavement Rehabilitation Strategies. International Journal of Construction Education and Research, No 6, pp. 152-162.
13. **Croteau, J.-M., Linton, P., Davidson, J. K., Houston, G.** (2015): Seal Coat Systems in Canada: performances and practice. Paper prepared for presentation at the “Soils and Materials – Investing in new materials, products and processes” session at the 2005 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Calgary, Alberta, 15 p.

14. **ADEPT/RSTA** (2011): Service Life of Surface Treatments, 25 p.
15. **Jahren, Ch.** (2011): Development of Updated Specification for Roadway Rehabilitation Techniques. Iowa State University, Final Report
16. **Cuelho, E., Mokwa, R., Akin, M.** (2006): Preventive Maintenance Treatments of Flexible Pavements: A Synthesis of Highway Practice. Report No. FHWA/MT-06-009/8117-26. Western Transportation Institute Montana State University, Bozeman, MT. 103 p.
17. **South Dakota Department of Transportation** (2010): Pavement Preservation Guidelines
18. **Johnson, A. M.** (2000): Best practices handbook on asphalt pavement maintenance. Report NM/RC-2000-04. University of Minnesota Center for Transportation Studies
19. **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.
20. **Lin, H.** (2010): An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. Computers and Education, 54(4), pp. 877-888.
21. **Chou, C.** (2003): The canonical representation of multiplication operation on triangular fuzzy numbers. Computers and Mathematics with Applications, 45 (10-11), pp. 1601-1610.
22. **Hwang, C. L., Yoon, K.** (1981): Multiple attribute decision making: Methods and applications. New York (U.S.): Springer. 225 p.

---

## Selection of “optimal” pavement rehabilitation techniques on heavily trafficked roads

**Abstract:** The DURABROADS-project partly financed by European Commission developed and tested in a case study a new decision support model for the optimization of pavement rehabilitation techniques of asphalt wearing course types on heavily trafficked European roads. The results obtained have proved the applicability of the methodology; decision makers can be supported in their selection of the most suitable pavement rehabilitation techniques based on complex sustainability aspects. The suggested methodology can transform the decision-making problem into a hierarchical tree in order to evaluate the performances of various alternatives from the view-point of given aspects.

**Keywords:** heavily trafficked European roads, asphalt wearing course types, project financed by EC 7th RTD framework programme, decision support model, mathematical-statistical procedures

### **Dr. habil. Gáspár László**

Okl. mérnök, okl. gazdasági mérnök, az MTA doktora. A Közlekedéstudományi Intézet kutató professzora, a Széchenyi István Egyetem emeritus professzora.

### **Bencze Zsolt**

Okl. építőmérnök, a Széchenyi István Egyetem Multidiszciplináris Műszaki Doktori Iskola PhD hallgatója és 2005 óta a Közlekedéstudományi Intézet munkatársa.



# Szabálytalan<sup>1</sup> gyalogosmozgások vizsgálata budapesti jelzőlámpás gyalogosátkelőhelyeken

Kristók András, Hóz Erzsébet, Igazvölgyi Zsuzsanna

**Kivonat:** Olvasóink figyelmébe ajánljuk Kristók András 2016-ban készített diplomamunkáját, amelynek címe: *Budapesti helyszíneken kijelölt gyalogos-átkelőhelyek forgalomtechnikai kialakításának, jelzőlámpás szabályozásának és közlekedési gyakorlatnak vizsgálata*. A diplomamunka a jelzőlámpás szabályozású kijelölt gyalogos-átkelőhelyekkel foglalkozik, azok forgalomtechnikai kialakítását, jelzésrendszerét és közlekedési gyakorlatát vizsgálta. A különböző gyalogos csoportok különböző jellemzőkkel rendelkeznek, és viselkedésük is különböző lehet. A gyalogosok az átkelőhelyek sokszínűsége miatt átkelőhelyenként is más viselkedést mutathatnak. A szerző a gyalogos-átkelőhelyek kialakításai közül 6 csoportot vizsgált. A helyszínek kialakítása, jelenlegi állapota befolyásolhatja az azon való viselkedést, mind a gyalogos, mind a járművezető szempontjából. Az elkészült videófelvevételeket a közlekedési gyakorlat vizsgálatához megállapított fő- és mellékszempontok alapján elemezte a dolgozat szerzője. Az elemzést mind a 12 helyszínre elvégezte, és a mérések kiértékelése és összehasonlítása alapján, a műszaki előírásokkal összhangban javaslatokat fogalmazott meg az átkelőhelyek biztonságának javítása érdekében. A cikk a vizsgálati eredményeket, korábbi mérési tapasztalatokat foglalja össze, és 5 kiválasztott helyszínre konkrét javaslatokat is megfogalmaz.

**Kulcsszavak:** gyalogos, jelzőlámpás szabályozás, szabálytalan átkelés, forgalombiztonság

## 1. Bevezetés

A gyalogosok nemük, életkoruk, közlekedési magatartásuk, mozgásképeségük és számos egyéb tulajdonságuk miatt eltérően viselkednek a különböző közlekedési szituációkban. Sok esetben a fiatalok bátrabban – akár tilos jelzésen – kelnek át egy gyalogos-átkelőhelyen, és a mai kor egyik velejáráója, hogy adott esetben a modern technikai eszközeik használata során elmulasztanak meggyőződni arról, hogy a biztonságos átkelés feltételei teljesülnek-e az átkelés előtt és közben is. Egy 2006-os ausztráliai tanulmányban a jelzőtáblás és jelzőlámpás gyalogos-átkelőhelyeken történő mobiltelefon-használat során megfigyelt viselkedéseket értékelték ki (Hatfield et. al, 2007). Kimutatták, hogy a nők – szemben a kontrollsoport (mobiltelefont nem használók) gyalogosaisal

– mobiltelefonon való beszélgetés során lassabban haladtak át a gyalogátkelőhelyeken, és kevésbé figyeltek a forgalomra lelépés előtt, várakozás vagy átkelés közben. A férfiak a jelzőlámpa nélküli gyalogos-átkelőhelyeken haladnak át lassabban, miközben mobiltelefonon beszéltek. Ezek a hatások arra utalnak, hogy a mobiltelefonon való beszéd kognitív figyelemelterelést okoz, ami veszélyezteti a gyalogosok biztonságát.

Jelzőlámpás gyalogos-átkelőhelyek – a közutat és a vilamosvágányt keresztező gyalogátkelőhelyeket megkülönböztető – vizsgálatával foglalkozó korábbi kutatása során arra a megállapításra jutott a szerző, hogy a vilamosvágányokat keresztező átkelőkön nagyságrendekkel nagyobb a szabálytalan gyalogosok aránya (Igazvölgyi, 2014). Az utcai környezet gyalogosok viselkedésére gyakorolt hatását vizsgáló amerikai kutatás során több

<sup>1</sup> Szabálytalan gyalogosközlekedés: amikor a gyalogos nem a kijelölt gyalogos-átkelőhelyen halad át, vagy nem a rendelkezésére álló folyamatos zöld (szabad) jelzésen megy át. A részletes vizsgálatoknál alapvetően a tilos és a villogó zöld jelzésen átkelő gyalogosokat értjük alatta, az ettől való eltérést jelezzük.

faktort is elemeztek, amelyek befolyásolhatják a szabálytalan átkelést. Kutatásukban arra jutottak, hogy még irányonként is különböző mértékű volt a szabálytalan átkelések aránya a vizsgált csomópontokban (Baltes és mts. 2004). Egy kérdőíves felmérés – Global Road Safety Partnership – során a válaszadók 46%-a gyakran, 37%-a csak akkor kel át tilos jelzésen, amikor siet. A válaszadók 99%-át még soha nem büntették meg emiatt (Bérces et al., 2009). Életkortól függetlenül a jelzést figyelmen kívül hagyva szabálytalan átkelések sorozata látható nap mint nap. A szabálytalan átkelések magukban hordozzák a konfliktushelyzeteket, melyek következtében balesetek következhetnek be, ilyenek például a ráfutásos balesetek is. A gyalogosok sokszor nincsenek tisztában az átkelés szabályaival. Kérdés, hogy ismeriük-e a **KRESZ**-t, amire válaszként adható, hogy a szabályok ismeretének hiánya nem ment fel azok betartása alól. Az 1988. évi I. törvény – a közúti közlekedésről alapján<sup>2</sup> a gyermekek, védtelenek azonban fokozott figyelmet igényelnek<sup>3</sup>.

A gyalogosok sokszínűsége miatt minden csoportra nem lehet gyalogos-átkelőhelyet tervezni a különböző igények miatt, törekedni kell azonban a lehető legbiztonságosabb kialakításra. Jelen vizsgálat során a figyelembe veendő szempontok lehetőséget nyújtanak a már kialakított átkelőhelyek felülvizsgálatára. Budapesten sok más településhez hasonlóan a gyalogos-átkelőhelyek különböző kialakításúak. A jelzőtáblával vagy jelzőlámpával szabályozott átkelőhelyek osztoottság szempontjából is eltérőek. A jelzőlámpás átkelőhelyek kiépítési tagoltsága (osztottság) és a forgalomtechnikai szabályozás tagoltsága eltérő lehet. Sok esetben alkalmazzák a teljes gyalogos-átkelőhely két részre osztását, középen elhelyezkedő szigettel. A három részre való tagoltság is

alkalmazható úgy, hogy a középszigeteken nincsenek jelzők, és egy fázisban haladhatnak a gyalogosok, valamint úgy is, hogy a gyalogos-átkelőhely szabályozása részben történik, tagolva, eltérő fázisban. A hosszabb, ill. rövidebb gyalogos-átkelőhelyek más zöldidőket és közbenső időket eredményeznek, és a gyalogosok átkelési magatartását is befolyásolják. A diplomamunkában vizsgált 12 átkelőhely – bár 6 csoportba rendezett – valójában 12-féle kialakítást takar.

Az átkelőhely szélessége alatt a keresztezett útszakaszszal párhuzamos méretét kell érteni, míg hossza alatt a szegélyek közötti, a járművek útjára merőleges szakaszt. A jelzések általában az átkelőhely mindkét irányában azonos egy fázison belül a gyalogosjelzőket tekintve. Újítás a forgalomtechnikában, hogy irányonként eltérő jelzések lehet egy adott gyalogos-átkelőhelynek egy időben, miáltal a gyalogosforgalom iránya és a több zöldidőt igénylő járműforgalom is figyelembe van véve. Ennek célja, hogy a középszigeten ne maradjanak, ne ragadjanak be gyalogosok átkelésük közben.

## 2. A megfogalmazott célok

A gyalogosok és gyalogoscsoportok a különböző típusú átkelőhelyeken különbözőképpen viselkednek. A diplomamunka egyik feladata a viselkedés, a közlekedési magatartás felvétele és meghatározott szempontok szerinti kiértékelése volt. Az eredményekből akár a kialakítások megfelelőségére, javíthatóságára is lehet következtetni. Fontos része a diplomamunkának a vizsgált gyalogos-átkelőhelyek jelenlegi műszaki szabályozásoknak való megfelelősége<sup>4</sup>, valamint célja volt az is, hogy értékelje, a jelzések mennyire egyértelműek, láthatók, észlelhetők a gyalogosok számára. Egy nem megfelelően elhelyezett

<sup>2</sup> „2. § (1)2 A törvény hatálya kiterjed Magyarország területén

a) a közúti közlekedésben résztvevőkre,

b) a közúti járművekre (a továbbiakban: jármű) ...”

Továbbá:

„5. § (1) Aki a közúti közlekedésben részt vesz, köteles

a) a közúti forgalomra, valamint a közútnak és környezetének a védelmére vonatkozó jogszabályi rendelkezéseket megtartani;

b) a közúti jelzések rendelkezéseinek eleget tenni, a forgalom irányítására jogosultak utasításait követni;

c) úgy közlekedni, hogy a személy- és vagyónbiztonságot ne veszélyeztesse, másokat közlekedésükben indokolatlanul ne akadályozzon és ne zavarjon...”

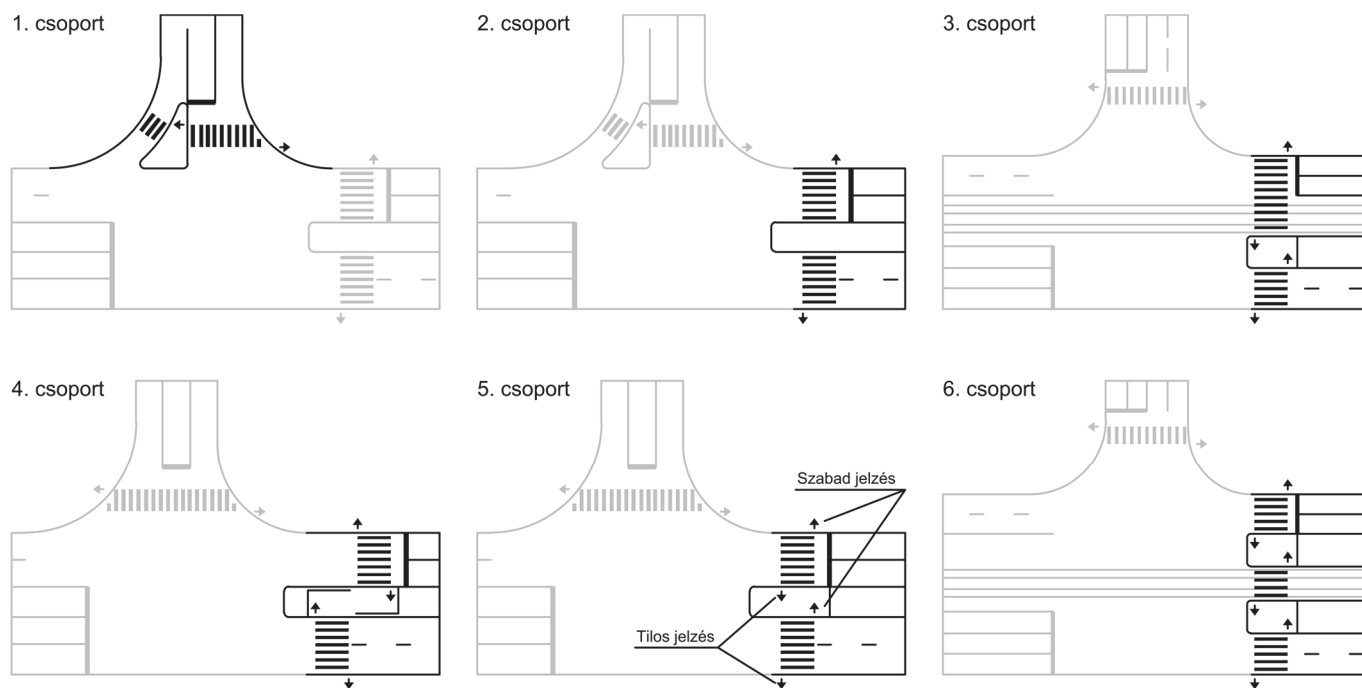
<sup>3</sup> „12. § A közúti forgalom szervezésének elvei:

(6) A közúti forgalmi rend kialakításánál különös figyelmet kell fordítani a gyalogos-átkelőhelyek elhelyezésére és megjelölésére, a közúti csomópontok és vasúti átjárók forgalmának szabályozására, a gyalogos- és kerékpáros-forgalom biztonságára és - belterületen - a tömegközlekedés zavartalanására. Fokozottan védeni kell a közúti forgalomban résztvevő gyermekeket, időskorúakat, valamint a mozgáskorlátozottakat és egyéb testi fogyatékosokat.”

<sup>4</sup> e-ÚT 03.03.31. - A jelzőlámpás forgalomirányítás tervezése, telepítése és üzemeltetése

e-ÚT 03.07.23. - A gyalogosközlekedés közforgalmi létesítményeinek tervezése (A KTSZ kiegészítése)

e-ÚT 03.15.02. - Akadálymentes közúti létesítmények



1. Ábra. Vizsgált gyalogos-átkelőhelyek típuscsoportjainak vázlatrajza

jelzőlámpa – ha kiesik a gyalogos látómezőjéből – azt a hatást keltheti, mintha nem lenne szabályozva a gyalogos átkelése. A különféle közlekedők között kialakuló balesetveszélyes konfliktusok megfigyelésével is képet kapunk az adott gyalogos-átkelőhelyről, amiből következtetni lehet annak forgalombiztonságára is. Tudni kell, hogy a több konfliktus nem feltétlen jelent több balesetet is, mivel több konfliktus esetén fokozottabban figyelhetnek a közlekedők. A mérések eredményei alapján a közlekedési magatartás ismeretében az érvényben lévő műszaki előírásokkal összhangban javaslatok megfogalmazására is sor kerülhet az átkelőhelyek forgalombiztonságának javítása érdekében.

### 3. Gyalogos-átkelőhelyek kialakítása, szabályozása

<sup>5</sup> 21. §. (5) A gyalogos az úttesten a kijelölt gyalogosátkelőhelyen, ha pedig a közelben kijelölt gyalogosátkelőhely nincs,

a) lakott területen levő főútvonalon az útkereszteződésnél (a járda megosztott vonalában), valamint a menetrend szerint közlekedő jármű megállóhelyén levő járdaszíget és az ahhoz közelebb eső járda között (a járdaszíget teljes hosszában),

b) egyéb helyen bárhol, a legrövidebb áthaladást biztosító irányban mehet át.

A jelenleg érvényben lévő KPM-BM együttes rendeletben, amely a közúti közlekedés szabályairól szól (a továbbiakban: KRESZ), a gyalogosok közlekedését szabályozó 21. paragrafus alapján a gyalogosnak kijelölt gyalogos-átkelőhelyen kell átmennie, amennyiben az rendelkezésre áll<sup>5</sup>. A kijelölt gyalogos-átkelőhelyen a gyalogos biztonságérzetét tovább növelheti a jelzőlámpás szabályozás. A gyalogos az úttestre akkor léphet, ha meggyőződött annak veszélytelenségéről, míg működő jelzőlámpás esetben csak zöld jelzés esetében indulhat el. A hazai előírásban alkalmazott 5 másodperces villogó zöldön, valamint tilos jelzésen nem lehet megkezdeni az átkelést<sup>6</sup>.

A jelzőlámpás szabályozású gyalogos-átkelőhelyek közül az alábbi csoportok vizsgálatára került sor:

<sup>6</sup> „8. § A gyalogosforgalom irányítására szolgáló fényjelző készülékek

(2) Az (...) bekezdésben említett fényjelző készülék fényjelzéseinek a jelentése:  
a) a folyamatos zöld fény szabad utat jelez: a gyalogos az úttesten áthaladhat;

b) a villogó zöld fény az áthaladásra engedélyezett időtartam végét jelzi: a gyalogos az úttestre nem léphet, az úttesten levő gyalogos pedig köteles az áthaladást mielőbb befejezni;

c) a piros fény az áthaladás tilalmát jelzi: a gyalogos az úttestre nem léphet.



2. Ábra. A vizsgált tizenkét helyszín elhelyezkedése Budapesten (forrás: Google Earth)

- 1) Vegyes szabályozású (jelzőlámpás és kisebb szakaszon jelzőlámpa nélküli), 2 részre osztott, egy része szabályozott (egy fázisban), szigettel elválasztott, a szigeten van jelző.
- 2) Jelzőlámpás szabályozású, 2 részre osztott, teljes hosszban szabályozott (egy fázisban), szigettel elválasztott, a szigeten nincs jelző.
- 3) Jelzőlámpás szabályozású, 2 részre osztott, részekben szabályozott (több fázis lehetséges), szigettel elválasztott, a szigeten van jelző.
- 4) Jelzőlámpás szabályozású, 2 részre osztott, részekben szabályozott (több fázis lehetséges), szigettel elválasztott, a szigeten van jelző, a kijelölt gyalogos-átkelőhely 2 része egymáshoz képest a keresztezésre merőlegesen el van tolvá.
- 5) Jelzőlámpás szabályozású, 2 részre osztott, részekben szabályozott (több fázis lehetséges), szigettel elválasztott, a szigeten van jelző, átkelési irányonként eltérő jelzések ugyanabban az időpontban.
- 6) Jelzőlámpás szabályozású, 3 részre osztott, részekben szabályozott (több fázis lehetséges), szigettel elválasztott, a szigeten van jelző.

Az egyes csoportokból 2-2 gyalogos-átkelőhely vizsgálatára és a felvett adatok elemzésére került sor videófelvételek kiértékelésével. A vizsgált kialakítások vázlatrajta az 1. ábrán látható. A villamosvonal megléte csoporton belül is eltérő lehet, a sávok számát és a villamosávok tényleges meglétét az 1. összefoglaló ábra mutatja helyszínenként.

#### 4. Vizsgált helyszínek és rendelkezésre álló adatok

A tizenkét helyszín (valamennyi Budapesten található) elhelyezkedését mutatja be a 2. ábra.

A helyszínek kiválasztásában szerepet játszott azok közelítő összehasonlíthatósága, a szakemberek javaslata, valamint a helyszínek megközelíthetősége, elérhetősége.

A balesetek gyakorisága nem játszott szerepet a kiválasztásban. A diplomamunkában a helyszínek részleteiben, külön szempontok alapján kerültek bemutatásra:

- geometria, kialakítás,
- forgalomtechnika, közvilágítás,
- akadálymentesítés,



1. Táblázat. A vizsgált gyalogos-átkelőhelyek összesítő táblázata

Azonosító (csoport/helyszín)	Helyszín, csp., keresztező utca [keresztezett sávok száma [V - villamos]]	Periódusidő (s)	Gyalogos-zöldidő (részenként - nyugat vagy észak/közép/kelet vagy dél) (s)			Gyalogosok szabályozása hány fázisban történik	Gyalogosok bejelentkezésének típusa	Járművek száma 15 periódus alatt	Gyalogosok száma 15 periódus alatt	Szabálytalan átkelés aránya (%)	Kerékpárút szabályozása	Sárga villogó
1/1	Megyeri út – Íves út (mellékirány) kereszteződése (1+1)	75	66			1 fázis, jobbos sáv nem lámpás	nyomógombos	122	32	28,1	-	nincs
1/2	Váci út – Gács utca kereszteződése (1+2)	90	56			1 fázis, jobbos sáv nem lámpás	fix	407	69	8,7	nincs külön jelző	van
2/1	István út – Petőfi utca kereszteződése (2+2V+2)	90	23			1 fázis	fix	1522	168	27,3	-	nincs
2/2	Megyeri út – Íves út (főirány) kereszteződése (2+2)	75	13			1 fázis	nyomógombos	226	95	100,0	-	van
3/1	Hungária körút – Mogyoródi út kereszteződése (3+2V+4)	90	9	23		2 fázis	fix	1522	19	6,5	külön jelző	van
3/2	Ajtósi Dürer sor – Asztana utca (3+2)	90	11	11		1 fázis	nyomógombos	821	250	10,4	-	nincs
4/1	Váci út – Forgách utca kereszteződése (4+3)	90	22	21		2 fázis	fix	1991	241	16,0	-	nincs
4/2	Margit híd – Margitsziget bejáró kereszteződése (2+1V+1V+2)	90	15	18		2 fázis	nyomógombos	1339	566	14,5	-	nincs
5/1	Bajcsy-Zsilinszky út – Alkotmány utca kereszteződése (4+2)	90	19/18	18		2 fázis	fix	886	92	5,8	külön jelző	van
5/2	Szabad sajtó út – Váci utca kereszteződése (3+3)	90	16/11	17/30		2 fázis	fix	1405	515	3,6	külön jelző	van
6/1	Lechner Ödön fasor / Soroksári út – Vágóhid utca kereszteződése (2+2V+6)	90	15-53	5-55	9	3 fázis	fix	1277	320	30,0	-	van
6/2	Erzsébet körút 54. szám előtt (2+2V+2)	60	17	15	18	3 fázis	fix	459	156	47,9	-	nincs
<b>Összesen:</b>								<b>11977</b>	<b>2523</b>			

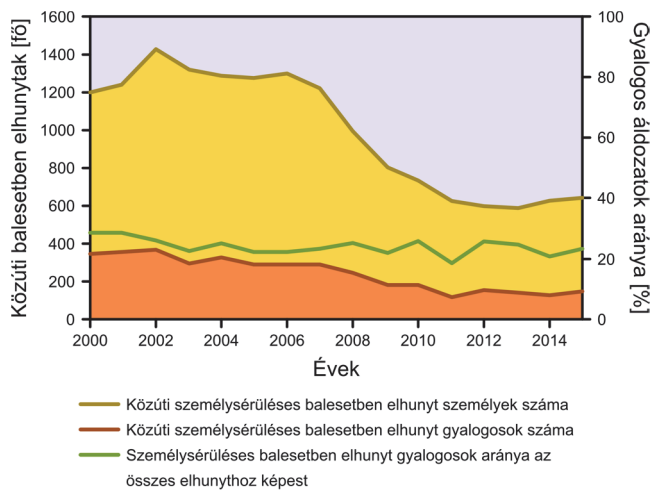
- észrevehetőség, átláthatóság, jelzések értelmezhetősége,
- gyalogosok száma, összetétele, eloszlása,
- gyalogosforgalom-vonzó létesítmények elhelyezkedése.

#### 4.1 Fő megfigyelési szempontok (jellemzők)

A forgalomszámlálást követően a gyalogos-átkelőhelyek különböző szempontok szerinti vizsgálatára és összehasonlítására került sor:

- 1) Járművek száma.
- 2) Gyalogosok száma.

- 3) Szabad (zöld) jelzésen megkezdett gyalogos átkelések száma.
- 4) Átmeneti időben (villogó zöld jelzésen, 5 s) megkezdett gyalogos átkelések száma.
- 5) Tilos (piros) jelzésen megkezdett gyalogos átkelések száma.
- 6) Szabályos átkelések aránya: a vizsgált periódusban a szabad jelzésen áthaladt gyalogosok száma az összes áthaladt gyalogos számához viszonyítva.
- 7) Szabálytalan átkelések aránya: a vizsgált periódusban az átmeneti villogó zöld jelzésen és a tilos jelzésen áthaladt gyalogosok aránya az összes áthaladt gyalogoshoz viszonyítva.



3. Ábra. Személysérülései balesetben meghaltak és gyalogként meghaltak száma, aránya 2001–2015 között

- 8) Szabályos átkelést követően az adott oldalra már tilos jelzésre érkezők száma.
- 9) A gyalogos zöldidő kezdete és az azt megelőző járműfázisban az utolsó jármű elhaladása között eltelt idő.
- 10) Tilos jelzésen átkelő gyalogosok száma az aktuális gyalogos-zöldfázis kezdete és az azt megelőző utolsó jármű elhaladása között.
- 11) Átlagos várakozási idő a szabálytalan átkelés megkezdése előtt (tilos jelzés előtt).
- 12) Gyalogos-átkelőhely szélességének használata. Azonosítók a méréshez: (1) a kijelölt gyalogos-átkelőhelyen kelt át, (2) a kijelölt gyalogos-átkelőhely körülbelül 1 méteres körzetében kelt át, (3) a kijelölt gyalogos-átkelőhely körülbelül 1 méteres körzetén kívül kelt át.

Bizonyos átkelőknél a csoporton belüli összehasonlítás érdekében a következő szempontok figyelembevételére is sor került, de az ezzel kapcsolatos eredményekre nem tér ki a cikk:

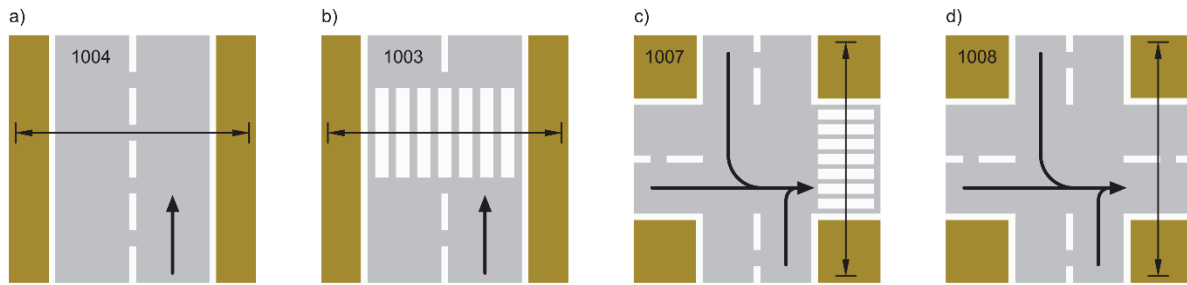
- Részleges átkelés, csak a közép-sziget felől/felé haladó gyalogosok száma (tömegközlekedési eszköz miatt/induló nem ért át az átkelőn).
- Tömegközlekedési eszköz miatti szabálytalan átkelések száma.

- Osztott, szigeten jelzővel ellátott átkelőn, eltérő szabad jelzés hatására bekövetkező szabálytalan átkelések száma (az adott átkelő részen túli jelző hatása).
- Osztott, szigeten jelzővel ellátott átkelőn, ellenétes irányú szabad jelzés kezdetének hatására bekövetkező szabálytalan átkelések száma.
- Elsőbbség megadása.
- Elsőbbség megtagadása.
- Jelző nélküli és jelzős részeken áthaladt gyalogosok megtorpanásának száma keresztező jármű előtt.
- Kerékpárosok száma.

## 5. Mérések, adatgyűjtés

A mérések során fontos szempont volt, hogy a gyalogosok a felvétel készítéséről ne szerezzenek tudomást, természetes mozgásukat, viselkedésüket ne befolyásolja a kamera jelenléte. Minden helyszínen 15 periosusnyi idő került rögzítésre, feldolgozásra, függetlenül attól, hogy az adott helyszínen éppen 60, 75 vagy 90 másodperces periosus üzemel, tehát periosusszámhoz volt kötve a vizsgálat időtartama. Programváltás nem történt a vizsgálatok ideje alatt, összesen az alábbi 1. táblázatnak megfelelő jármű és gyalogosmozgás vizsgálata történt.

A táblázat mutatja a vizsgált helyszínek bizonyos jellemzőit: az összesen 2523 gyalogos haladt át a gyalogos-átkelőhelyeken, amelyeket 11 977 jármű keresztezett a 180 periosus alatt. A legnagyobb forgalmú átkelő a Margit híd – Margitszigeti bejáró előtti helyszín volt – a Margitsziget nagymértékű forgalomvonzásának köszönhetően, hétvégén. A mérések általában hétköznapokon történtek, két helyszínt kivéve, amelyeknél ezt feltüntettük az „Egyéb” megjegyzés oszlopában (szombat). A helyszín megadásánál aláhúzással jelöltük azt az utat, utcát, amelyet a vizsgált kijelölt gyalogátkelőhely keresztez. Az 1/1-es és a 2/2-es helyszín ugyanannak a T-csomópontnak a mellékirányát és főirányát keresztező gyalogátkelőhelye, ezért ezt is feltüntettük zárójelben. A táblázat utolsó sora mutatja a szabálytalan átkelések arányát a teljes átkelőhelyen.



**4. Ábra.** a) Gyalogos elütése útkereszteződésen kívül; b) Gyalogos elütése nem útkereszteződésben kijelölt gyalogos-átkelőhelyen; c) Gyalogos elütése útkereszteződésben kijelölt gyalogos-átkelőhelyen; d) Gyalogos elütése útkereszteződésben nem kijelölt gyalogos-átkelőhelyen

A műszaki előírásoknak való megfelelés vizsgálatánál az alábbi jellemzők elemzésére is sor került:

- zöldidő hossza,
- forgalomtechnika,
- szegélyek, akadálymentesítés,
- szigetek méretei.

A **zöldidőknek** legalább olyan hosszúnak kell lennie, hogy az elsőnek induló gyalogos 1,0 m/s-os sebességgel haladva eljuthasson az átkelő 2/3-áig a zöld jelzés ideje alatt. Az esetek többségében a zöldidők megfelelnek, egyedüli kivételt képez a Lechner Ödön fasor/Soroksári út – Vágóhíd utca (6/1) kereszteződésében a középső és keleti átkelő rész. Ez azt jelenti, hogy a középső részen a legrövidebb, 5 másodperces zöldidő esetén, valamint a keleti részen a fix, 9 másodperces zöldidő esetén az elsőnek induló gyalogos nem éri el a gyalogos-átkelőhely adott részének 2/3-át 1,0 m/s-os sebességgel, a folyamatos zöldidő alatt.

A **forgalomtechnikai** megfelelés értékelésénél a jelzőtáblák és útburkolati jelek meglétének ellenőrzésére került sor. A 12 gyalogos-átkelőhelyből 5 helyszínen nincs kijelölt gyalogosátkelőhely-tábla, amely előírás szerint nem kötelező. Egyéb táblázási hiányosság nem volt. Az útburkolati jelek állapota 6 helyszínen nem volt megfelelő a szubjektív megítélés alapján.

A szegélyeket a gyalogos-átkelőhely vonalában 2 cm-re, a kerékpáros átkelőhely vonalában 0 cm-re kell süllyesz-

teni. A szigeteknek legalább 2,00 m szélesnek kell lenniük a gyalogosok által használt felület mentén. Eltolt gyalogos-átkelőhely esetén a minimálisan előírt sziget-szélesség 3,00 m kell legyen. A **szegélyek** a 12 gyalogos-átkelőhely mentén 7 esetben megfelelően, 3 esetben csak részben megfelelően, 2 esetben pedig nincsenek megfelelően kialakítva.

A diplomamunkában akadálymentesítés alatt a kijelölt gyalogos-átkelőhely mentén a szegélyek megfelelő mértékű süllyesztését, taktilis elemek, akusztikus jelzők, valamint tapintható térképek meglétét kell érteni. Mivel ezek az átkelők már évtizedekkel ezelőtt kiépültek, akadálymentesítésük csak részben megoldott. Taktilis jelzések 6 helyszínen, akusztikus jelzők 3 helyszínen voltak kihelyezve, tapintható térkép pedig egy helyszínen sem volt kihelyezve.

A közbenső **szigetek** hossz méretei 5 átkelőnél teljesen megfeleltek, 4 átkelőnél csak részben, 3 átkelőnél egyáltalán nem feleltek meg a hatályos előírásoknak. A szigetek méretei közelítően lettek meghatározva.

## 6. Forgalmbiztonság, baleseti adatok

### 6.1 Gyalogosok balesetei hazánkban

A személyi sérüléses közúti **baleseti adatok** azt mutatják, hogy a gyalogosbalesetek<sup>7</sup> aránya az összes balesethez képest jelentős. A 3. ábrán az látható, hogyan

<sup>7</sup> A-3 GYALOGOSOK ELÜTÉSE balesetekbe (1000 kódszám) soroljuk azokat a baleseteket, amikor a baleset létrejöttében a gyalogosnak valamilyen szerepe

volt, függetlenül attól, hogy a gyalogos a baleset első vagy későbbi szakaszában lett a baleset sérültje. Ide tartozik, amikor a jármű vagy annak rakománya, vagy a jármű által mozgásba hozott tárgy gyalogosnak ütközik, függetlenül a



5. Ábra. A vizsgálat alatt felvett konfliktus kialakulása a Lechner Ödön fasor/Soroksári út – Vágóhíd utca kereszteződésében vizsgált átkelőnél

alakul a személysérüléssel balesetben meghaltak számához viszonyítva az elhunyt gyalogosok száma. Az áldozatok negyede gyalogos, bár a gyalogosbalesetek 92%-a lakott területen történik, a gyalogos áldozatok 40%-a lakott területen kívül vesztí életét.

A gyalogosbalesetek megoszlása különböző közlekedési létesítményeken belül is jelentősen eltér. Korábban, 2009-ben készült már tanulmány ezek megoszlásáról 2008-as adatok figyelembevételével (Bérces et al, 2009). A Központi Statisztikai Hivatal korábban említett adatai alapján 2008-ban 19 174 közúti baleset történt. Ebből 3 267 esetben történt gyalogos elütése, mely az esetek 17,0%-át jelenti, tehát nem kismértékű. A tanulmányból – melyet gyalogosok kikérdezésével is kiegészítettek – kiderül, hogy a válaszadók 65% a szerint van elsőbbsége gyalogusként kijelölt gyalogos-átkelőhelyen. A megkérdezettek csak 20-20% a szerint van elsőbbsége kanyarodó autóssal szemben, valamint jelzőlámpás szabályozású gyalogos-átkelőhelyen gyalogusként. A 4 leggyakrabban előforduló balesettípusból **2 kijelölt gyalogos-átkelőhelyhez** kapcsolódik. A bekövetkezett 4 leggyakoribb gyalogosbaleset típusait a következő ábrák (4. ábra) szemléltetik (Igazvölgyi, 2013).

## 6.2 Személysérüléssel balesetek alakulása a 12 vizsgálati helyszínen

Csak a gyalogosokat érintő személysérüléssel baleseteket a vizsgált helyszínekre a BKK kollégái adták meg (2.

táblázat). A Megyeri út – Íves utca csomópontjában, ahol a gyalogosok 100%-a a nyomógomb megnyomása nélkül szabálytalanul kelt át, a Megyeri úti átkelőn egyetlen gyalogoselütés sem következett be. A legtöbb, összesen 3 személysérüléssel gyalogosbaleset a Hungária körút – Mogoródi út (3/1) és a Váci út – Forgács utca (4/1) kereszteződésében történt. A mérések alapján ez a 3 legforgalmasabb kereszteződés (főirány) közül kettő (lásd 1. táblázat). A személysérüléssel balesetek a forgalomnagysággal arányosak. Mivel nem tudjuk a balesetek pontos helyét, csak azt, hogy 1007-es típusú (ez a leggyakoribb a vizsgált helyszíneken, lásd 4/c). ábra), ezért nem tudjuk megmondani, hogy egyenesen haladó vagy kanyarodó jármű ütötte el a gyalogost. A vizsgált helyszíneken 5 év alatt (2011–2015) összesen 17 személysérüléssel gyalogosbaleset történt.

## 6.3 Megfigyelt konfliktusok

A forgalmi konfliktus olyan megfigyelhető forgalmi helyzet, ahol baleset veszélye áll fenn, amennyiben a közlekedők mozgásukat változtatás nélkül folytatják. A baleset elkerülése érdekében mozgásuk sebességének vagy irányának megváltoztatására, fékezésre vagy kitérésre van szükség. Több konfliktus nem feltétlen jelent több balesetet is. A lehetséges konfliktusok (enyhe és súlyos konfliktusok) után következnek a balesetek, amelyben ugyancsak 4 kategóriát különböztetünk meg (halálos, súlyos vagy könnyű sérüléssel, illetve csak

gyalogos közötti helyzetétől (gyalogjárda, villamosmegálló, kert stb.). Nem tartozik ide az olyan esemény, amikor a gyalogos öngyilkossági szándékból lép a mozgó jármű elé, s rajta kívül más nem sérül meg. Amennyiben az „öngyilkos”

gyalogoson kívül az esemény más résztvevője is megsérül, akkor az eseményt balesetként kell kezelni, de az „öngyilkos” az áldozatok között nem kell feltüntetni, csak okozóként (forrás: KSH, baleseti adatlap, útmutató).

**2. Táblázat.** A vizsgált gyalogos átkelőhelyek legfontosabb paraméterei

Azonosító (csoport / helyszín)	Periódusidő (s)	Gyalogos-zöldidő (rész- szenként – nyugat vagy észak/közép/kelet vagy dél) – (s)			Gyalogos-átkelőhely hossza (részenként) – gyalogosszigetet is magában foglalja – (m)			Keresztezett sávok száma (V – villamossín)			Szabálytalan átkelések aránya rész- ként bontva [%] (szabálytalanul átkelő és az összes át- kelő száma a vizsgált részen)			Gyalogosokat ke- resztező járművek száma	Gyalogosok száma				
1/1	75	66			12,50 [5,00] <sup>8</sup>			2 (1)			28 [9/32]			122	32				
1/2	90	56			11,00 [4,00] <sup>1</sup>			3 (1)			9 [6/69]			407	69				
2/1	90	23			29,00			4 + 2V			17 [35/158 + 13/139]			1522	168				
2/2	75	13			18,00			4			100 [95/95]			226	95				
3/1	90	9	9	9	9,70	19,8	3	4 + 2V	12 [2/17]			0			1522	19			
3/2	90	11	11	11	8,00	5,70	3	2	4,5 [11/250]			6 [16/250]			821	250			
4/1	90	22	22	22	12,50	11,50	4	3	3 [8/241]			30 [67/227]			1991	241			
4/2	90	15	15	15	14,60	10,40	2 + V	2 + V	12 [66/545]			6,5 [44/215]			1339	566			
5/1	90	19/18	19/18	19/18	12,10	7,80	4	2	3 [3/92]			6,5 [6/92]			886	92			
5/2	90	16/11	16/11	16/11	9,90	9,30	3	3	2,5 [13/515]			1,5 [8/515]			1405	515			
6/1	90	15–53	15–53	5–55	7,90	10,00	19,80	1 + 1	2V	3 + 3	38 [94/248]			34 [112/326]			10 [17/170]	1277	320
6/2	60	17	17	15	6,00	5,00	5,50	2	2V	2	43 [32/74]			69 [61/88]			33 [33/101]	459	156
												<b>ÖSSZESEN</b>			<b>11977</b>	<b>2523</b>			

anyagi káros) (Hyden, 1987). Egy példa a Lechner Ödön fasor/Soroksári út – Vágóhid utca kereszteződésénél végzett konfliktusvizsgálat eredményéből. A tilos jelzésnél várakozó, zöld nyíllal jelölt gyalogos szabályosan lépett az átkelőre. A kék nyíllal jelzett jármű balra kanyarodást végzett szintén szabályosan, zöld jelzésen. A gyalogos már a jelzőt figyelte, hogy mikor indulhat, előtte – a videófelvétel alapján – nem nézett körbe, csak a jelzést figyelte.

A járművezető nem lassított, amikor a gyalogos megkezdte az átkelést. A gyalogos előtt körülbelül 40 cm-rel sikerült az autósnek megállnia, a gyalogos lefele nézve haladt át a gyalogos-átkelőhelyen. Intenzív fékezés után a végkimenetel látható az 5. ábra jobb oldali képkockáján.

Az esetből súlyos konfliktus lett, amely azt mutatja, hogy a szabályok betartása, az éppen aktuális forgalmi rend értelmezhetősége mindkét résztvevő számára mennyire fontos. Ebben a csomópontban azonos időben

kap zöld jelzést a gyalogos és a kanyarodó jármű, így erről a jármű-gyalogos konfliktusról elmondható, hogy be van építve a szabályozásba. A csomópont nagyon összetett, hiszen valójában 2 csomópontot foglal magába, a Soroksári út – Vágóhid utca, illetve a Lechner Ödön – Vágóhid utca keresztezését. A következő fejezetben lévő 2. táblázatban látható, hogy a Soroksári úti átkelő szakaszon a legkisebb a szabálytalan átkelések aránya (10%), a Lechner Ödön útinál pedig a legnagyobb (38%).

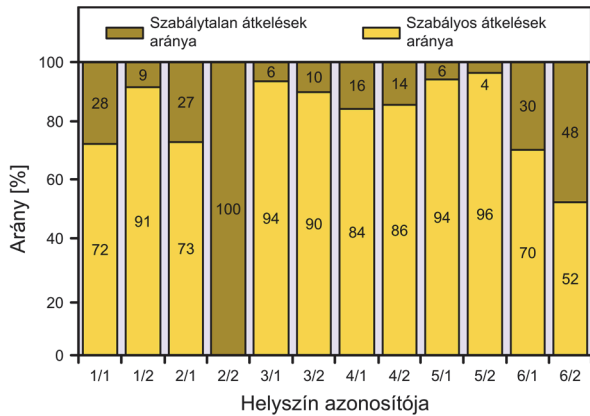
## 7. Viselkedések vizsgálata a kijelölt gyalogos-átkelőhelyeknél

### 7.1 Vizsgált helyszínek, tapasztalatok

Az alábbi 6. ábra mutatja a vizsgált helyszíneken a szabályosan és szabálytalanul átkelő<sup>9</sup> arányát. Ezek alapján az 5. csoport átkelőhelyei, az újdonságnak számító jelzésrendszerrel rendelkező Bajcsy Zsilinszky úti

<sup>8</sup> A gyalogos-átkelőhely hossza a jelzőlámpával szabályozott részt tartalmazza, zárójelben van a jelzőlámpával nem szabályozott átkelő hossza, a gyalogos-védősíziget szélességét nem tartalmazza.

<sup>9</sup> Szabálytalan átkelések: A vizsgált periódusban az átmeneti – villogó zöld – és tilos jelzésen áthaladt gyalogosok száma, tehát akik nem a szabad jelzés alatt érkeztek és léptek le.



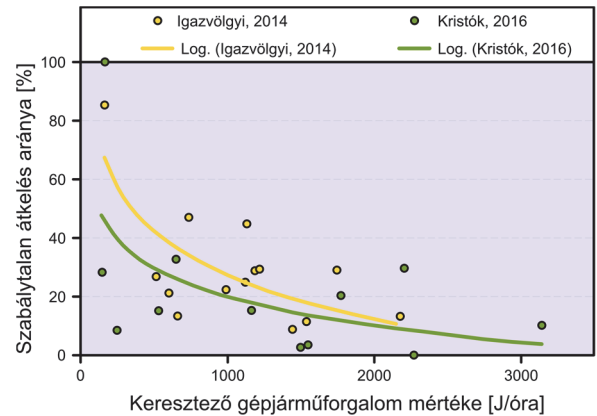
6. Ábra. Gyalogos-átkelőhelyeken az átkelések szabályosságának aránya

(5/1) és Szabad sajtó úti (5/2) gyalogos-átkelőhelyek bizonyultak a „legszabályosabban használt” átkelőnek. A Megyeri út – Íves út kereszteződésében a Megyeri utat (főutat) keresztező átkelőn (3/1) mindenki szabálytalanul közlekedett, illetve emellett a 6. csoport átkelőhelyei, a 3 részes Soroksári úti (6/1) és Erzsébet körüti (6/2) átkelőn is magas a szabálytalan átkelések aránya.

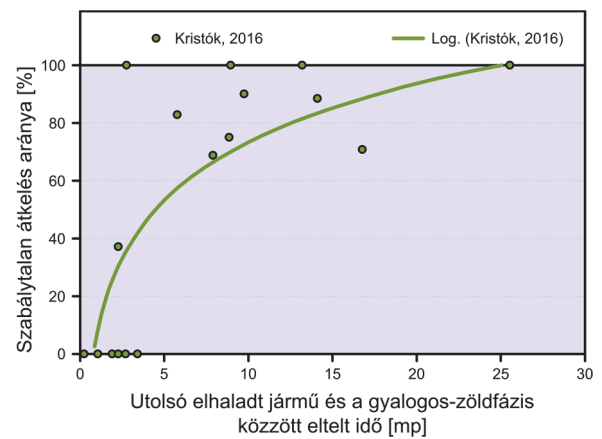
A szabálytalan átkelések számát és arányát tovább bontva gyalogátkelőhely részekre és sárga háttérrel kiemelve a villamosvágányokon való átkeléseket a 3. táblázat mutatja. Ebben a táblázatban látható, hogy a kettő illetve három részre osztott gyalogos-átkelőhelyek esetén van-e különbség a gyalogátkelőhely részeken való áthaladások között, vannak-e sok szabálytalan átkelésre rendelkező részek. Kék háttérrel jelöltük azokat az átkelési szakaszokat, ahol 30 százaléknál magasabb („sok” alsó határa) a szabálytalan átkelő aránya.

A gyalogos-átkelőhely hossza, a forgalmi sávok száma függvényében nem mutatható ki összefüggés a szabálytalan gyalogos átkelésekkel. Feltételeztük, hogy a szélesebb, több forgalmi sávú útszakasz keresztezése esetén lecsökkennek a szabálytalan gyalogos átkelések, de a mérések alapján ez nem volt igazolható.

A 7. ábra a 15 periódus alatt elhaladt járműforgalomhoz viszonyítva mutatja be a szabálytalan átkelések



7. Ábra. Szabálytalan átkelések aránya az óránkénti járműforgalom függvényében

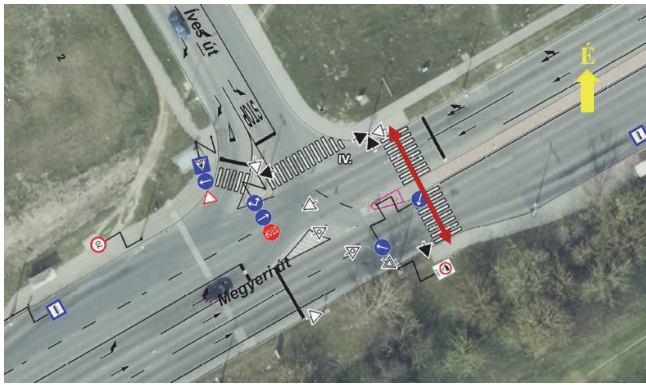


8. Ábra. Szabálytalan átkelések aránya az utolsó elhaladt jármű és a gyalogos-zöldfázis kezdete átkelések aránya az óránkénti járműforgalom függvényében

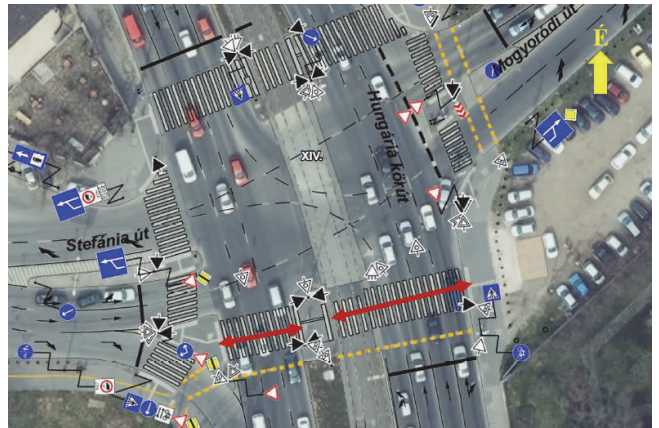
arányát. A kiugró adatokat szintén kivéve a gyalogosok a 40 jármű/perc (2400 J/ó) forgalom alatt keresztezik nagyobb arányban szabálytalanul az átkelőket. A lineáris összefüggés csupán közelítés.

A 8. ábrán az utolsó elhaladt jármű és a következő gyalogos-zöldfázis között eltelt idő függvényében látható az ebben az időszakban történt szabálytalan átkelések aránya az összes szabálytalan átkeléshez viszonyítva<sup>10</sup>. Ebből látható, hogy minél nagyobb ezen idő, a szabálytalan átkelések annál nagyobb százaléka történik ebben a szakaszban. Fontos megemlíteni, hogy ezt befolyásolja a járműforgalom eloszlása is.

<sup>10</sup> Ebben az esetben csak a tilos jelzés „végén” áthaladókat értjük szabálytalan gyalogosok alatt.



9. Ábra. Megyeri út – Íves út (főirányt keresztező) kijelölt nyomógombos gyalogos-átkelőhelye (2/2)



10. Ábra. Hungária körút – Mogoródi út kereszteződése (fő irány keresztezése)



11. Ábra. Margit híd – Margitsziget bejáró előtt a középszígen kialakuló tömeg gyalogos-zöldfázis kimaradása esetén

## 8. Következtetések

A vizsgált helyszíneken a jelzéseket a gyalogosok többnyire jól értelmezik. A nyomógomb használata azonban sok esetben elmarad. Az eltérő jelzéseképek és ellentétes irányú gyalogosok forgalma csak kismértékben befolyásolják az adott irányba áthaladni kívánó gyalogosokat.

Az átkelőhelyeken jellemző a „csoportban közlekedés”. Egy szabálytalan átkelő magával „rántja” a többi, adott esetben a zöld jelzést megvárni szándékozó gyalogost.

A helyszíni mérések eredményei szerint a járműszám, a tagoltság mértéke erősebb összefüggést mutat a szabálykövetéssel/szabálytalan áthaladással, mint az eltérő jelzéseképek, az ellentétes irányból érkező gyalogosok vagy a tömegközlekedés jelenléte.

A nem megfelelő beláthatóság, a gyalogos-jármű keresztezés szöge befolyásolhatja a konfliktus kimenetelét. A gyalogosok konfliktushelyzet esetén kijelölt gyalogos-átkelőhelyen csak kisebb mértékben bizonytalanodnak el elsőbbségükben (jelzőlámpás szabályozás a „védetség” illúzióját is adja, adhatja).

Csökkennek gyalogosok szabálytalan átkelése a 40 jármű/perc (2400 J/ó) feletti járműforgalom esetén.

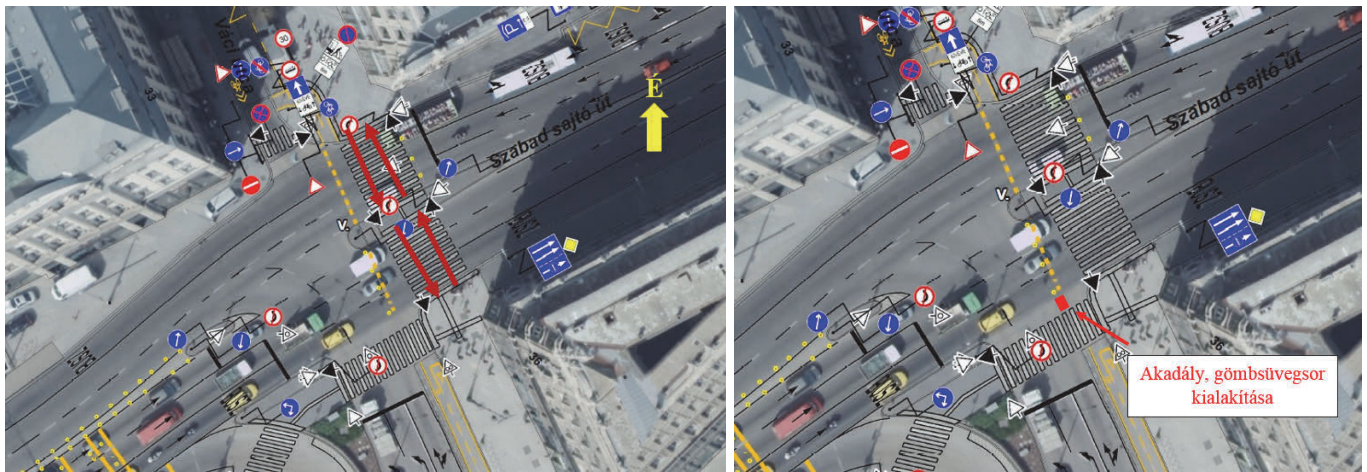
A gyalogosok átkelése és így a várakozási idők alakulása függ a járműfolyam eloszlásától. A járműforgalom eloszlásától a szabálytalan átkelések periódusbeli eloszlása is függ.

A vizsgált 12 helyszín eredményei alapján általános érvényű megállapításokat nem lehet tenni.

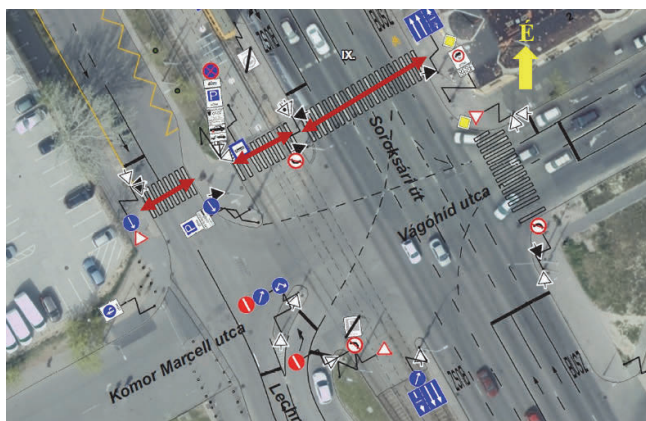
## 9. Összefoglalás, konkrét javaslatok

A helyszíni megfigyelések, vizsgálati eredmények alapján azonban néhány konkrét javaslatot tudunk tenni a kiválasztott 5 gyalogos-átkelőhelyre. A diplomamunka mind a 12 gyalogos-átkelőhelyre javaslatot fogalmazott meg. 9.1. Megyeri út – Íves út (főirányt keresztező) (azonosító: 2/2)

A Megyeri utat keresztező nyomógombos átkelőnél (10. ábra) a nyomógombot a vizsgált időszak alatt egyetlen egyszer sem nyomták meg a gyalogosok. Céljuk eléréséhez nem a járdán, hanem már kitaposott járóvonalakon közlekedtek a füves területen keresztül, mert ez közel



12. Ábra. Szabad sajtó – Váci utca kereszteződése, a javasolt átalakítás



13. Ábra. Lechner Ödön fasor/Soroksári út – Vágóhid utca kereszteződése (főirány keresztezése)

30%-kal rövidebb útvonalat eredményez. A vizsgált átkelőnél a kiemelt szegélyek süllyesztve vannak, azonban nem minden esetben az előírt 2 cm-re. A középsziget szélessége körülbelül 2,00 m, ami megfelelő szélesség a gyalogosok számára, azonban hiányzik a szegély, emiatt nincs megfelelően kialakítva.

Ezen a helyszínen felülvizsgálandó, hogy jelzőtáblás szabályozással megfelelően működne-e a kereszteződés. Amennyiben jelzőlámpás szabályozású marad, javasolt a nyomógomb feletti tájékoztató táblák cseréje, mivel azoknak a jelzései nem láthatók. Ez mind a járművek, mind a gyalogosok szempontjából kedvező.

#### 9.2. Hungária körút – Mogyoródi út (azonosító: 3/1)

A nyugati oldali útszél felől a keleti felé indulók zöld jelzését úgy tervezték, hogy a gyalogosok szabályosan

átmehessenek. A keleti oldali útszélről a nyugatira indulók csak sebességüket jelentősen növelve, futva érnek át, egyébként a középszigeten „ragadnak” a következő gyalogos-zöldfázisig, ha szabályosan akarnak átkelni. A középsziget körülbelül 5,50 méter széles, amely elegendő még a felvételek során látott nagyobb gyalogoscsoportosulásokat is. Mind a gyalogosok, mind a kerékpárosok átvezetése megfelelő.

A keleti oldali útszél felől érkező gyalogosok középszigeten ragadásának megoldására további vizsgálat mellett javasolható az újdonságnak számító ellentétes jelzéseképet használó, azaz eltolt gyalogos-zöldfázissal működő, gyalogos-zöldhullámot biztosító jelzésrendszer kiépítése (lásd 5. csoport). Ekkor a gyalogosok nem maradnának a középszigeten.

#### 9.3. Margit híd – Margitsziget bejáró (azonosító: 4/2)

A kétrészes gyalogos-átkelőhely nagyon nagy gyalogosforgalmat bonyolít. A várakozásra alkalmas középsziget gyakran nem tudja megfelelően kiszolgálni a gyalogosokat, így a villamosperonok irányába állnak sorba az átkelni szándékozók. Több esetben látható volt gyalogos vagy gyalogosok elindulása az egyik villamosperonhoz, majd visszaindulásuk a másik peronhoz, amiből arra lehet következtetni, hogy nem tudják, melyik villamos merre megy. A villamos haladási irányát az átkelőhely végén még nem tudják eldönteni. A középszigetet ezek a plusz, átkelés nélküli gyalogosmozgások csak még job-



ban terhelik. A déli oldali átkelő részénél volt eset, amikor bejelentkezési időben két periódusban is elmaradt a zöldfázis, mert a gyalogosok nem veszik észre a nyomógombot, valamint, ha észre is veszik, azt hiszik, azt megnyomta már más előttük, és nem nyomják meg. A nyomógomb bejelentkezést megerősítő visszajelzése ugyanis alig látható. Az ekkor kialakult tömeget mutatja be az alábbi 11. ábra. A középsziget szélessége körülbelül 2,50 m, az eltolt kialakítás esetén a minimális előírás 3,00 m, így nem felel meg az előírásnak. Ahogy a 12. ábra mutatja, a gyalogosok számának sem felel meg időszakosan. Az eltolt kialakítást magába foglaló labirintkorlátokat a tömegközlekedési eszközökhöz tartozó peronok miatt nem teljes mértékben alakították ki.

A nyomógombos bejelentkezés menetét leíró tábla több esetben nem hívta fel megfelelően a figyelmet arra, hogyan lehet átkelni, emiatt a gyalogosok csak álltak, várakoztak, nem keltek át. A vizsgálatok azt mutatják, hogy ezen a helyszínen alacsony a szabálytalan átkelések aránya (1. és 2. táblázat).

A nagy gyalogosforgalom miatt a középsziget szélesítésére lenne szükség, hogy a labirintkorlátok között minimum 2,00 m távolság legyen. Mivel ez a geometriai adottságok, kötöttségek miatt nem lehetséges, a gyalogosok zöldjelzését kell növelni a gyalogossűrűség csökkentése érdekében. A nyomógombbal való bejelentkezés megfelelően működik, azonban észlelhetősége, a használatára való figyelmeztetés nem megfelelő. Tájékoztató táblájának felújítása, cseréje és a turistaforgalom miatti látványos kiemelése javasolt. Emellett – a korábban említett főleg közép-sziget-használatot megelőzendő – javasolt a villamos haladási irányát jelző táblák elhelyezése az átkelőhelyrészek fölé, a középszigeten található oszlopokra.

#### 9.4. Szabad sajtó út – Váci utca (azonosító: 5/2)

Jellemző módon a járművek nem veszik figyelembe, hogy át tudnak-e haladni a kereszteződésen anélkül, hogy a gyalogos-átkelőhelyen maradnának a feltorlódó

járműforgalom miatt<sup>11</sup>. A hivatkozott KRESZ magatartási szabályt ennél az átkelőnél nem – de több esetben máshol sem – tartják be a járművezetők. Ezért fokozott figyelemmel kell eljárni az átkelésnél, hiszen egy beragadt jármű elindulhat, annak ellenére, hogy a gyalogosok már megkezdték átkelésüket. A kellően széles 6,00 méteres átkelőn a gyalogosok a kijelölt területen kelnek át. Ritka, ekkora gyalogosforgalom mellett elenyésző azoknak a száma, akik letérnek a kijelölt átkelőről. A kerékpáros-átvezetés érdekessége, hogy a Váci utcában lévő kerékpársávra vezeti a kerékpárost. A Váci utcából a Szabad sajtó útra, jobbra kanyarodók kivétel nélkül a kerékpáros-átkelőn felállva várják a gyalogosok elhaladását, a kerékpáros-forgalmat jelentősen akadályozva.

A középsziget 2,50 m széles, az előírásnak megfelelő. A különleges szabályozásnak köszönhetően itt sem kell számítani a középszigeten ragadó, várakozó gyalogosokkal. A vizsgálat során két periódusban várakoztak itt gyalogosok, ezek kivétel nélkül szabálytalanul keltek át. Javasolt a Váci utcán lévő, jelenleg egyenes-jobbos sáv átalakítása csak jobbos sávra, ezzel egyidejűleg a jelenleg csak balos sáv átalakítása egyenes-balos sávra. Ezzel részben megoldódna a jobbra kanyarodóknak egyeneseket feltartó hatása. A Váci útról a Szabad sajtó útra, jobbra kanyarodók szinte kivétel nélkül ráhajtanak a kerékpáros-átvezetésre. Ez is részben megoldódna a csak jobbra kanyarodó sáv kialakításával, de javasolható fizikai akadály, esetleg gömbsüvegsor építése. Amennyiben ez nem megoldható, akkor az északi oldal gyalogosjelzőinek hamarabb kellene zöldet adniuk a déli oldali konfliktusok csökkentése érdekében, mivel ez esetben hamarabb érkeznének meg a konfliktuszónába. A Váci utcából a Szabad sajtó útra, jobbra kanyarodók zöldidejét később is el lehet indítani. Ezzel a gyalogosok és kerékpárosok átvezetése is konfliktusmentesebbé válna.

<sup>11</sup> „9. § A járműforgalom irányítására szolgáló fényjelző készülékek (7) Zöld fényjelzésnél sem szabad az útkereszteződésbe behajtani, ha azt - forgalmi torlódás miatt - a zöld fényjelzés tartama alatt előreláthatólag nem lehet elhagyni.” (4)

9.5. Lechner Ödön fasor/Soroksári út – Vágóhíd utca (azonosító: 6/1)

A háromrészes átkelő sajátossága, hogy a középső szakasz merőlegesen csatlakozik a villamosperonhoz, a gyalogosok számára bizonytalan helyzet adódik a várakozásuk helyéről, a gyalogosjelzőt figyelmen kívül hagyva azonnal megkezdik az átkelést. Csak a villamos áthaladása kivétel. A Lechner Ödön fasor járműforgalma elenyésző, ezért itt a gyalogosok a periódus bármely szakaszában szinte azonnal átkelnek. Nagyobb várakozási idők csak akkor adódnak, amikor egyszerre a Lechner Ödön fasor túloldaláról – a kereszteződés túloldaláról, a Vágóhíd utca felől – több jármű érkezik.

A szegélyek 2 cm-es kiemelkedése megfelelően ki van alakítva mindhárom átkelő részen. A középső, villamosperont érintő részen a peronról lelépők azonnal a gyalogosátkelőhelyen találják magukat. Itt a peron meghosszabbítását követő középsziget teljes mértékben hiányzik. A középsziget a nyugati oldalon körülbelül 6,50 m széles, míg a keleti oldali középsziget körülbelül 1,50 m széles. A keleti oldali középsziget szélessége nem felel meg az előírásoknak, a középső részen a középsziget hiányzik.

A Soroksári útról a Lechner Ödön fasorra történő visszakanyarodást javasolt tiltani. A nyugati oldali „szabálytalan”<sup>12</sup> átkelők ellen a Komor Marcell utcai oldalon hajlított csőkorlát létesítése javasolt.

A középső átkelő részen a gyalogosoknak nem lenne szabad közvetlenül a peronról a kijelölt átkelőre érkezniük, így megfelelő szegélyekkel ellátott középsziget kialakítása kifejezetten javasolt. Megfontolandó a „Gyalogosátkelőhely” jelzőtábla kihelyezése a fázisprogramba épített egyidejű jármű- és gyalogosmozgásokra való figyelemfelhívás érdekében.

A vizsgálatok kapcsán számos általános probléma vált láthatóvá. Fontos kutatási terület a kanyarodó járműmozgások és gyalogoskonfliktusok kérdése különféle geometriai és forgalomtechnikai kialakítások esetén. A

„Gyalogosátkelőhely” jelzőtábla célszerű és meghatározott szabályozáshoz (járművek és gyalogosok azonos időben áthaladása) kapcsolt alkalmazásának kutatása is fontos terület. További kutatás során javasolnánk a gyalogosátkelőhely szélességi méretének számítására vonatkozó képlet felülvizsgálatát, valamint az átkelőhelyek várakozási területeinek számítására vonatkozó képletek és a szolgáltatási szintek felülvizsgálatát, pontosítását. Fontos lenne, hogy a járművek mellett a gyalogosok igényeit is szem előtt tartsák. A gyalogosátkelőhelyeknél alkalmazott zöldidőket a gyalogosok számára, igényeinek figyelembevételével határozzák meg.

## 10. Köszönetnyilvánítás

A jelen cikkben bemutatott vizsgálatok és annak részletei Kristók András diplomamunkájában olvashatók, amelyet a BME Építőmérnöki Kar Út- és Vasútépítési Tanszéken készített. Külön köszönet Válóczy Dénesnek, a BKK Zrt. közlekedési biztonsági munkatársának, valamint Kristók Jánosnak, a Budapest Közút Zrt. alkalmazottjának, Kristók András édesapjának.

## 11. Felhasznált irodalom

**e-ÚT 03.03.31.:** 2009 október - A jelzőlámpás forgalomirányítás tervezése, telepítése és üzemeltetése

**e-ÚT 03.07.23.:** 2009 június - A gyalogosközlekedés közforgalmi létesítményeinek tervezése (A KTSZ kiegészítése)

**e-ÚT 03.05.12.:** 2009 augusztus - Akadálymentes közúti létesítmények

**20/1984. (XII. 21.) KM** rendelet - Az utak forgalomszabályozásáról és a közúti jelzések elhelyezéséről [http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=98400020.KMB](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=98400020.KMB)

**1/1975. (II. 5.) KPM-BM** együttes rendelet - A közúti közlekedés szabályairól

<sup>12</sup> „Szabálytalan” átkelés ebben az esetben a cikkben használt általános definícióban foglalt lehetőségek közül a nem a kijelölt gyalogosátkelőhelyen, hanem mellette vagy távolabbi nyomvonalon való haladás.

[http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=97500001.KPM](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=97500001.KPM)

**Központi Statisztikai Hivatal (KSH)** - Idősoros éves adatok-baleset

[http://www.ksh.hu/stadat\\_eves\\_2\\_4](http://www.ksh.hu/stadat_eves_2_4)

**Bérces Á., Juhász J., Pulay K.** (2009): A gyalogos közlekedési szokásainak vizsgálata, Városi közlekedés 6. szám

**83/2004. (VI. 4.) GKM** rendelet - A közúti jelzőtáblák megtervezésének, alkalmazásának és elhelyezésének követelményeiről VI. fejezet - Különleges szabályokat jelző táblák (E) [http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=A0400083.GKM](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0400083.GKM)

**11/2001. (III. 13.) KöViM** rendelet - A Közúti Útburkolati Jelek Szabályzata (ÚBJSZ) - Általános előírások [http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy\\_doc.cgi?docid=A0100011.KOV](http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0100011.KOV)

**Igazvölgyi Zs.** (2014): Pedestrians Jaywalking at Traffic Light Controlled Crossings in Budapest MA-GYAR ÉPÍTŐIPAR 64:(1) pp. 29–33.

**Igazvölgyi Zs.** (2013): Hazai gyalogosbaleset típusok elemzése és összehasonlítása korábbi vizsgálatokkal Útügyi Lapok: a közlekedéscsökkentési szakterület mérnöki és tudományos folyóirata 2:(2) Paper 3.

**Hydén, C.** (1987): The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts

Technique. Bulletin 70. Institute för Trafikteknik, LTH, Lund

**Baltes, M. R., Xuehao Chu & Guttenplan, M.** (2004): Why People Cross Where They Do: The Role of Street Environment. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007 January.pp. 3–10, DOI: 10.3141/1878-01.

**Bérces Á., Dr. Juhász J., Pulay K.** (2009): A gyalogosok közlekedési szokásainak vizsgálata, Városi közlekedés, volume 6. Pp. 319–32

**KSH**, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012. Központi Statisztikai Hivatal Közlekedési balesetek évkönyv, Budapest

**Hatfield, J, Murphy S.** (2007): 'The effects of mobile phone use on pedestrian crossing behaviour at signalised and unsignalised intersection' 2007 Accident Analysis and Prevention 39, pp. 197-205 Sydney DOI:10.1016/j.aap.2007.04.005

**Kristók A.** (2016): Budapesti helyszíneken kijelölt gyalogos-átkelőhelyek forgalomtechnikai kialakításának, jelzőlámpás szabályozásának és közlekedési gyakorlatnak vizsgálata. MSc-diplomamunka. BME Építőmérnöki kar

Csomópontok és útvonalak balesetveszélyességi értékelési módszertanának kidolgozása, Közúti baleseti góchelyek azonosítása **MAUT útmutató** (2005)

---

# Changes in road traffic and forecast possibilities

**Abstract:** We recommend to our readers' attention the thesis of András Kristók, made in 2016, titled „The examination of traffic engineering design, signalised regulation and traffic practice of appointed pedestrian crossings in Budapest”. The main focus of the thesis were signalised pedestrian crossings, assessing the design, signalisation and practical operation of such crossings. As different traveller groups have different qualities, their behaviour can be different as well, and pedestrians can show different behaviours at different pedestrian crossings types. In this thesis, six differently designed pedestrian crossing groups have been analysed. The current conditions of these pedestrian crossings influence the behaviour of the pedestrians and drivers as well. To examine current movement patterns, main and side viewpoints have been set up and video recordings have been analysed. All twelve venues have been examined. Using the measurements, evaluations and comparisons, proposals are presented in conform with the technical specifications, which can help increase the safety of these pedestrian crossings. The paper summarises the results of these analyses and of previous measurements and presents solutions for five selected pedestrian crossings.

**Keywords:** pedestrian, signalized pedestrian crossing, jaywalking, traffic safety

## Hóz Erzsébet

Okl. közlekedésmérnök, mérnök-közgazdász, Közlekedéstudományi Intézet tudományos főmunkatársa.

e-mail: hoz.erszebet@kti.hu

## Dr. Igazvölgyi Zsuzsanna

Okl. építőmérnök, a BME Út és Vasútépítési Tanszék adjunktusa.

e-mail: igazvolgyi@uvt.bme.hu

## Kristók András

Okl. építőmérnök, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Karán, mesterképzésen, Infrastruktúra-építőmérnök végzettséget szerzett 2017-ben. Jelenleg a Főmterv Zrt.-nél dolgozik. Kutatási és tervezési területe a forgalomtechnika és az úttervezés.

e-mail: kandris90@gmail.com



# Q-tényező alkalmazása sziklarézsűk állékonyságvizsgálatánál

Bögöly Gyula, Vásárhelyi Balázs

**Kivonat:** A jelenleg kivitelezés előtt álló főutak tervezésénél és kivitelezésénél egyes szakaszok esetén sziklarézsű-állékonysági problémákra kell számítani. A több tíz méteres szikla-bevágások optimális megépíthetőségéhez kőzetmechanikai megfontolásokra, modellezésre van szükség. A hazai gyakorlatban a kisszámú ilyen irányú munkák miatt nem áll rendelkezésünkre kellő tapasztalat, ezért fontos, hogy a nemzetközi szakirodalom alapján tegyük meg az első lépéseket, melyeket majd a helyi viszonyok alapján kell továbbfejleszteni, aktualizálni.

Jelen cikk célja az alagútépítésben bevezetett Q-módszer alkalmazhatóságának ismertetése a legújabb szakirodalmi ismeretek alapján. A Q-módszer az egyik leggyakrabban alkalmazott kőzettest-minősítő eljárás, amelyet az építőmérnökök alagutak, üregek, bányajáratok fejtési módjának és megtámasztásának meghatározására, illetve fúrómagok és kőzetfelületek jellemzésére használnak. Az elmúlt évtizedben igény mutatkozott az eljárás más területeken való alkalmazására is, ezért a módszer egy módosított változata is kidolgozásra került. A  $Q_{slope}$ -módszer célja, hogy lehetővé tegye a mérnökök számára a fejtett sziklarézsűk stabilitásának gyors kiértékelését akár a helyszínen is, így a fejtés közben láthatóvá váló kőzettestek állapotának megfelelően optimalizálható a rézsűk dőlésszöge.

**Kulcsszavak:** Q-módszer, sziklarézsű, útbevágás, állékonyságvizsgálat, rézsűmeredekség

## 1. Bevezetés

A Q-tényezőt eredetileg alagútépítéshez fejlesztették ki, felhasználva a Norvég Geotechnikai Intézet nagyszámú alagútépítési tapasztalatait. A módszert Barton et al. (1974) munkája mutatja be. Az értékelés a kőzettestre ható feszültségi jellemzők jelzőszámait veszi figyelembe. Kidolgozása óta számos alagútépítésnél használták, mára már az egyik legfontosabb kőzettest-minősítő eljárás. A közelmúltban ezzel a módszerrel történt a Bábaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló tervezése és kivitelezése is.

A szakmában igény mutatkozott a módszernek útbevágások, külszíni bányák, és egyéb sziklarézsűk állékonyságának számítására való megalkotására is. Barton & Bar (2015) ezért kidolgozta a  $Q_{slope}$ -módszert, melynek gyakorlati tesztelése még folyamatban van. A  $Q_{slope}$ -módszer megerősítés nélküli közúti vagy vasúti bevágásoknak, vagy külszíni bányák egyéni rézsűinek építés

**1. Táblázat.** A tagoltsági rendszerek mérőszámának meghatározása (Barton & Bar, 2015)

Tagoltsági rendszerek száma	$J_n$
Masszív tagolatlan kőzet, esetleg néhány tagoltsággal	0,5-1
Egy tagoltsági rendszer	2
Egy tagoltsági rendszer véletlen egyedi tagoltságokkal	3
Két tagoltsági rendszer	4
Két tagoltsági rendszer véletlen egyedi tagoltságokkal	6
Három tagoltsági rendszer	9
Három tagoltsági rendszer véletlen egyedi tagoltságokkal	12
Négy vagy több tagoltsági rendszer sok véletlenszerű egyedi tagoltsággal	15
Töredezett vagy talajszerű kőzet	20

közbeni ellenőrzésére szolgál. Nem alkalmazható nagy lejtők, közbenső rézsűlépcsők stabilitásának meghatározására, továbbá nem használható földkiemelés során létesített rézsűkre sem. A  $Q_{slope}$ -módszer kidolgozásának célja egy olyan eljárás megalkotása volt, amely fenntar-

**2. Táblázat.** A repedésérdességi tényező meghatározása (Barton & Bar, 2015)

Repedésérdességi tényező	$J_r$
a) a kőzetfelületek érintkeznek, b) a kőzetfelületek mozgás hatására érintkeznek	
Nem folyamatos tagoltság	4,0
Durva vagy egyenetlen, hullámos felület	3,0
Síma, hullámos felület	2,0
Hullámos csuszamlási tükör	1,5
Durva vagy egyenetlen, sík felület	1,5
Síma, sík felület	1,0
Sík csuszamlási tükör	0,5
c) a kőzetfelületek mozgás hatására sem érintkeznek	
A tagoltság agyaggal kitöltött	1,0
A tagoltság homokos, kavicsos vagy töredezett anyaggal kitöltött	1,0

**Megjegyzés:** Ha a tagoltságok közti átlagos távolság a vizsgált tagoltsági rendszer esetén nagyobb, mint 3 méter,  $J_r$  értéke 1,0-val megnövelhető.

tás és erősítés nélküli állapotra a kőzettest tulajdonságainak függvényében megadja a hosszú távú stabilitás eléréséhez szükséges rézsűmeredekséget. A számítás csupán közelítő jellegű, viszont egyszerűsége és gyorsasága miatt alkalmazható az építés alatti irányítófolyamatokhoz; lehetővé teszi például a fejtés alatt álló sziklarézsűk meredekségének helyszíni szabályozását a felszínre bukkanó kőzettömeg minőségétől függően.

## 2. A módszer bemutatása

A Romana (1985, 1993) munkáiban bemutatott, valamint Magyarországon is sok esetben használt (Vásárhelyi 2003, Gálos & Vásárhelyi 2006) SMR (Slope Mass Rating) értékkel ellentétben a  $Q_{slope}$ -módszer a hatásokat figyelembe vevő jelzőszámokat nem összegzi, hanem a kőzettest szerkezetének, a tagoltságoknak, valamint a feszültségi paramétereknek a jelzőszámainak szorzatát, illetve hányadosát számolja. A  $Q_{slope}$  értéke minimálisan 0,001, maximálisan pedig 1000, azaz elméletileg kb. 300 000 különböző földtani kombinációt képviselhet (Gálos és Vásárhelyi, 2006).

A nyírószilárdsági paraméterek megadása hasonlóképpen történik az alagútépítésnél bemutatott Q-módszerhez, azonban alagutaknál sokkal érzékenyebb a módszer a tagoltság meghatározására és a megnyíltságra. Ezek

**3. Táblázat.** A tagoltsági rendszerek mérőszámának meghatározása (Barton & Bar, 2015)

A tagoltság mállottsági tényezője	$J_a$
a) a kőzetfelületek érintkeznek (nincs agyagkitöltés, legfeljebb bevonat)	
A Összeceméntálódott, kemény, nem lágyuló, impermeábilis kitöltő anyagok (pl.: kvarc, epidot)	0,75
B Változatlan tagoló kőzetfelület, legfeljebb felületbevonattal	1,00
C Enyhén módosult tagoló kőzetfelület, nem lágyuló ásványbevonattal, homokos, agyagásványokat nem tartalmazó kőzettörmelékekkel	2,00
D Homokos- vagy iszaposagyag bevonat, alacsony agyaghányaddal (nem lágyuló)	3,00
E Kis súrlódású vagy lágyuló ásvány/agyag bevonat (pl.: kaolinit, csillámok, klorit, talk, gipsz, grafit, kis mennyiségű duzzadó agyag)	4,00
b) a kőzetfelületek mozgás hatására érintkeznek (vékony [kb. 1-5 mm] agyagkitöltés)	
F Homokos szemcsék, agyagmentes szétmállott kőzettörmelék	4,00
G Erősen túlkonzolidált, nem lágyuló agyagásvány kitöltés	6,00
H Közepesen vagy kissé konzolidált, lágyuló agyagásvány kitöltés	8,00
J Duzzadóagyag kitöltés (pl.: montmorillonit), $J_a$ értéke a duzzadóagyagásvány-tartalomtól és a vízbeszívargás mértékétől függ	8-12
c) a kőzetfelületek mozgás hatására sem érintkeznek (vastag agyag- vagy kőzettörmelék-kitöltés)	
M Agyag- és szétmállottkőzet- vagy kőzettörmelék-zónák/sávok, $J_a$ értéke az agyag minőségétől függ (Lásd. G/H/J)	6/8/8-12
N Homokos- vagy iszaposagyag-zónák, alacsony agyaghányaddal (nem lágyuló)	5,00
O Vastag, folytonos agyagzónák vagy sávok, $J_a$ értéke az agyag minőségétől függ (Lásd. G/H/J)	10/13/13-20

hatása a  $Q_{slope}$ -módszernél kevésbé jelentős, mivel rézsűknél általában nincs (vagy elhanyagolható) a normálfeszültség vagy merevség növekedése a nyírófeszültség kialakulásakor. A  $Q_{slope}$ -érték kiszámítása az alábbi módon történik:

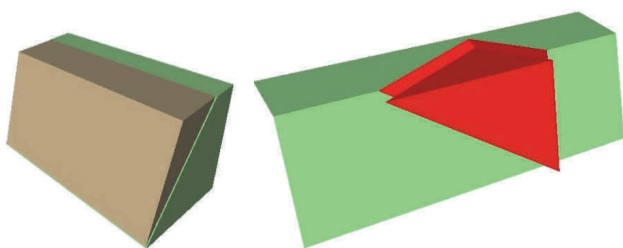
$$Q_{slope} = \frac{RQD}{J_n} \cdot \left( \frac{J_r}{J_a} \right)_0 \cdot \frac{J_{wice}}{SRF_{slope}} \quad (1)$$

ahol az  $RQD$  a kőzettest tagoltságára vonatkozó mérőszám, a  $J_n$  a tagoltsági rendszerek száma,  $J_r$  a repedésérdességi tényező,  $J_a$  a tagoltság mállottsági tényezője,  $J_{wice}$  a környezeti és geológiai állapotot jellemző tényező,  $SRF_{slope}$  a feszültségredukciós tényező. Az (1) összefüggés első hányadosa jellemzi a kőzettest szerkezetének milyenségét, a második tört írja le a tagoltságok állapotát, a harmadik hányados a feszültségi állapotokat reprezentálja.

**4. Táblázat.** A tagoltságok irányától függő tényező (0-tényező) (Barton & Bar, 2015)

A	B	Leírás
2,00	1,5	nagyon kedvező irányú
1,00	1,0	elég kedvező irányú
0,75	0,9	kedvezőtlen
0,50	0,8	nagyon kedvezőtlen
0,25	0,7	megtámasztás nélkül tönkremegy

**Megjegyzés:** Az „A” iránytényező alkalmazandó a rézsű legkedvezőtlenebb tagoltsági rendszere esetén. Ha keletkezhet potenciálisan instabil tagoltságok által kimetsződő ék, a „B” iránytényező is alkalmazandó a második tagoltsági rendszere.



**1. Ábra.** Tagoltságok által kimetszett, potenciálisan instabil kőzetek

Az RQD- (Rock Quality Designation) érték meghatározása megegyezik a Deere (1964) által definiáltakkal, de jelen számításhoz nagyságát elég 5 egészes pontossággal meghatározni. Ez a tényező reprezentálja a kőzettest tagoltságának mértékét. Fúrómagok osztályozásánál százalékban adja meg a 10 centiméternél hosszabb darabok arányát a teljes fúrómaghosszhoz képest. Napjainkban a legtöbb kőzettest osztályozási módszer alapadatként használja. A tagoltsági rendszerek számát ( $J_n$ ) az 1. táblázatban látható módon kell meghatározni. Ezek mennyiségét főként az adott kőzet keletkezése és az azt ért tektonikai hatások befolyásolják.

Sziklarézsűk állékonyságánál a kőzettestben található tagoltságoknak kiemelt szerepük van (1. ábra), mivel a tagoltságok irányától, érdességétől, mállottságától, a tagoltságot kitöltő anyag jellemzőitől függően több instabil ék keletkezhet a rézsűben, ami lokális tönkremenetelhez vezethet. A tagoltságok tulajdonságait a  $(J_r/J_a)_0$  hányados jellemzi, ami üde állapotú, nem kitöltött, érdes érintkező felületeknél a legnagyobb. Ami-

**5. Táblázat.** A tagoltsági rendszerek mérőszámának meghatározása (Barton & Bar, 2015)

$J_{wice}$	Száraz környezet	Nedves környezet	Trópusi vihar	Jegesedés
Stabil szerkezet, megfelelő szikla	1,0	0,7	0,5	0,9
Stabil szerkezet, nem megfelelő szikla	0,7	0,6	0,3	0,5
Instabil szerkezet, megfelelő szikla	0,8	0,6	0,1	0,3
Instabil szerkezet, nem megfelelő szikla	0,5	0,3	0,05	0,2

**Megjegyzés:** Vízvezetés alkalmazása esetén  $J_{wice} \times 1,5$  érték alkalmazandó. Lejtő megerősítés esetén  $J_{wice} \times 1,3$  érték alkalmazandó. Vízvezetés és megerősítés esetén mindkét tényező alkalmazandó:  $J_{wice} \times 1,3 \times 1,5$

kor agyagkitöltés található a tagoltságban, a nyírófeszültség jelentősen lecsökken.  $J_r$  és  $J_a$  értékét arra a tagoltságra vagy tagoltsági rendszerre kell meghatározni, ami a stabilitás szempontjából legkedvezőtlenebb, mind az irányultság, mind a nyírási ellenállás ( $\tau$ ) tekintetében, ahol  $\tau = \sigma_n \cdot \tan^{-1} \left( \frac{J_r}{J_a} \right)$ . A tényezőket a 2. és 3. táblázat alapján kell meghatározni, majd a 4. táblázat iránytényezőinek segítségével módosítani. Mivel a tagoltságok menti viselkedéseknél többnyire a nyírófeszültségek érvényesülnek, a következő táblázatokban (2-4. táblázat) a mozgás szó főként nyírást jelent. Az érdességi és mállottsági tényező hányadosát a tagoltságok irányától függően módosítja a módszer. Két jellemző tagoltsági rendszer esetén erre a következő példa szemlélteti az O-tényező alkalmazását:

Az „A” tagoltsági rendszer a meghatározó és legkedvezőtlenebb, a következő tényezők jellemzik:  $J_r = 1,5$  és  $J_a = 2,0$ . A „B” tagoltsági rendszer kevésbé domináns, melyet a következők jellemeznek  $J_r = 2,0$  és  $J_a = 1,0$ . A tagoltságok által kimetsződő ékek e két tagoltsági rendszer és a rézsűfelület által metsződnek ki. „A” tagoltság esetén O-tényező értéke a 4. táblázat alapján 0,5 (nagyon kedvezőtlen). „B” tagoltság esetén O-tényező értéke táblázatból = 0,9 (kedvezőtlen). A teljes rézsűre nézve így a  $Q_{slope}$  számításánál  $(J_r/J_a)_0$  értéke:

$$(1,5/2,0) \times 0,5 \times (2,0/1,0) \times 0,9 = 0,68$$

**6. Táblázat.**  $SRF_{slope}$  értékének meghatározása (Barton & Bar, 2015)

**SRF<sub>a</sub> – Fizikai állapot**

A	2,5	Enyhén fellazult állapot a feszíni közelség miatt
B	5,0	Laza blokkok, húzási repedések és a kapcsolatok elnyíródásának jelei, időjárás hatásokra érzékeny
C	10	Mint a B eset, de az időjárás hatásokra nagyon érzékeny
D	15	A lejtő előrehaladott eróziós és fellazult állapotban van az időszakos vízerózió és/vagy jegesedési hatások miatt
E	20	Málló lejtő, rajta jelentős anyagmozgásokkal

**SRF<sub>b</sub> – Feszültség**

F	2,5–1	Mérsékelt feszültség-szilárdság arány	$(\sigma_c/\sigma_1 \approx 50 - 200)$
G	5–2,5	Nagy feszültség-szilárdság arány	$(\sigma_c/\sigma_1 \approx 10 - 50)$
H	10–5	Lokális kőzet-tönkremenetel	$(\sigma_c/\sigma_1 \approx 5 - 10)$
J	15–10	Összezúródás vagy képlékeny tönkremenetel	$(\sigma_c/\sigma_1 \approx 2,5 - 5,0)$
K	20–15	Lágy anyag képlékeny kúszása	$(\sigma_c/\sigma_1 \approx 1,0 - 2,5)$

SRF <sub>c</sub> – Fő diszkontinuitás		DISZKONTINUITÁSI IRÁNY			
		Kedvező	Kedvezőtlen	Nagyon	Kedvező
L	Fő diszk. kevés agyaggal vagy nélküle	1	2	4	8
M	Fő diszk. RQD <sub>100</sub> -zal agyag és zúzott kő miatt	2	4	8	16
N	Fő diszk. RQD <sub>300</sub> -zal agyag és zúzott kő miatt	4	8	12	24

**Megjegyzés:** RQD<sub>100</sub> = 1 méteres diszkontinuitási merőleges minta; RQD<sub>300</sub> = 3 méteres diszkontinuitási merőleges minta;  $\sigma_c$  a nyomószilárdság,  $\sigma_1$  a legnagyobb főfeszültség

A rézsűk stabilitását a környezeti és geológiai adottságok is befolyásolják, ezek figyelembevételére a  $J_{wice}$  paraméter használja a módszer (5. táblázat), amely figyelembe veszi a különböző környezeti hatásokat a hosszú távon szabadon álló sziklalejtőkre. Ezek a környezeti hatások tartalmazzák a szélsőséges eseteket is, mint például az intenzív esőzés hatására bekövetkező eróziót és az időszakosan előforduló jegesedést is.

A rézsűre jellemző feszültségi viszonyokat az  $SRF_{slope}$  tényező veszi figyelembe, amit a 6. táblázatban közölt  $SRF_a$ ,  $SRF_b$ , ill.  $SRF_c$ -értékek közül a maximális határoz meg. Ezek a látható fizikai állapotot, a mért feszültségviszonyokat és a fő diszkontinuitás tulajdonságait vizsgálják. A három közül a nagyobb érték figyelembevételével a számítás a biztonság javára közelít.

**3. Kapcsolat a rézsűállékonysággal**

Barton&Bar (2015) kutatása számos 30 méternél kisebb megtámasztás nélküli sziklarézsű esetén vizsgálta a rézsű szögének és a fentebb bemutatott  $Q_{slope}$ -értékének

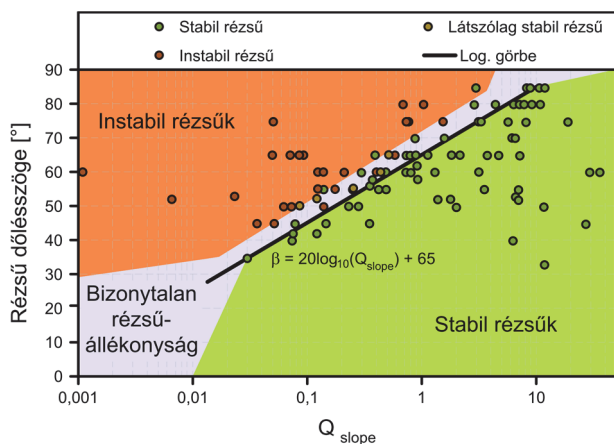
kapcsolatát. Vizsgálataikban ausztráliai, új-guineai, laoszi és panamai autópálya-bevágások, útbevágások, és külszíni bányák tapasztalatait felhasználva fektették le megállapításaikat. Az eredmények a 2. ábrán láthatók, melyen a rézsűk megfigyelt hosszú távú stabilitásának tükrében különböző kategóriák kerültek elkülönítésre. Elemzésük alapján az alábbi területeket határozták meg:

- zöld területrészt: stabil lejtők – háromszöggel jelölt tapasztalati eredmények;
- szürke területrészt: kvázistabil lejtők (több mint valószínű, hogy sokáig tartó esőzések esetén lecsúsznak) – négyzettel jelölt tapasztalati eredmények;
- piros területrészt: összeomlott lejtők – kereszttel jelölt tapasztalati eredmények.

A stabil rézsűket jelölő területrészt lehatároló határértékekhez az alábbi  $Q_{slope}$ -értékeket és azokhoz tartozó kritikus lejtésszögeket kapták:

- $Q_{slope} = 0,01$  lejtésszög  $25^\circ$   
(a legközelebbi  $35^\circ$ -os értékből extrapolálva)





**2. Ábra.** Tapasztalati adatok a rézsűk  $Q_{slope}$ -értékének és dőlésszögének összefüggésével, a rézsűmagasságok minden esetben 30 méter alattiak (Barton&Bar, 2015)

- $Q_{slope} = 0,10$  lejtésszög  $45^\circ$
- $Q_{slope} = 1,00$  lejtésszög  $65^\circ$
- $Q_{slope} = 10,0$  lejtésszög  $85^\circ$

A sziklarézsű legmeredekebb szögét ( $\beta$ ), melynél még nem szükséges megerősítés, a fentiek alapján a (2) egyenlet mutatja. A képlet értelmezési tartománya a tapasztalati adatok tartományával egyezik meg, így  $35^\circ$ -nál nagyobb, de  $85^\circ$ -nál kisebb lejtésszög esetén értelmezhető.

$$\beta = 20 \cdot \log_{10} Q_{slope} + 65^\circ \quad (2)$$

#### 4. Konklúzió

Már több kőzetmechanikai feladatnál is bebizonyosodott (Deák et al. 2014), hogy a különböző kőzettest-osztályozási módok egyidejű alkalmazása nagyban növeli a tervezés és kivitelezés biztonságát. Az egymástól eltérő módszerek segítségével a kőzettest mechanikai paraméterei, viselkedése, várható tönkremenetele jobban megállapítható. Jelen cikkben a már elterjedt SMR módszer mellett a nemzetközileg is mind jobban használt  $Q_{slope}$  tényező alkalmazását mutattuk be a legújabb szakirodalmi összefoglalás alapján. Ezek tükrében javasoljuk, hogy azokon a helyeken, ahol sziklarézsű-állékonysági problémákkal kell számolni, ezt a módszert is használják mind a tervezésnél, mind a kivitelezésnél.

#### 5. Felhasznált irodalom

**Barton, N., Bar, N. (2015):** Introducing the Q-slope method and its intended use within civil and mining engineering projects, in: Proceedings of the ISRM Regional Symposium EUROCK 2015 & 64th Geomechanics Colloquium - Future Development of Rock Mechanics, Schubert, W. & Kluckner, A. (Eds.), Salzburg, Austria, 7.-10. October 2015. Austrian Society for Geomechanics, Salzburg.

**Barton, N., Lien, R., Lunde, J. (1974):** Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6, 189–236.

**Deák F., Kovács L., Vásárhelyi B. (2014):** Geotechnical rock mass documentation in the Bábaapáti radioactive waste repository. Central Eur. Geol. 57(2):197–211.

**Deere, D.U. (1964):** Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mech. Eng. Geol. 1, 17–22.

**Gálos, M., Vásárhelyi, B. (2006):** Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban. Műegyetemi Kiadó, Budapest

**Romana, M. R. (1985):** New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes. Presented at the Int. Symp. on the Role of Rock Mechanics, Zacatecas, pp. 49–53.

**Romana, M. R. (1993):** A geomechanical classification for slopes: slope mass rating, in: Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice & Projects. Pergamon Press, Oxford; New York, pp. 575–599.

**Vásárhelyi B. (2003):** Sziklarézsűk állékonyságának számítása SMR-módszerrel. Közúti és Mélyépítési Szemle 53(4): 191–195.

---

# Application of Q-factor in stability analysis of rock slopes

**Abstract:** Rock slope stability problems may occur in certain cases of current highway designs and construction works. For optimal construction of rock cuttings more than ten meters there is a need for rock mechanical considerations and modelling. In the domestic practice, there is less experience because of the small number of available works therefore it is important to take the first steps based on international literature and methods to be developed and actualized taking into account local conditions.

The aim of the paper is to present the application possibilities of the Q-method used in tunnel construction based on a review of the recent literature. The Q-method is one of the most frequently applied method for characterizing rock masses used by civil engineers for determination of excavation techniques and reinforcement of tunnels, pits and mine benches as well as describing borehole cores and rock surfaces. In recent decades, there has been a demand for application of the method on other fields therefore a modified variant of the method has been developed. The aim of the Q-slope-method is to provide for engineers a quick assessment of the stability of rock slope exposures even in situ, consequently slope angles can be optimized according to the condition of rock masses becoming visible at exposure.

**Keywords:** Q-method, rock slope, road cutting, stability analysis, slope steepness

## **Bögöly Gyula**

Okl. építómérnök, BME, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

e-mail: bogoly.gyula@epito.bme.hu

## **Vásárhelyi Balázs**

Okl. építómérnök, BME, Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszék

e-mail: vasarhelyi.balazs@epito.bme.hu



# Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek megerősítésének diagnosztikai kérdései

Soós Zoltán, Igazvölgyi Zsuzsanna, Szakály Ferenc

**Kivonat:** Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek megerősítésének méretezése terén a meglévő pálya állapotértékelése – diagnosztikája – a jelenlegi előírások által elhanyagolt és rendszerint számon nem kért feladatnak tűnhet. Habár a helyszíni bejárást ma már fejlett diagnosztikai eszközök és mérés technológia egészítik ki, a szakember szerepe a „diagnózis felállításában” továbbra is megkérdőjelezhetetlen fontos. A cikkben néhány előremutató lehetőség mellett érintőlegesen bemutatásra kerül egy fejlesztés alatt álló hazai eszköz is a feladat elvégzéséhez, amely a vizuális állapotfelvétel és a különböző tervezési alapadatok összehangolásának, illetve az útburkolat és környezete könnyű, rendszerezett dokumentálásának lehetőségét megteremtve hozzájárulhat egy korrekt és alapos diagnosztika felállításához.

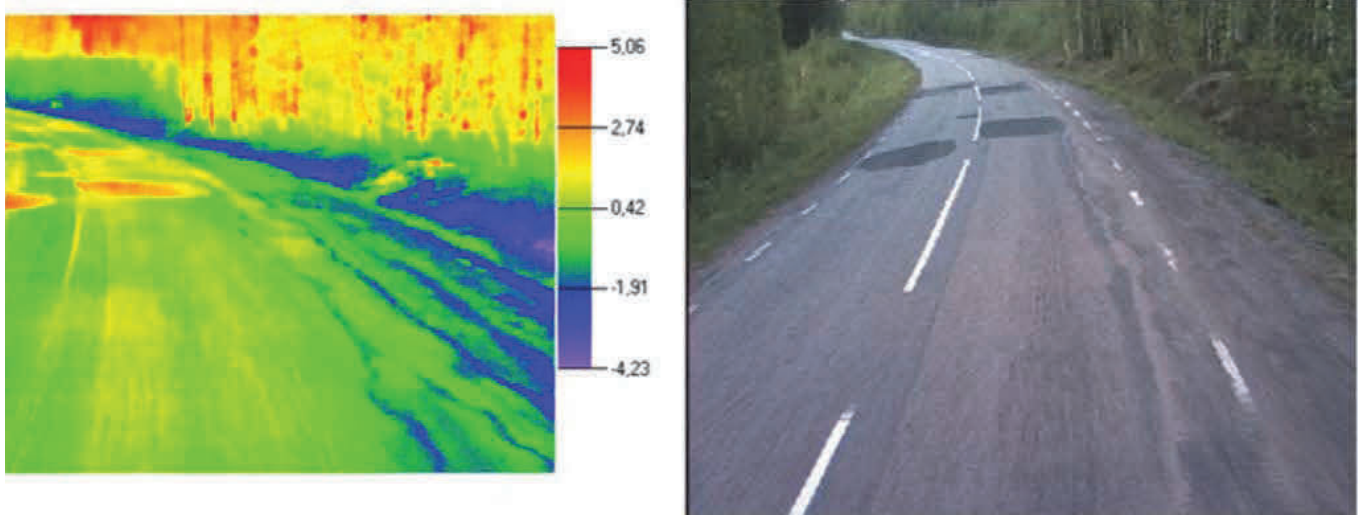
**Kulcsszavak:** megerősítés méretezés, pályaszerkezet-diagnosztika, burkolatállapotfelvétel

## 1. Bevezetés

Az aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésére és megerősítésére vonatkozó e-UT 06.03.13 „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése” c. Útügyi Műszaki Előírás által előírt két módszer, a behajlásokon alapuló és az összehasonlító módszer alkalmazása számottevő különbségeket eredményez a szükséges erősítőréteg-vastagságok tekintetében. Az ennek eredményeképpen létrejött szakmai ellentmondások mentén az utóbbi években több olyan módszer került kidolgozásra, amely – bizonyos peremfeltételek mellett ugyan – az erősítőrétegek méretezését a meglévő pályaszerkezet és a megerősítés technológiai és anyagi paramétereinek, valamint a forgalmi igénybevételek szám szerű figyelembevételét célozza meg. A példaként említendő, a Fi és Szentpéteri [1] [2], az Adorjányi [3], a Karoliny [4] [5], illetve a Soós és Tóth [6] által kidolgozott módszertanok közös vonása, hogy a meglévő pálya egyes – elsősorban pályaszerkezeti – rétegeinek jellemzői és a megerősített pályaszerkezet által elviselendő – elsősorban forgalmi-terheket összehasonlítva állapítják

meg az adott felújítás-technológiák szükséges paramétereit, például az aszfalt erősítőréteg szükséges minimális vastagságát vagy elvárt merevségét. Az említett eljárások – és a jelenleg hatályos előírás – kiemelik a megerősítendő pályaszerkezet állapotának megfelelő részletességű felvételét és értékelését, a lokális meghibásodások és nagyobb kiterjedésű hibák bemutatását, azok okainak feltárását, valamint egyedi megszüntetését; az ehhez kapcsolódó munkarészekre, esetleges többletvizsgálatok minimális követelményeire, konkrét formai, tartalmi elvárásokra – például az előírás által említett hibatérkép részleteire – kevéssé tesz utalást. A vonatkozó előírás a megerősítendő pálya állapotértékelése során nemcsak a burkolati hibák felvételét írja elő, hanem a vízelvezetési rendszer állapotát, a hossz- és keresztirányú geometriát, a pályaszerkezet felépítését, az egyes szerkezeti rétegeket, a földmű felső részét is vizsgálni kell, és teherbírásmérést – megjegyzés: behajlásmérést – kell végezni.

Az előírás 7.2.2 pontja alapján egyértelmű a követelmény, miszerint „megfelelő részletességű dokumentált vizuális és/vagy műszeres felvételét el kell végezni” és „a felületi hibákat az előfordulás helye szerint fel kell



1. Ábra. Hőkamerás kép a vízmozgás kimutatására az árok részsíneinek környezetében [7]

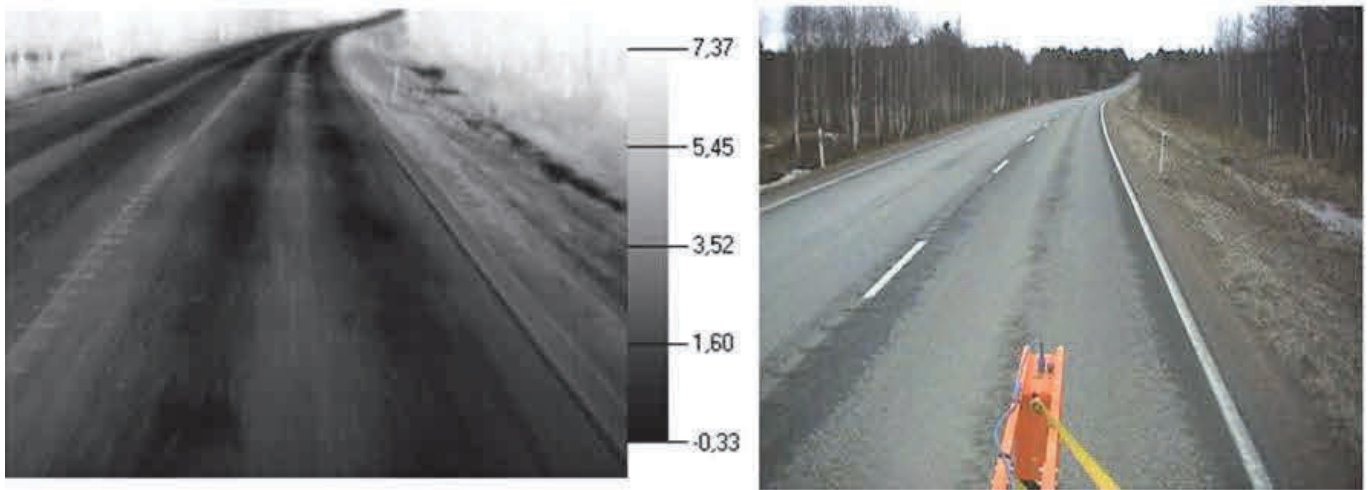
jegyezni”, valamint „a hibafelvétel eredményeit a felület előkészítésének tervezése során figyelembe kell venni”. Mivel azonban úgy tűnik, hogy az állapotfelvételre számonkérhető tartalmi és formai követelményeket az ÚME kevéssé tartalmaz, a hibák ilyen részletességű dokumentálása a gyakorlatban vélhetően ritkán történik meg, így a legtöbb esetben az úthibák okainak figyelembevétele sem történhet meg a felújítástechnológia tervezése során, illetve sok esetben, ha mégis, akkor mind a tervezői, mind a megrendelői oldal rendkívül eltérően – kreatívan – értelmezi ezen követelmény kielégítését.

## 2. A víz jelenléte

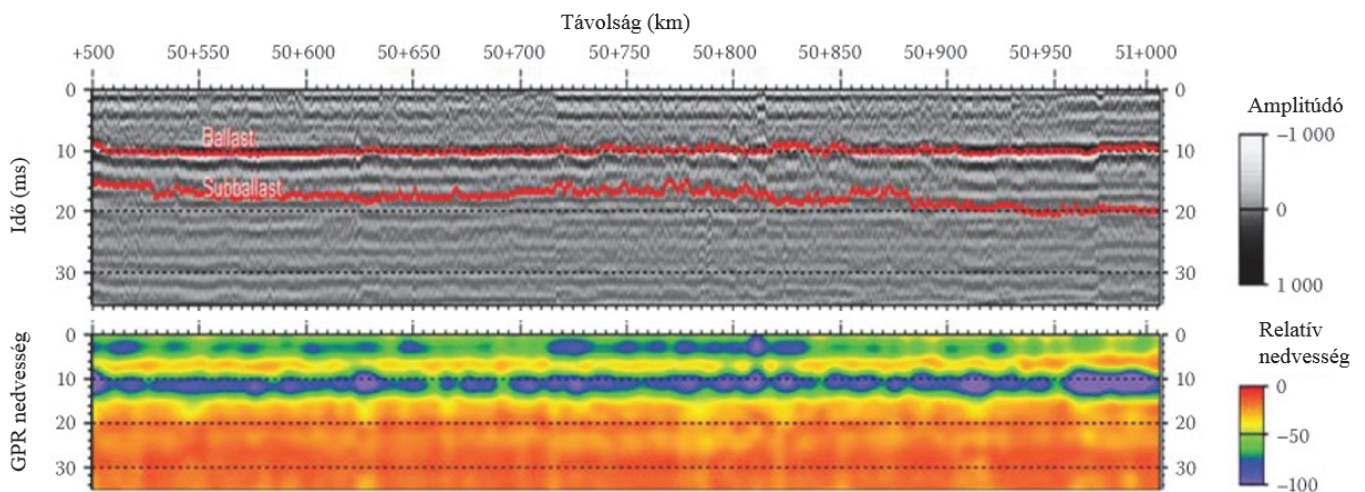
A vízelvezető rendszer, a padkák, szegélyek, árkok, folyókák, egyéb műtárgyak és a pályaszerkezet alatti víztelenítés állapotának értékelése a tervező egyik legfontosabb feladata lenne. Rendellenesség felfedezése esetén az előírás szerint fel kell tárnai annak okát, és a felújítás első lépéseként ezen hibákat ki kell javítani. Az erősítőrétegek méretezését pedig a működő vízelvezető rendszerrel rendelkező pályán, később megismételt behajlás-mérés eredményei alapján kell méretezni. Könnyen belátható, hogy a mai beruházási környezetben ez a legritkább esetben kerül megvalósításra.

A vízelvezető rendszer működőképességének felmérése a nemzetközi gyakorlatban legtöbbször szemrevételezéssel, helyszíni bejárások során történik. A bejárás, mint diagnosztikai eszköz gyorsan, egyszerűen és viszonylag alacsony költséggel megvalósítható. A szemrevételezés hátránya, hogy a felmérő személyzet szubjektív ítélőképességének – és alaposágának – hatása az eredményre jelentős, és természetesen a szemmel nem látható jelek továbbra is rejtve maradnak. Ennek kiküszöbölésére kínál megoldást például a georadaros – Ground Penetration Radar, GPR – technológia, illetve a hőkamerás technológiák alkalmazása, amelyeket a nyugat-európai gyakorlatban – jelentősebb létesítményeknél – egyre inkább alkalmaznak. Az 1. ábra egy útszakasz videofelvételét és a vizsgált szakasz hőkamerás képét mutatja. A hőképen késsel jelölt részek hőmérséklete alacsonyabb a felület átlaghőmérsékleténél, ami a bevágás részsíje felőli vízszivárgásra utal. A jobb oldali ábra ugyanezen útszakasz videofelvételének egy részletét mutatja.

A hőkamerás képekkel nemcsak az útpályán kívülről, hanem magán a burkolaton át áramló vizek is láthatóvá tehetők. A 2. ábra hőkamerás képet mutat arra az esetre, amikor a magas talajvízszint – és/vagy rossz vízelvezetés – miatt a forgalom hatására a burkolat repedéseiben, esetleg tömörítetlen részein felfelé „pumpálódik” a víz. Ezt a nemzetközi terminológiában „water



2. Ábra. Hőkamerás kép és videofelvétel részlete a vízmozgás kimutatására burkolaton [7]



3. Ábra. Georadaros felvétel és az abból származtatott relatív víztartalom

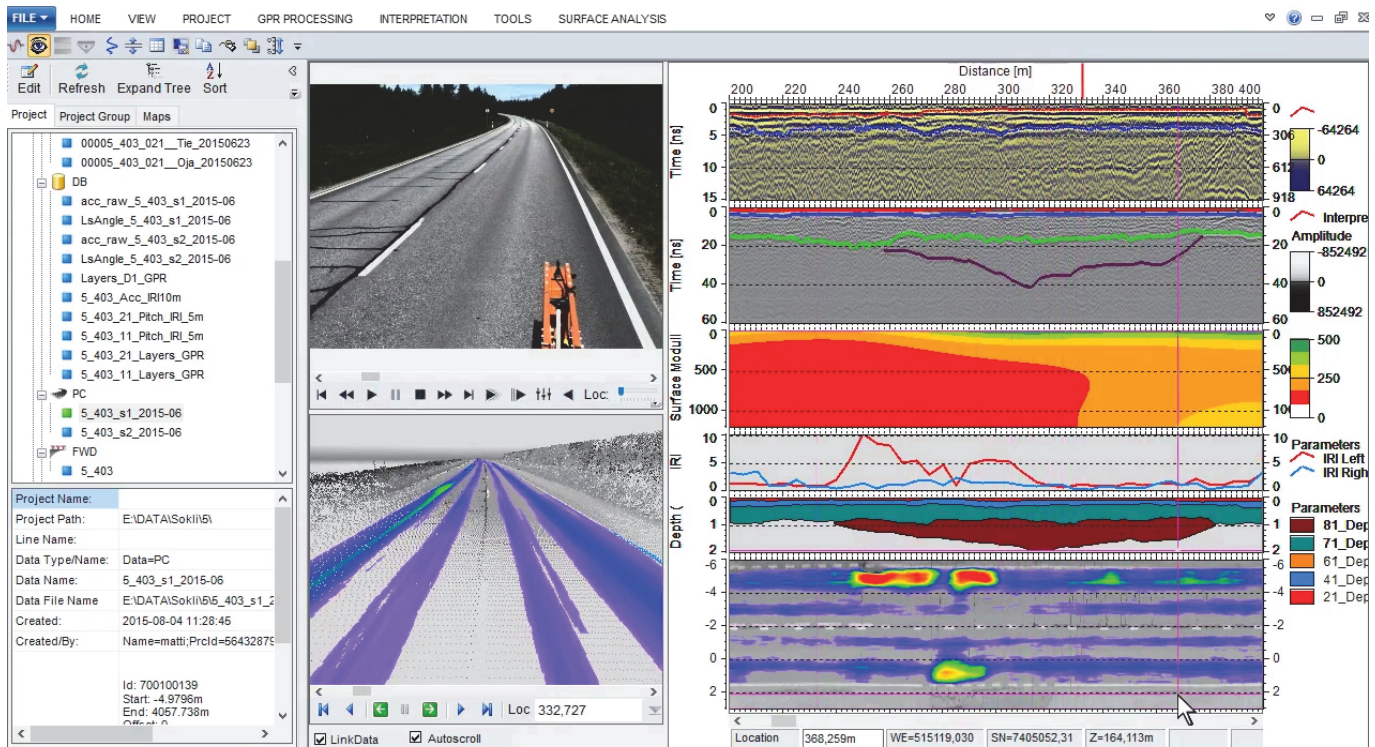
bleeding”, „water pumping” néven ismert, és rendszeresen felmerülő jelenséget hazai szakemberek vízfeltörésként említik.

Egy ilyen, dokumentált hazai esetre példát egy 2009-ben készült tanulmányban mutattak be a szerzők az M7-es autópálya 51+500 km. sz. környékén, és az M3 Gyöngyös és Füzesabony közötti szakaszán történt vízfelszívárgás elemzésével. Az M7-es autópályán emellett földdel szennyezett volt a víz, amely a burkolatból felszívárgott – az említett szakasz közel a terepszinten, áltöltésben fekszik – a szemle idején árokban pangó víz is tapasztaltak a szakemberek [8].

A 3. ábra egy pályaszerkezet georadarral felmért szelvényét mutatja. Megfelelő frekvenciák alkalmazásával

a felületekről visszaverődő hullámok alapján – kalibrálást követően – következtetni lehet a közeg inhomogenitására, kisebb pontossággal a rétegek vastagságára, esetleg típusára is. A rétegvastagság georadaros meghatározásának pontosítási lehetőségeivel korábban hazánkban is foglalkoztak [9], a jövő e téren egyértelműen a roncsolásmentes és folytonos méréseké.

A vizsgálat azon alapszik, hogy a reflektivitás – a kapott jel erőssége – elsődlegesen a rétegek dielektromos állandóinak kontrasztjától függ. Minél nagyobb ezen anyagi jellemző különbsége egy határfelületen, annál erősebb reflexiót kapunk a felvételen. Az aszfalt tipikusan 6–6,5 közötti dielektromos állandóval rendelkezik, míg a beton ~9, a talajok anyaguktól függően 3–40 közötti értékekkel jellemezhetők: például az agyag 5–40, a



4. Ábra. A Road Doctor szoftver feldolgozás közben

homok 3–5, míg a víz dielektromos állandója összetételtől függően 80 körüli. Látható, hogy az útpályaszerkezetek releváns részei egymástól ilyen elven jól megkülönböztethetők, és ha a rétegfelépítés meghatározása pontatlan is a méretezés során való alkalmazáshoz, a víz jelenléte ilyen elven biztosan kimutatható.

### 3. Szerkezeti diagnosztikai lehetőségek

A GPR-vizsgálattal azonban nemcsak víz- vagy nedvességtartalom mutatható ki. A vizsgálatot már az 1960-as években alkalmazták hadászati célokra (alagutak és aknák detektálásra), az 1980-as évektől pedig közutak vizsgálatára is használják. Rendszeresen alkalmazzák például a régészet vagy a közmű-diagnosztika területén is. A korábban említettek alapján a kibocsátott hullámok az eltérő anyagokban különböző módon terjednek – és verődnek vissza –, továbbá a homogenitás kimutathatósága a vizsgálatot például a Ckt rétegekben kialakuló repedések detektálására is alkalmassá teszi [10]. A GPR alkalmas a különböző rétegek beazonosítására, a pályaszerkezet és a földmű nedvességtartalmának megállapítására, valamint nem utolsósorban felszínen

– felszínközelségben – nem látható közműszerelvények kimutatására, amely a pályaszerkezet megerősítésének tervezése vagy remixtechnológia alkalmazásánál is előnyös. A beépített aszfaltréteg vastagságára, tömörségére is következtetni lehet a mérési adatokból, sőt a legújabb kutatások a hézagtartalom – levegővel és/vagy vízzel telített pórusok kimutatásával egyszerre – és a keverék beazonosítását tűzték ki célul, a mérések pontosságának növelése mellett.

A Road Doctor™ elnevezésű mérőrendszer nemcsak útpályaszerkezetek, hanem vasutak, hidak és repülőterek állapotértékelésére is alkalmas. A program egyik legnagyobb előnye, hogy lehetőséget biztosít több különböző mérés egyidejű összevetésére. A kezelése felhasználóbarát, és ahogy az egy bemutató videóból készített pillanatképfelvétel látszik (4. ábra), a különböző felhasznált eszközök kombinációinak száma nagyon nagy. Az állapotfelvétellel párhuzamosan készített videofelvétel mellett a GPS-adatok segítségével a helyszín és a szelvény beazonosítható. Különböző mérőeszközök mérési adatait egy képernyőn megjelenítve végezhető el az állapotértékelés (amelyet továbbra is szakember végez), s annak



5. Ábra. A mozaikos repedés

így elengedhetetlen része az aktuális pályaszakasz videofelvétele. A videóval egyidejűleg megjeleníthetők a dinamikus behajlásmérés adatai, a GPR-mérésből kiértékelt rétegvastagságok, lézerszkennelvel készített pontfelhő vagy akár a deformációk és nyomvályúsodás, valamint egyenletességi – akár kalkulált IRI – értékek.

A lézerszkennelnek köszönhetően az árok profilja is felvehető és ellenőrizhető, sőt a padka állapota is kiértékelhető, és színkódolással lokális relatív magasságkülönbségek is kimutathatók.

A pályaszerkezet alsó rétegeiről információ nyerhető hagyományosan, magmintavétellel is, míg a földmű és az altalaj részletes állapotértékelése feltárás során lehetséges, teherbírás, tömörség meghatározásával és mintavétellel, ami költséges és időigényes folyamat. Fontos azonban kihangsúlyozni, hogy ma már a geotechnika területén is megjelentek roncsolásmentes vizsgálatok. A pályaszerkezet megerősítése során a földmű teherbírása mértékadó, és sok esetben az FWD- (Falling Weight Deflectometer) mérés során a szenzorok által mért értékekből a földmű állapotára jellemzők számíthatóak és értékelhetőek.

#### 4. A behajlási teknő paraméterei

A dinamikus behajlásmérés (FWD) hazánkban is évtizedes múlttal rendelkező mérés technológia. Habár a jelenlegi előírások eredetileg a statikus behajlásmérések eseteire kerültek kidolgozásra, az ÚME lehetővé teszi a dinamikus behajlásméréssel kapott ún. tárcsaközép-behajlások alkalmazását a megerősítés méretezésére. Erre egy – további kutatást igénylő – átszámítási képletet

1. Táblázat. A pályaszerkezet és földmű állapotosztályba sorolása az SCI- és BCI-értékek alapján

Osztály	Burkolatlan és vékony burkolatú utak esetén		Burkolt utak esetében	
	SCI ( $\mu\text{m}$ ) 0-200 mm	BCI ( $\mu\text{m}$ ) 900-1200 mm	SCI ( $\mu\text{m}$ ) 0-200 mm	BCI ( $\mu\text{m}$ ) 900-1200 mm
Kiváló	<180	<10	<120	<10
Elegendő	180-250	10-30	120-200	10-30
Gyenge	250-300	30-60	200-250	30-40
Rossz	300-600	60-120	250-400	40-60
Rendkívül rossz	>600	>120	>400	>60

kell alkalmazni, amellyel a dinamikus behajlások statikussá számíthatók át. A jelenlegi gyakorlatban az FWD-mérések során kapott további adatok nem kerülnek felhasználásra.

A pályaszerkezet, illetve annak adott rétegei állapotának értékelésére, a burkolatnak az adott terhelés hatására a terhelő tárcsa alatt, valamint az attól adott távolságokban mért behajlások – összességében a behajlási teknő – alapján való értékelésére a nemzetközi gyakorlatban számos módszer ismert.

Levezethető, hogy a terhelés középpontjából adott távolságban mért behajlások alapján a terhelés alatt adott mélységben lévő rétegek tulajdonságaira lehet következtetni [11]. Ennek megfelelően az FWD-mérések során a terheléstől adott távolságokban mért behajlások felhasználásával különböző megközelítések alakultak ki a pályaszerkezet, vagy annak egyes rétegeinek jellemzésére [12]. A legismertebbek a különböző teknőparaméterek tekinthetők, amelyekről részletes összefoglalót kínál Horak és Van Gurp munkássága [13] [14]. Ezek közül érdemes legalább az alábbi három fő mutató kiemelése:

- A felszíni görbületi index – Surface Curvature Index, SCI – az aszfaltburkolatok jellemzésére, értéke minél nagyobb, annál gyengébb az aszfaltréteg:

$$SCI = d_0 - d_{300} \quad (1)$$

ahol:  $d_0$  behajlásérték a terhelőtárcsa alatt [ $\mu\text{m}$ ],  $d_{300}$  a terhelőtárcsától 300 mm-es távolságban mért behajlásérték [ $\mu\text{m}$ ].



**6. Ábra.** Süppedés és keresztirányú repedés a burkolaton

A részben EU-finanszírozású PARIS projekt eredményei is azt mutatták, hogy ez a mutatószám hajlékony pályaszerkezetek esetében a repedésterjedési jellemzőkkel jó összefüggést mutat.

- Az alap károsodási index – Base Damage Index, BDI az alapréteg állapotát jellemzi, értéke minél nagyobb, annál gyengébb az alapréteg:

$$BDI = d_{300} - d_{600} \quad (2)$$

- Alap görbületi index – Base Curvature Index, BCI az alap alatti rétegek és a teherhordó talaj jellemzésére, minél nagyobb, annál gyengébbek e rétegek:

$$BCI = d_{600} - d_{900} \quad (3)$$

ahol:  $d_{600}$  a terhelőtárcsától 600 mm-es távolságban mért behajlás [ $\mu\text{m}$ ],  $d_{900}$  a terhelőtárcsától 900 mm-es távolságban mért behajlás [ $\mu\text{m}$ ].

Az SCI-, BCI-értékek alapján a földmű és a pályaszerkezet az 1. táblázat szerinti 5 osztályba sorolható. Jendia az altalaj/földmű és a kötött rétegek állapotát az UI altalaj-indikátor bevezetésével javasolta vizsgálni az alábbi formula szerint [15].

$$UI = d_{900} - d_{1500} \quad (4)$$

Az altalaj teherbírása  $UI = 70$  mm határérték alatt gyengének minősíthető. A pályaszerkezeti rétegek állapotának megítélése a teherbírást jellemző indexen keresztül, Jendia-diagram kiértékelésével történhet, amely jelen cikk terjedelmi kötöttségei miatt nem kerül



**7. Ábra.** Pangó víz a csapadékvíz-elvezető rendszerben

bemutatásra, de jó példa található Tóth és Tóth elemzésében [16].

A teknőparaméterek segítségével – hasonlóan a jelenlegi hazai előírás szerint alkalmazott tárcsaközép-behajlásokhoz – az adott vizsgált útszakasz az egyes rétegek állapota szempontjából homogén szakaszokra bontható. Emellett további következtetések vonhatók le például az adott szakaszok hátralevő élettartamát, valamint a szerkezet vagy az alsóbb rétegek teherbírását tekintve [17] a behajlási teknő geometriájának mélyrehatóbb elemzése alapján [18].

## 5. A burkolati hibák felvétele és kiértékelése

### 5.1 Az állapotértékelésről és burkolatosztályzatokról röviden

Az útpályaszerkezetek károsodásainak felmérése és azok okainak rendszerezett, módszeres feltárása hazánkban az 1980-as évekre visszanyúlik, az „Útkárok okai” [19], majd később az „Aszfaltburkolatok hibakatalógusa” [20] nemzetközileg elismert irodalmak – utóbbi angol, német és orosz nyelven is megtalálható –, amelyek a fejlett diagnosztikai eszközök világában is jól használhatók. Emellett érdem es Karoliny munkáját kiemelni, annak ellenére, hogy az id. dr. Gáspár László technológiai képzésen tananyagként is használt összeállítás előírására nem alakult [21].





8. Ábra. Pangó víz a csapadékvíz-elvezető rendszerben, átázott földű diagnosztizálása

Az olyan fejlett technológiák, mint a georadar, lézershaknelés vagy hőkamera sok esetben – legalábbis átlagos létesítmények esetében – nem állnak rendelkezésre, így ezek esetében az ÚME szerinti behajlásmérés a vizuális állapotfelvétel egészíti ki, amelynek problematikáját a bevezető már említette.

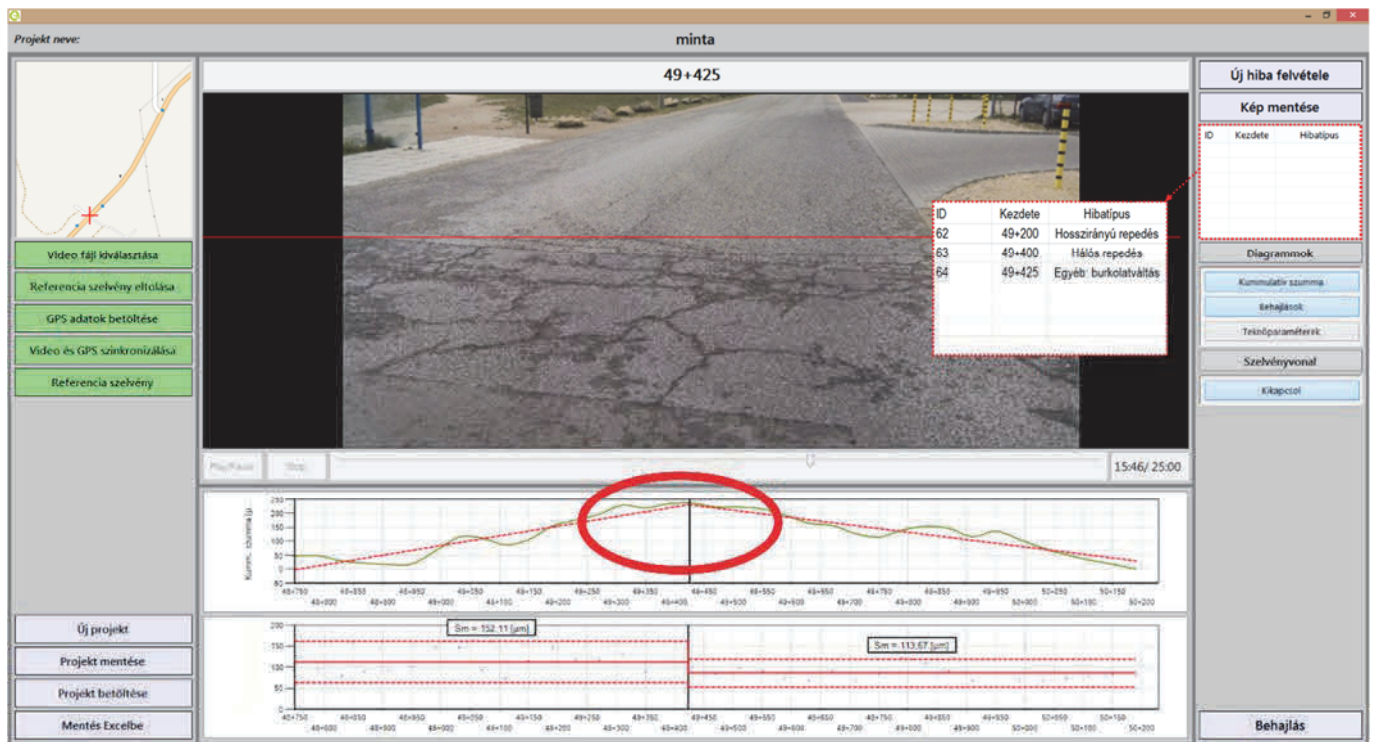
Az országos közúthálózat állapotfelvételének szükségessége 1979-ben fogalmazódott meg. Az akkori döntéshozatal a burkolatfelület állapotának éves felvételét és osztályozását a teljes hálózatra előírta. Az állapotértékelést Roadmaster készülékekkel végzik, amelyet erre képzett személyzet hajt végre. A burkolatállapot-osztályzatok 1-től 5-ig terjednek, ahol eggyessel a legjobb állapotban lévő burkolatosztályt jelölik. Az útszakaszok rendszeres beutazásával, a kizárólag vizuális módon megállapítható és csak emberi szem által megkülönböztethető burkolathibák – kátyúk, kipergések, izzadások, deformációk, burkolatszélhibák, repedések stb. – tételes, helyazonosított felmérése, utólagos kiértékelése, minősítése történik. A Roadmasterrel kapcsolatban – az üzemeltető szakembereivel történt beszélgetések alapján – megállapítható, hogy amennyiben például egy asz-

faltburkolat tömbhálósan van megrepedve és elég hosszasan, akkor biztos, hogy 5-ös lesz az osztályzat, pedig az út mind utazáskényelmi, mind teherbírási szempontból megfelelő lehet. Sokkal járhatóbb útnak tekinthető, ha az egyes hibatípusok összevonva ronthatják csak le az összegzett osztályzatot. Az üzemeltetők elmondása alapján a helyszíni szemle során végrehajtott szemrevételezésnél eredményesebb technológia nincs.

## 5.2 Kiemelt hibák és a feltételezhető okaik

A vizuális állapotfelvételkor tapasztalt hibák különböző hibaokokra vezethetők vissza, amelyekre már a korábbi fejezetekben is utaltak. Hálós repedést és süllyedést okozhat nagymértékű altalaj-összenyomódás – akár konszolidáció – vagy duzzadás is, agyagtalajok esetén, továbbá nem megfelelő fagyvédő réteg alkalmazása, mert a képződő jéglencsék növekedése megemeli a pályaszerkezetet. Mozaikszerű repedések a talajteherbírás lecsökkenésének tulajdoníthatók, jellegzetesen olvadási károokra utalhatnak.

A mozaikos repedezettség sűrűn összerepedezett burkolatfelületet jelent, amikor a repedések néhány dm<sup>2</sup>-es és



9. Ábra. Burkolatváltás

legfeljebb 1 m<sup>2</sup>-es területet határolnak le („aligátorbőr”). Ezen típusú repedések tulajdonképpen a deformáció növekedésével, az ismétlődő terhelés hatására jönnek létre, de a deformáció és a repedés közötti idő gyakran oly rövid, hogy a kár jellege szempontjából lehet a repedés is jellemzőbb. A 6. ábra mozaikos repedést és deformációt mutat.

Mozaikszerű repedések keletkezhetnek akkor is, ha a burkolat alatti valamelyik szerkezeti réteg hibásan készült vagy nem kellően teherbíró. Ilyenkor a behajlás görbületi sugara kicsi, de a pályaszerkezet teherbírása egyébként megfelelő lehet [19].

Tömbhálós repedezésnek mondjuk a meghibásodást, ha az összeropedezett burkolatfelület, és az egyes repedések 1 m<sup>2</sup>-nél nagyobb területet határolnak körül.

A már hivatkozott, 2009-ben készült hazai kutatási jelentésben 10 autópálya-szakasz került kijelölésre, amelyen vizuális állapotfelvétel, fúrtminta-vizsgálat (rétegvastagság, tömörség, összetétel-vizsgálat), behajlásmérés, geoszondázás, georadaros mérés, rétegtapadás-vizsgálat, a plasztikus deformációs hajlam vizsgálata, vala-

mint merevségi modulus meghatározása történt. A tapasztalatok szerint a nyitott, hézagos kopóréteg rendszerint együtt jár a mozaikos repedéssel, ahol mozaikos repedések vannak, ott a feltépő vizsgálat eredményei szerint a kopóréteg és az alatta lévő réteg között nincs meg a megfelelő rétegtapadás. A repedezett és rétegtapadási problémával rendelkező szakaszokon a georadar a pályaszerkezet felső 20 cm-es vastagságában elnedvesedést mutatott [8]. A földmű nem megfelelő tömörsége következtében a leromlás kezdeti szakaszában jelentős mértékű süppedés keletkezhet a burkolaton (7. ábra).

Az altalaj teherbírás-csökkenését a nyílt csapadékvíz-elvezető rendszerben tapasztalható gyakori pangó víz is okozhatja (7. ábra). Előfordul, hogy a nem megfelelően tömörített vagy elhanyagolt padkán létrejövő kisebb süllyedésekben a csapadék megáll, megreked, és a pálya külső része alá szivárog, ezáltal a padka és a sáv külső részének teherbírása lecsökken, a leromlási folyamatban még több víz jut be a pályaszerkezet alá, és a burkolatszél repedezik vagy felgyűrődik.

Töredezett és letört burkolatszél felújítása, javítása a felhízott padka és vízvezető rendszer felújítása nélkül

nem jelent megoldást. A vizsgálatok során ellenőrizni kell, hogy az alapréteg alatt javító réteg alkalmazása szükséges-e. A hosszirányú repedések megjelenése a sáv külső felében is utalhat földmű/altalaj problémára a térfogatváltozása miatt, ha a padka irányából a kötött talaj kiszárad, vagy túlzottan nagy a terhelés, és a talaj teherbírása csekély, a burkolat merevsége pedig viszonylag nagy. További oka lehet a külső keréknyom-ban megjelenő hosszirányú repedésnek, ha a pályaszerkezet nem elég vastag, vagy a talaj a padka irányából elnedvesedik. A burkolat széle megsüllyedhet, ha a szélesítés nem szakszerűen készült, vagy nem kellően teherbíró. A keréknyom szélén, lényegében deformációk nélkül kialakuló hosszirányú – ún. top-down, felülről lefelé terjedő – repedések jellemzően termikus eredetűek, amelyek oka lehet az elégtelen hidegviselkedésű kötőanyag alkalmazása.

## 6. Esettanulmány

Belátható tehát, hogy a meglévő létesítmény állapotának felmérése rendkívül fontos az olyan lokális, akár hosszabb szakaszon jelen lévő meghibásodások lehatárolása érdekében, amelyeket egyrészt külön, egyedi beavatkozások során kell kezelni, másrészt a megerősítés tervezéséhez felhasznált adatokat befolyásolva hibás eredményre vezethetnek.

Ehhez elengedhetetlenül fontos a pálya diagnosztikája, amelynek oroslánrésze egy alapos helyszíni bejárással elvégezhető. Fontos emellett a rendelkezésre álló mérési és vizuális adatok közötti megfelelő kapcsolat, amely alapján a fellelt hibák okai nagyobb eséllyel fedezhetők fel.

A 8. ábra példaként egy látszólag jó burkolatállapotú útszakasz behajlasméréséből számított BCI-értéket mutatja, a behajlasmérés idejében történt videofelvétellel szinkronizálva, egy fejlesztés alatt álló hazai diagnosztikai szoftvert használva. Jól láthatóan a földmű állapotára jellemző BCI-index 130 körül alakul a szakaszon – vö 1. táblázat –, és az átázott földmű az adott szakaszon kisebb teherbírást eredményez. Ez csak a behajlasméréskor tartott bejárás, illetve videofelvétel alapján állapítható meg. A behajlasmérés alapján méretezett

megerősítés ezen a szakaszon tehát nem oldja meg a problémát.

A szerkezet váltása számottevően befolyásolja a mért behajlásokat. Habár a jelenlegi előírás alapján a teherbírás szempontjából a 0,5 alatti variációs koefficienssel jellemezhető szakaszok homogénnek tekinthetők, a gyakorlat számos alkalommal igazolta a homogén szakaszolás fontosságát megfelelő varianciaérték esetén is. A mérési eredmények kiértékelése során a homogén szakaszhatárok meghatározására mutat példát a 9. ábra, kumulatív szumma függvény alkalmazása esetén. A példában a 49+500 km. szelvény környezetében szakaszhatár valószínű, de pontos helye nem határozható meg a kumulatív szumma függvény vizsgálatával sem, a 49+425 km. szelvényenél látható burkolatváltás a videofelvétel vagy alapos terepi bejárás nélkül nem lenne kimutatható, az előtte lévő szakasz egy része könnyen alulméretezett lenne.

A burkolathibák felvételének fontossága tagadhatatlan, ám a jelenlegi előírás nem tartalmaz követelményt annak tartalmi vagy formai elvárásaira. A videofelvétel alapján automatikusan, szelvény szerint felvitt hibahe-lyek kiértékelése lehetővé teszi a lokális hibahelyek lehatárolását, így a homogén szakaszok finomítását, valamint a kivitelezés előkészítését is.

A dinamikus behajlásértékek statikusra való átszámításával jelen cikk részletesen nem tud foglalkozni, mivel azonban ennek problematikája ismertnek feltételezhető, röviden érdemes érinteni a témakört. A dinamikus-sta-tikus értékek közötti átszámítás mellett ugyanis – ma már – az alkalmazott hőmérsékleti és évszaki korrekciók helyessége sem biztos. Emellett itt fontos megemlíteni azt is, hogy mivel a hazai gyakorlatban sajnálatos módon csak a tárcsaközép behajlásértékének használata terjedt el; korábbi – korrekciókat, átszámítást célzó – kutatások is csak erre irányultak, a behajlási teknő többi adatának feldolgozására így ma nincs hazai előírás. Nem egyértelmű emellett az sem, hogy az FWD-adatok a közutakon a hetvenes évek óta gyűjtött behajlásadatokkal mennyire vethetők össze a jelenleg alkalmazott átszámító képlet alkalmazásával, nem beszélve az újabban alkalmazott curviameteres adatokról.

## 7. Összefoglalás

Jelen cikk, részben területi korlátai miatt, természetesen nem térhet ki az összes lehetséges pályaszerkezeti, illetve burkolati hibára, és azok okaira. A burkolatmegerősítés tervezése szempontjából kulcsfontosságúnak tekinthető az altalaj, illetve a földmű teherbírásának és állapotának, valamint a pályaszerkezeti rétegek esetleges hibás működésének feltárása, továbbá az adott állapotokat előidéző okok feltárása elengedhetetlen. A burkolat állapotának felvétele, helyesebben – kívánatosabban – a pályaszerkezet diagnosztikája azonban a jelenlegi hazai gyakorlatban sokszor elnagyolt és nem kellően szabályozott résznek tűnhet, holott a különböző kiterjedésű hibák vizuális felmérése, a vizuális adatok és a műszeres mérések eredményeinek összevetése alapján a hibák súlyossága és sok esetben azok okai felderíthetők. A meghibásodások így lehatárolhatók, és anélkül megoldhatók, hogy a megerősítendő pálya egészére kiterjesztve azokat a megerősítés méretezése során téves eredményre jussunk.

## 8. Nyilatkozat

A cikk az InnoStruktúra Kft. támogatásával készült.

## 9. Felhasznált irodalom

- [1] **I. Fi és I. Szentpéteri** (2014): „Aszfalt pályaszerkezetek megerősítés méretezésének mechanikai-empirikus módja,” *Magyar Építőipar* 64:(3), pp. 114-119
- [2] **I. Fi és I. Szentpéteri** (2014): „A Mechanistic-Empirical Approach for Asphalt Overlay Design of Asphalt Pavement Structures,” *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 58:(1) DOI: 10.3311/PPci.7408, pp. 55-62
- [3] **K. Adorjányi** (2010): „Kétlépcsős mechanikai modellek alkalmazása útpályák felújítási beavatkozásainak méretezésénél,” *Közlekedésépítési Szemle* 60:(3), pp. 5-11
- [4] **M. Karoliny** (2015): „Aszfaltburkolatú pályaszerkezetek megerősítésének méretezése – összefoglaló ismertető,” *Útügyi Lapok: A közlekedésépítési szakterület mérnöki és tudományos folyóirata* (online) 7, paper 5
- [5] **M. Karoliny és L. Gáspár** (2015): „Investigation and design of durable pavement structure rehabilitation,” *The International Journal of pavement Engineering & Asphalt Technology* 16:(2), pp. 30-54
- [6] **Z. Soós és C. Tóth** (2017): „Simple Overlay Design Method for Thick Asphalt Pavements based on the Method of Equivalent Thicknesses,” *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, DOI:10.3311/PPci.9721
- [7] **G. Berntsen és T. Saarenketo** (2005): „Drainage on Low Traffic Volume Roads,” *ROADX II. Project report*
- [8] **L. Gáspár** (2009): „Aszfaltburkolatú autópályák minőségbiztosítási rendszeréhez történő hozzájárulás,” *Kutatási zárójelentés. Témaszám: 245-003-1-8. KTI*, p. 165
- [9] **L. Pethő és C. Tóth** (2010): „Beépített aszfaltrétegek vastagságának roncsolásmentes meghatározása,” *Közlekedésépítési Szemle* 60:(8), pp. 16-20
- [10] **M. Kenneth** (2010): „Ground Penetrating Radar (GPR) for Pavement Condition Evaluation,” *Előadás a "Pavement Evaluation" konferencián*
- [11] **P. Primusz** (2012): „Pályaszerkezet-gazdálkodás az erdészeti feltáráshálózatokon,” *Ph.D. értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem*, p. 131
- [12] **T. Boromisza, L. Gáspár és R. Károly** (2008): „Útpályaszerkezetek teherbírása. Hazai és külföldi eredmények és problémák,” *Közúti és Mélyépítési Szemle* 58:(5-6), pp. 1-9, 2008.
- [13] **E. Horak** (1987): „The use of Surface Deflection Basin Measurements in the Mechanistic Analysis of Flexible Pavements,” *Proc. 6th International Conference on Structural Design of Asphalt Pavements 1. Michigan, Michigan, USA.*

- [14] **Van Gorp** (1995): „Characterisation of Seasonal Influences on Asphalt Pavements with the use of Falling Weight Deflectometers,” Ph.D. thesis, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands
- [15] **S. Jendia** (1995): „Bewertung der Tragfähigkeit von bituminösen Straßenbefestigungen,” Ph.D. disszertáció. Karlsruhe
- [16] **C. Tóth és J. Tóth** (2008): „Útpályaszerkezetek roncsolásmentes diagnosztikai lehetőségei,” Közúti és Mélyépítési Szemle 58:(5-6), pp. 10-15
- [17] **K. Adorjányi** (1999): „Pályaszerkezeti modellek verifikálása és a dinamikus teherbírás állapotparamétereinek kiterjesztése,” Kutatási jelentés (SZIF-UNIVERSITAS Kft.), pp. 1-30
- [18] **P. Primusz és C. Tóth** (2009): „A behajlási teknő geometriája,” Közlekedéscsépítési Szemle 59:(12), pp. 18-24
- [19] **T. Boromisza és J. Schwáb** (1980): „Útkárok okai,” KÖTUKI 48. sz. kiadványa ISBN 9636010404, p. 84
- [20] **J. Schwáb** (1982): „Aszfaltburkolatok hibakatalógusa,” KÖTUKI, p. 159
- [21] **M. Karoliny**: „Meglévő pályaszerkezetek igénybevételei és állapotuk jellemzése,” Id. Dr. Gáspár László útügyi technológiai képzés, Meglévő útpályaszerkezetek felújításának tervezése, méretezése és építése.
- [22] **e-UT 06.03.13** [ÚT 2-1.202:2005], „Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezése és megerősítése,” Magyar Útügyi Társaság, p. 34, 2005.

## Issues of condition assessment for overlay design of asphalt pavements

**Abstract:** The condition assessment – diagnostics – of the existing road structure and pavement often seems a neglected and rarely checked task during the overlay design of asphalt pavements according to the current Hungarian standards. Today the role of an expert is still undoubtable during the condition assessment, despite the numerous advanced technologies that support field inspections. Besides some progressive methods, the paper introduces a Hungarian tool, under development, able to synchronise various visual and instrumental input data required for the rehabilitation design of roads, that may provide a way to systematically assess and document the condition of a given road segment, and to contribute to a more sound and throughout diagnosis.

**Keywords:** overlay design, pavement diagnostics, pavement condition assessment

### Soós Zoltán

Okleveles építőmérnök, 2014 óta a BME Út és Vasútépítési Tanszék PhD. hallgatója.  
e-mail: soos.zoltan@epito.bme.hu

### Szakály Ferenc

Okleveles építőmérnök, 2014-ben végzett a BME szerkezetinformatika szakirányán. Főbb kutatási területei az ínak, ínszalagok biomechanikája, falazott szerkezetek numerikus modellezése, emellett 2015 óta végelelemes szoftverfejlesztőként tevékenykedik.

e-mail: ferenc.szakaly@innostuktura.hu

### Dr. Igazvölgyi Zsuzsanna, PhD.

Okleveles építőmérnök, a BME Út és Vasútépítési Tanszék adjunktusa.  
e-mail: igazvolgyi.zsuzsanna@epito.bme.hu



# A teljesítménykövetelmények figyelembevétele aszfaltburkolatú utak számításán alapuló méretezésénél

Ronald Blab, Lukas Eberhardsteiner

**Kivonat:** Ausztriában az útpályaszerkezetek méretezéséhez jelenleg olyan méretezési katalógust használnak, amely 10 forgalmi terhelési osztályt és aszfaltburkolatú típus-pályaszerkezet vonatkozásában 5 variációt különböztet meg. Ezeket a terhelési osztályokat olyan forgalomspecifikus paraméterek alapján határozzák meg, mint az „i” járműkategória napi forgalmának éves átlaga vagy a napi teherforgalom éves átlaga. Ennél a módszernél azonban sem a nagy jelentőséggel bíró – funkcionális – teljesítménytulajdonságokat, sem a forgalom által okozott terhelés részletes adatait (pl. tengelyterhelés vagy összsúly) nem lehet figyelembe venni. Az osztrák útpályaszerkezetek méretezése során ezen korlátok feloldásához egy számításos eljárás került kidolgozásra. Az eljárásban egyes fontos bemeneti paraméterekre, mint például a forgalmi terhelés, valamint a felhasznált aszfaltok merevsége, illetve fáradással szembeni ellenállása, olyan méretezési szinteket vezettek be a teljesítménykövetelményekre alapozva, amelyek figyelembe veszik ezen adatok részletességét. Ez a megközelítés biztosítja, hogy az egyes input adatok meghatározásánál alkalmazott vizsgálatok elterjedésének növekedésével a szükséges méretezési tartalékok csökkenjenek. Ennek köszönhetően az aszfaltburkolatú utak modern, használati szokásokat figyelembe vevő és ezáltal gazdaságos méretezése válik lehetővé.

**Kulcsszavak:** mechanikai pályaszerkezet méretezés, meleg aszfaltkeverék, teljesítményalapú jellemzők

## 1. Bevezetés

Az útpályaszerkezet méretezésének célja a szerkezet oly módon történő méretezése, hogy az a teljes tervezési élettartam alatt megfeleljen a forgalomból származó terhelésnek. Ez azt jelenti, hogy a pályaszerkezetben az összes igénybevétel, illetve alakváltozás, amelyet a forgalom – a klimatikus hatások és a földmű vagy altalaj adottságainak következményeivel együttesen figyelembe véve – okoz, nem lép túl bizonyos határértékeket. A vastagsági méretezés esetében a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően a pályaszerkezetben és a földmű egyes rétegeinek a jellemző forgalmi és időjárási igénybevételre (feszültségek és megnyúlások) jellemző anyagfáradása szolgál.

Az aszfaltburkolatú utaknál általában az aszfaltrétegek alján fellépő, változó húzó igénybevételt és a földmű tetjén kialakuló függőleges nyomó igénybevételt tekintik mértékadónak. A forgalomból származó ciklikus húzó

igénybevételek az anyag fáradásához vezetnek, és az aszfaltszerkezet alján repedések alakulnak ki, amelyek felfelé terjednek („bottom-up cracking”). Ennek következtében a különálló repedések összeérnek, és hálós repedések alakulnak ki, ami a teljes szerkezet teherbírásának gyors és egyre nagyobb mértékű csökkenését okozza.

Az utak méretezését Ausztriában jelenleg az RVS 03.08.62 (FSV 2016a) nemzeti irányelv szabályozza, amely 10 forgalmi terhelési osztályra és aszfaltburkolatú pályaszerkezetek esetén 5-féle típus-pályaszerkezetre kidolgozott méretezési katalógust tartalmaz. Ezeket a típus-pályaszerkezeteket olyan forgalomspecifikus adatok alapján lehet kiválasztani, mint az „i” járműkategória napi forgalmának éves átlaga (JD<sub>TV,i</sub>, jährlich durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke) vagy a napi teherforgalom éves átlaga (JD<sub>TLV</sub>, jährlich durchschnittlichen täglichen Lastverkehrsstärke). Ezek a típus-pályaszerkezetek olyan általános érvényű fizikai és

mechanikai törvényszerűségekre épülnek, amelyek szempiempirikus modellek (Litzka et al., 1996; Molzer et al., 1996; Blab et al., 1998) segítségével írják le az útpályaszerkezet egyes külső terhelésekre (mint pl. forgalom, időjárási viszonyok stb.) adott reakcióját.

Az RVS 03.08.63 (FSV 2016a) irányelvben található méretezési módszertan segítségével igen gyorsan és egyszerűen választható ki a kivitelezendő pályaszerkezet. A méretezési katalógus előírásával azonban jelentős korlátozásokkal kell élni a felhasznált építőanyagok anyagparamétereinek figyelembevételénél, így nagy biztonsági tartalékok szükségesek.

## 2. Aszfaltburkolatú utak számításos méretezése Ausztriában

Ahhoz, hogy a felhasznált anyagok mechanikai tulajdonságait jobban figyelembe tudjuk venni a méretezés során, s ezáltal jobban kihasználhassuk a méretezési tartalékokat, az osztrák aszfaltburkolatú utakhoz egy új számításos méretezési eljárást fejlesztettünk (Blab et al., 2014). Ez nem csupán gazdaságosabb építési módokat tesz lehetővé, hanem azt a célt is szolgálja, hogy az aszfaltkeverékek és pályaszerkezeti rétegek teljesítményi tulajdonságainak a méretezési eljárásban történő figyelembevételével támogassa az innovációt az új kötőanyagok és az aszfaltkeverékek fejlesztése terén. Ez a módszertan az új RVS 03.08.68 (FSV 2016b) osztrák irányelv formájában fog megjelenni.

### 2.1 Méretezési eljárás

A méretezés a teherforgalom-kategóriához tartozó megengedett terhelési ciklusok számának ( $N_{zul}$ ), azaz a meghatározott tervezési élettartam alatt várható átgördülések számának ( $N_{erw}$ ), azaz a terhelésnek az összehasonlításával történik, így az

$$N_{zul} \geq N_{erw} \quad (1)$$

elvet követi. A terhelési ciklusok  $N_{erw}$  várható száma pedig az alábbi összefüggésből határozható meg:

$$N_{erw} = JDTLV \cdot V \cdot S \cdot 365 \cdot n \cdot z \quad (2)$$

ahol

$JDTLV$  : a napi teherforgalom éves átlaga (nehéz tehergépjárművek száma),

$V$  : a sávszorító, amely a teherforgalom több forgalmi sávra történő elosztását írja le,

$S$  : sávon belüli kerékvándorlást figyelembe vevő szorzó,

$n$  : tervezési élettartam (év),

$z$  : pedig a forgalomfejlődési szorzó, amely a következő formában adható meg:

$$z = \frac{q^n - 1}{n(q - 1)} \quad (3)$$

ahol  $q = 1 + p/100$  és  $p$  pedig az éves forgalomnövekedés %-ban.

Az útpályaszerkezet külső terhelésekre adott reakcióját, és ezzel a terhelési ciklusok  $N_{zul}$  megengedett számát általános érvényű fizikai és mechanikai törvények írják le. A forgalomterhelés mint (mértékadó teherforgalom-kategória) bemeneti paraméter, valamint a merevség és fáradási ellenállás, mint aszfaltmechanikai jellemzők számára az eljárás különböző méretezési szinteket vezet be, amelyek a rendelkezésre álló adatok részletezettségétől függően (forgalomszámlálás vagy anyagvizsgálatok eredményei stb.) választhatók ki a méretezendő szakaszhoz. Ezzel biztosítható, hogy a bemeneti paraméterek növekvő pontosságával – ami egyúttal a szükséges biztonsági tartalékok csökkenését is jelenti – a méretezés gazdaságosabbá váljon. Ezen határfeltételek figyelembevételével Burmister (1945) többrétegű rugalmas lemezelmélete segítségével meghatározhatók a mértékadó elsődleges igénybevételek (feszültségek és megnyúlások) a pályaszerkezetben. A szerkezetet egy többrétegű rugalmas féltér írja le, ahol a féltér minden pontjára ki lehet számítani az adott pontban ható elsődleges igénybevételeket (feszültségek:  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  és megnyúlások:  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ ). A számított háromdimenziós feszültségállapot a módosított nyírófeszültség-hipotézis (Leon, 1934; Hagemann, 1980; Altenbach, 1993) alkalmazásával áttranszformálható egy  $\sigma_V$  ekvivalens egytengelyes összehasonlítási feszültségállapotra. Ezen összehasonlítási feszültség figyelembevételével egy, a fáradási függvényre (2.4.4 fejezet) épülő károsodási modell adja meg az útpályaszerkezetnek a terhelő járműkategória által

**1. Táblázat.** Háromszintű méretezési eljárás a tervezési forgalom meghatározásához

Méretezési szint	Rendelkezésre álló adatok		
	Járműcsoportok aránya	Járműosztályok aránya	Összsúly- és tengelyterhelés-eloszlás
1	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre	Nem áll rendelkezésre
2	Rendelkezésre áll	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre
3	Rendelkezésre áll	Rendelkezésre áll	Rendelkezésre áll

okozott károsodását. Eközben a járműkategória (2.2 fejezet) minden  $j$  járművének minden  $i$  tengelyéhez tartozó  $C_{ijk}$  részkarosodást meghatározzuk minden statisztikailag előforduló össztömeghez, valamint az év 12 darab (az aszfaltrétegek hőmérséklet-eloszlásától függő)  $k$  részperiódusára. Az egyes járművek a teljes forgalomhoz viszonyított  $p_j$  arányának, illetve az egyes hőmérsékleti periódusok egy teljes évhez viszonyított  $p_k$  arányának figyelembevételével súlyozhatjuk, és a szuperpozíció elve alapján összesíthetjük ezeket részkarosodásokat a méretezési időtartamra (lásd [4]-es képlet). Ezzel meghatározható a méretezési időtartam.

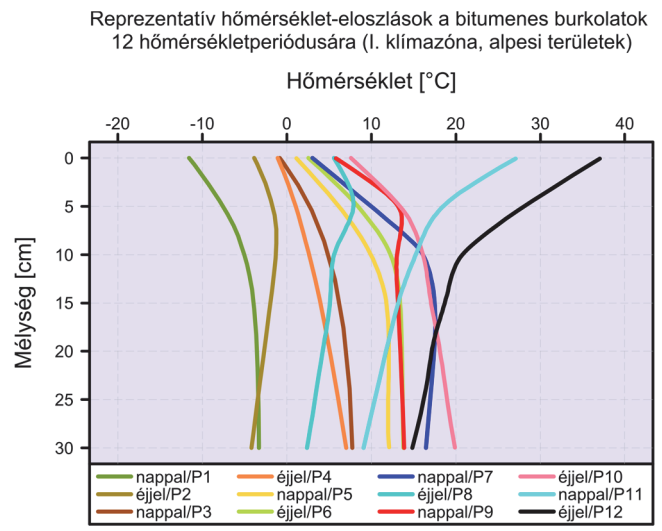
$$\frac{1}{N_{zul}} = C_{zul} = \sum_i \sum_j \sum_k p_j \cdot p_k \cdot C_{ijk} \quad (4)$$

A méretezési eredmények minősége és megbízhatósága jelentősen függ a bemeneti paraméterek meghatározásának pontosságától és azok méretezési eljárásban történő figyelembevételétől. Általánosságban 4 kategóriára oszthatók ezek a bemeneti paraméterek:

- forgalom;
- altalaj/földmű teherbírása;
- klimatikus hatások;
- aszfaltmechanikai tulajdonságok (aszfaltmerevség, fáradási viselkedés).

## 2.2 Mértékadó forgalom

Az út mértékadó forgalmának ismerete a pályaszerkezet méretezésének egyik központi kérdése. Ha nem állnak rendelkezésre forgalommal kapcsolatos adatok, akkor pontosan ezen okból döntő az úttervezők számára, hogy egy olyan méretezési kategóriára hagyatkozhat, amely

**1. Ábra.** Reprezentatív hőmérséklet-eloszlások az aszfaltrétegek 12 hőmérséklet periódusára (I. klímazóna, alpesi területek)


a lehető legpontosabban képezi le az aktuális forgalmat. A származtatott reprezentatív teherforgalmi csoportot mindig olyan aktuális forgalomszámlálási adatokkal (pl. az útdíjellenőrző rendszer automata számlálóállomásai) kombinálva kell alkalmazni, amelyek a teherforgalmat 3 járműcsoportra osztják (2, 3 és 4 vagy többtengelyes járművek). Az osztrák gyorsforgalmi úthálózaton az útdíj-ellenőrzés adatai általában kiváló minőségben és az egész országot lefedően állnak rendelkezésre. A járműosztályok (járműtípusok) hozzárendelése és az összsúly eloszlása, valamint a tengelyterhelés-eloszlás csak helyenként áll rendelkezésre. Ezt a körülményt számításba véve – a rendelkezésre álló adatoktól függően – három, az 1. táblázatban található méretezési szintet határoztunk meg.

A háromszintű méretezési eljárás lehetővé teszi, hogy szükség szerint és a kívánt mértékben lehessen egy reprezentatív teherforgalom-csoportra, illetve saját gyűjtésű forgalmi adatokra hagyatkozni. Ez az eljárás így biztosítja, hogy a mértékadó forgalom meghatározásának részletezettségét a rendelkezésre álló adatok alapján egyedileg lehessen maximalizálni.

Az 1. méretezési szint az általános alkalmazási eset. Ebben az esetben sem a járműosztályok gyakorisági eloszlásáról, sem az egyes járműosztályok összsúlyeloszlásáról nem állnak rendelkezésre adatok. Ezért a statisztiki-



**2. Táblázat.** Az összsúly- és a tengelyterhelés-eloszlás származtatására szolgáló paraméterek (nyergesvontató esetére, VC = Vehicle Class)

Teherjárműosztály	Összsúlyeloszlás meghatározásához szolgáló paraméterek					
	$g_1$	$\mu_1$	$\sigma_1$	$g_2$	$\mu_2$	$\sigma_2$
 VC 113	0,62	407,10	34,94	0,62	305,70	88,79
	Tengelyterhelés-eloszlás meghatározásához szolgáló paraméterek					
	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\alpha_4$	$\alpha_5$	
	0,0716	0,2457	0,2293	0,2260	0,2277	
	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$	
	46,4333	1,3700	-16,7000	-15,5667	-15,4667	

kialakított és központilag biztosított teherforgalmi csoportot és a hozzá tartozó összsúly- és tengelyterhelés-eloszlásokat kell használni. A reprezentatív teherforgalmi csoport járműosztályainak (GW, Gesamtgewicht) összsúlyai a következő összefüggéssel adhatók meg:

$$GW = g_1 \cdot N_1(\mu_1, \sigma_1) + g_2 \cdot N_2(\mu_2, \sigma_2) \quad (5)$$

ahol

- $GW$  : az összsúly [kN],
- $g_1, g_2$  : súlyozó tényezők [-],
- $N_1, N_2$  : normál eloszlás [-],
- $\mu_1, \mu_2$  :  $N_1$  és  $N_2$  normál eloszlások középértékei [kN],
- $\sigma_1, \sigma_2$  :  $N_1$  és  $N_2$  normál eloszlások szórásai [kN].

A reprezentatív teherforgalmi csoport egyes járműkategóriáinak  $L_i$  tengelyterheléseire a következő összefüggés vonatkozik:

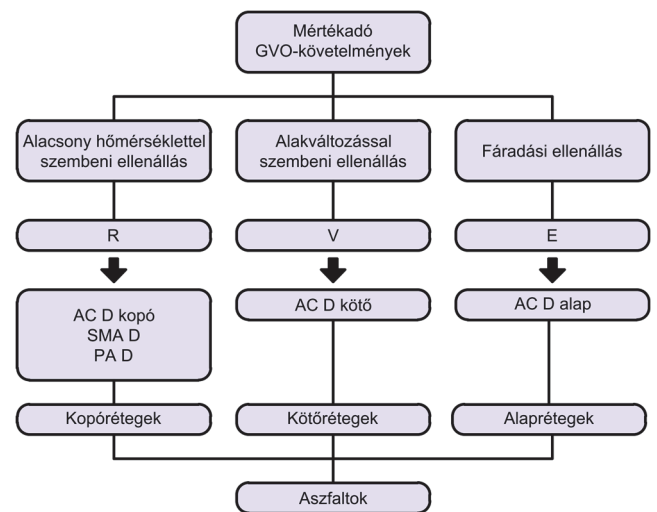
$$L_i = \beta_i + \alpha_i \cdot GW \quad (6)$$

ahol

- $L_i$  : az  $i$ -edik tengely tengelyterhelése [kN],
- $GW$  : (5)-ös egyenlet szerinti összsúly [kN],
- $\alpha_i, \beta_i$  : a vizsgált járműosztály  $i$ -edik tengelyének tengelyterhelési együtthatói [-].

A 2. táblázat példaként mutatja a statisztikailag meghatározott, a tengelymérés adatok kiértékeléséből származó paramétereket, amelyből egy nyerges vontató mértékadó összsúly- és tengelyterhelés-eloszlásai származtathatók.

A 2. méretezési szint abban különbözik az 1. méretezési szinttől, hogy kézi vagy automata, a járműtípusokat



**2. Ábra.** Keveréktípusok és azok lényeges használati tulajdonságai (FSV 2013b)

megkülönböztető forgalomszámlálásból ismert a járműosztályok gyakorisági eloszlása. Ezzel növekszik a részletezettség mértéke a méretezéskor. A reprezentatív teherforgalmi csoport összsúly- és tengelyterhelés-eloszlását hozzávéve ki lehet számítani az adott esetben jellemző forgalmi csoport által okozott átlagos károsodásokat.

A 3. méretezési szint nyújtja a legpontosabb igénybevétele előrejelzést. A járműcsoportok eloszlásának és a járműosztályok előfordulási gyakoriságának ismerete mellett tengelyterhelés-mérésekből a járműosztályok összsúly- és tengelyterhelés-eloszlásai is ismertek. Ebben az esetben a lehető legnagyobb mértékű részletezettséggel lehet számolni a méretezés során.

### 2.3 A földmű teherbírása és a hőmérséklet-eloszlás

**3. Táblázat.** Háromszintű méretezési eljárás a tervezési forgalom meghatározásához

Évszak	12.16. – 03.15.	3.16. – 5.15.	5.16. – 6.15.	6.16.– 9.15.	09.16.– 10.15.	10.16.– 12.15.	12.16. – 03.15.	3.16. – 5.15.	5.16. – 6.15.	6.16.– 9.15.	09.16.– 10.15.	10.16.– 12.15.
A teljes év- hez viszonyí- tott hányad	0,24	0,17	0,09	0,25	0,08	0,17	0,24	0,17	0,09	0,25	0,08	0,17
Hőmérsék- let-periódus	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
p <sub>k</sub>	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka	Nappal	Éjszaka
	0,16	0,08	0,11	0,06	0,06	0,03	0,17	0,08	0,05	0,03	0,11	0,06

A földmű teherbírása erősen függ a helyi időjárási és hidrológiai viszonyoktól. Ezért az évet 4 különböző merevségi tényezővel jellemezhető periódusra osztjuk. Míg a földmű és az altalaj teherbírása télen, fagyott talajnál éri el maximumát, addig a merevség a tavaszi olvadási időszakban minimálisra csökken. A pályaszerkezet nem kötött alsó és felső rétegeinél a réteg vastagságától és a felhasznált anyagtól függően változó rugalmassági modulusokat alkalmazunk a földmű, illetve az alatta levő rétegek jellemzéséhez.

Az Ausztriában uralkodó időjárási viszonyokból adódóan az aszfaltrétegekben hőmérséklet-ingadozások jelentkeznek, amelyek módosítják a merevségi tulajdonságokat. A bemutatott méretezési eljárásnál (Wistuba, 2003) hőmérsékleti modelljét vesszük figyelembe, amely hosszú távú, ausztriai meteorológiai vizsgálatokon alapszik. Ennek segítségével meghatározhatók az útburkolatok valóságos hőmérséklet-eloszlásai Ausztria különböző klímájú térségeihez. Ennek során 6 időjárási periódusra osztjuk az évet, ahol megkülönböztetjük a nappalt és az éjszakát (Mais, 1973). Így egy évre 12 hőmérsékleti periódus adódik, amelyekhez az aszfaltrétegekben kialakuló jellemző hőmérséklet-eloszlások tartoznak (3. táblázat). Egy ilyen hőmérsékleti eloszlást mutat be az 1. ábra az ausztriai alpesi területeinek példájával (I-es hőmérsékleti zóna).

## 2.4 Aszfaltmechanikai tulajdonságok

### 2.4.1 Aszfaltkeverékekkel és -rétegekkel szemben támasztott teljesítménykövetelmények

Az RVS 08.16.06 (FSV 2013a) és RVS 08.97.06 (FSV 2013b) irányelvek bevezetése óta Ausztriában lehetőség

van az aszfaltkeverék funkcionális tulajdonságait figyelembe vevő megközelítés (GVO, gebrauchsvorhalten-orientiert) alapján történő pályázati kiírásokra. Ez – ellentétben az empirikus megközelítéssel – lehetővé teszi, hogy funkcionális követelményeket állítsunk fel a keverékekkel szemben. A használati tulajdonságok közé tartozik a plasztikus deformációval szembeni ellenállás magas hőmérsékleteken (nyomvályúsodással szembeni ellenállóság), a fáradással szembeni ellenállóság ciklikus (forgalmi) terhelés esetén, valamint a hőmérséklet- és terhelésfüggő anyagmerevség illetve a termikus repedések képződésével szembeni ellenállás alacsony hőmérsékleteken. A kopó (alacsony hőmérséklettel szembeni ellenállás követelményei, R: Rissbeständigkeit), kötő (alakváltozással szembeni ellenállás követelményei, V: Verformungsbeständigkeit) és alap (fáradással szembeni ellenállás követelményei, E: Ermüdungsbeständigkeit) aszfaltrétegekkel szemben támasztott GVO-követelményeket osztályokba soroljuk, amelyek határértékeket tartalmaznak az egyes rétegek speciális követelményeihez. A 2. ábra áttekintést nyújt a GVO megközelítés alapján tervezhető keveréktípusokról, és azok lényeges használati tulajdonságairól.

- R (repedésekkel szembeni ellenállás alacsony hőmérsékleteknél): Ez a megnevezés arra utal, hogy olyan kopó rétegekhez való keveréktípusról van szó, amelyet első sorban alacsony hőmérsékletek melletti repedésekkel szembeni ellenállásra terveztek, és öt típusra osztanak (R1, R2, R3, R4 és R5).
- V (alakváltozással szembeni ellenállás magas hőmérsékleteken): Ez a megnevezés arra utal,

**4. Táblázat.** Javasolt minimális követelmények kopó rétegek esetén [R-osztály az alacsony hőmérsékletek melletti viselkedéshez]

$T_{max}$ 95%	$\leq 30^{\circ}\text{C}$	$\leq 30^{\circ}\text{C}$	$> 30^{\circ}\text{C}$	$> 30^{\circ}\text{C}$
$T_{min}$ 95%	$\geq -10^{\circ}\text{C}$	$< -10^{\circ}\text{C}$	$\geq -10^{\circ}\text{C}$	$< -10^{\circ}\text{C}$
JDTLV $> 1300$	R2	R1	R2	R1
JDTLV $\leq 1300$	R4	R3	R4	R3

hogy olyan kötőrétegekhez való keveréktípusról van szó, amelyet elsősorban magas hőmérsékletek melletti maradandó alakváltozásokkal szembeni ellenállásra terveztek, és négy típusra osztanak (V1, V2, V3 és V4).

- E (fáradással szembeni ellenállás): Ez a megnevezés arra utal, hogy olyan alaprétegekhez való keveréktípusról van szó, amelyet első sorban fáradási repedésekkel szembeni ellenállásra terveztek, és négy típusra osztanak (E1, E2, E3 és E4).

A fáradási ellenállással szemben az alaprétegek aszfaltjainál (E1–E4 típusok), és a kötőrétegekbe szánt aszfaltoknál (V1 és V2) is támasztunk minimális követelményeket, ÖNORM EN 12697-24 (ONI 2012) szerinti, 4 pontos hajlított gerendán végzett fáradási vizsgálatokból  $10^6$  terhelési ciklus után meghatározott megnyúlás ( $\varepsilon_6$ ) formájában. A gyártónak továbbá minden kopó, kötő- és alaprétegbe szánt aszfaltkeveréknél meg kell adnia az ÖNORM EN 12697-26 (ONI 2004) szerinti, 4 pontos hajlított gerendán meghatározott  $S_{min}$  minimális merevséget. A gyártó által garantált fáradással szembeni ellenállás és minimális merevség ezt követően megadott teljesítményjellemzőként beépülnek a számításos méretezésbe.

#### 2.4.2 Minimumkövetelmények a méretezéshez

A mértékadó használati időszak koncepciója alapján kidolgoztunk egy összefüggést az időjárási peremfeltételek (az uralkodó levegőhőmérséklet-maximumok, illetve -minimumok 95%-os kvantilise), továbbá a forgalomfüggő mechanogén igénybevétel és a keverékkel szemben támasztott RVS 08.97.06 szerinti GVO-követelmények (R-, V-, E-osztályok) között, amely (minimál-) követelménymátrix formájában adható meg (4–6. táblá-

**5. Táblázat.** Javasolt minimumkövetelmények kötőrétegek esetén [V-osztály az alakváltozáshoz]

$T_{max}$ 95%	$\leq 30^{\circ}\text{C}$	$\leq 30^{\circ}\text{C}$	$> 30^{\circ}\text{C}$	$> 30^{\circ}\text{C}$
$T_{min}$ 95%	$\geq -10^{\circ}\text{C}$	$< -10^{\circ}\text{C}$	$\geq -10^{\circ}\text{C}$	$< -10^{\circ}\text{C}$
JDTLV $> 1300$	V2	V1	V2	V1
JDTLV $\leq 1300$	V4	V3	V4	V3

zat). Klímaterképek (lásd pl. Wistuba et al., 2001) felhasználásával egyes útszakaszokhoz az aktuális, illetve becsült forgalom figyelembevételével hozzárendelhető a tervezett aszfaltrétegek keverékeivel szemben támasztott összes GVO-követelmény.

#### 2.4.3 Aszfaltmerevség valóságghű leképezése

Az aszfalt hőmérséklet- és frekvenciafüggő merevségi viselkedése anyagmodellt alkalmazva becsülhető a felhasznált bitumen tulajdonságaiból és a keverék térfogati jellemzőiből. A bemutatott eljárásban a bécsi modell (Blab et al., 2014), (lásd [7]-es és [8]-as egyenlet) került alkalmazásra, amely a Hirsch-féle megközelítésére (Anderson–Christensen, 1991) épül. A modell segítségével az aszfalt merevsége  $|E^*|(T, f)$  (N/mm<sup>2</sup>-ben) az ásványi anyag VMA szabadhézag aránnyal (%-ban), a VFB kötőanyag kitöltöttségi aránnyal (%-ban) és a kötőanyag nyírési modulusával  $|G_{bit}^*|(T, f)$  (N/mm<sup>2</sup>-ben) meghatározható  $T$  hőmérsékletre és  $f$  frekvenciára.

$$|E^*|(T, f) = \frac{p_c}{145,0377} \left[ a \left( 1 - \frac{VMA}{100} \right) + 145,0377 \cdot 3 |G_{bit}^*|(T, f) \left( \frac{VFB \cdot VMA}{10,000} \right) \right] + \frac{(1 - p_c)}{145,0377} \left[ \frac{1 - \frac{VMA}{100}}{a} + \frac{VMA}{VFB \cdot 145,0377 \cdot 3 |G_{bit}^*|(T, f)} \right] \quad (7)$$

ahol

$$p_c = \frac{\left( b + \frac{VFB \cdot 145,0377 \cdot 3 |G_{bit}^*|(T, f)}{VMA} \right)^c}{d + \left( \frac{VFB \cdot 145,0377 \cdot 3 |G_{bit}^*|(T, f)}{VMA} \right)^c} \quad (8)$$

Az  $a$ ,  $b$ ,  $c$  és  $d$  paraméterek meghatározására elkészült egy ezen paramétereket tartalmazó adatbázis, amely

**3. Ábra.** Háromszintű méretezési eljárás az aszfaltmerevség bemeneti paraméterhez

Méretezési szint	Rendelkezésre álló adatok		
	Térfogatösszetétel	$ G_{bit}^* $ DSR-vizsgálatokból (EN 14770)	Aszfaltmerevség $S_{min}$ @ 20°C (EN13108)
1	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre	Nem áll rendelkezésre
2	Rendelkezésre áll	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre
3	Rendelkezésre áll	Nem áll rendelkezésre	Rendelkezésre áll

kb. 1500, az általában használt anyagokon végzett merevségi mérések eredményén alapul. A paramétereket a kiválasztott bitumenfajta (hagyományos útépitési vagy polimerrel modifikált bitumen) és a biztonsági szint függvényében lehet megválasztani.

A tervezési forgalom 2.2 fejezetben leírt meghatározása mellett az aszfaltmerevség figyelembevételénél is egy többszintű rendszert alkalmazunk. Az elvégzett vizsgálatok terjedelmének függvényében különböző pontossággal lehet figyelembe venni a felhasznált keverék tényleges tulajdonságait. Ennek során – ahogyan azt a 3. ábra mutatja – 3 méretezési szintet különböztetünk meg, ahol mind a részletezettség, mind a vizsgálat igény minden szinttel növekszik. Az 1-es méretezési szintben a felhasznált keveréknek (hézag- és kötőanyag-tartalom, illetve a köváz és a keverék sűrűsége) csak az összetétel adatai állnak rendelkezésre. Ebben az esetben egy modellbitumen ( $|G_{bit}^*|$ ) anyagtulajdonságaira kell hagyatkozni. A térfogati adatokból származtathatók a bécsi modell VMA és VFB paraméterei, és a megfelelő  $a$ ,  $b$ ,  $c$  és  $d$  paraméterek megválasztása után megbecsülhető az aszfalt merevsége. Annak ellenére, hogy megkülönböztetjük az útépitési és polimerrel modifikált bitumenes keverékeket, ezen a szinten csak a tényleges térfogati jellemzőkre hagyatkozunk. Ezért viszonylag nagy méretezési tartalékokat kell hagyni.

A bécsi modell  $a$ ,  $b$ ,  $c$  és  $d$  paramétereit a kiválasztott bitumentípus és a megkövetelt megbízhatósági szint függvényében a 7. táblázat tartalmazza. A modellbitumen  $T$  hőmérséklettől ( $^{\circ}\text{C}$ ) függő  $|G_{bit}^*|(T, f)$  merevsége a következő alakú függvénnyel írható le (9):

**6. Táblázat.** Javasolt minimumkövetelmények alaprétegek esetén (E-osztály fáradási viselkedéshez)

$T_{max}$ 95%	$> 30^{\circ}\text{C}$	$\leq 30^{\circ}\text{C}$
JDTLV $> 1800$	E1	E3
JDTLV $\leq 1800$	E2	E4

$$|G_{bit}^*|(T, f) = \frac{1}{1\,000\,000} \cdot \exp\left(y_0 + \frac{m}{1 + \left(\frac{T+273,15}{x_0}\right)^n}\right)$$

Az  $m$ ,  $n$ ,  $x_0$  és  $y_0$  paramétereket 8 Hz-es frekvenciához (80 és 100 km/h közötti haladási sebességnek felel meg) a 8. táblázat adja meg.

Amennyiben a térfogati adatok mellé ÖNORM EN 14770 (CEN, 2012) szerint végzett DSR-vizsgálatokból a bitumen  $|G_{bit}^*|$  merevsége is ismert, a 2-es méretezési szint alkalmazható. Ez esetben a bécsi modell segítségével, de modellbitumen alkalmazása nélkül határozható meg a keverék merevsége.

A 3-as méretezési szintet akkor alkalmazzuk, ha a merevség leírására szolgáló  $S_{min}$  (N/mm<sup>2</sup>) GVO-paraméter ismert az ÖNORM EN 12697-26 (ONI 2004) szerinti, négy pontos hajlított gerendán végzett merevségi vizsgálatokból 20°C-os hőmérsékleten és 8 Hz-es frekvencián. Ezt az értéket a keverék gyártójának kell meghatározni és megadni. Az 1. szinten leírt módszertannal meghatározható az aszfalt merevsége, amelyet egy KFS korrekciós tényezővel (lásd [10]-es egyenlet) igazítunk hozzá az alkalmazott keverék tényleges, mért merevségéhez. Az  $E_p$  értéket a kiválasztott bitumentípus (hagyományos útépitési bitumen, polimerrel modifikált bitumen) és a  $p$  biztonsági szint függvényében lehet megválasztani.

$$KF_s = \frac{S_{min}}{E_p} \quad (10)$$

A  $p$  megbízhatósági szinttel statisztikailag meghatározott  $E_p$  érték megfelel a tényleges térfogati jellemzők, a modellbitumen (útépitési bitumen vagy polimerrel modifikált bitumen) 20 °C-on vett nyírási modulusának és a kiválasztott  $p$  megbízhatósági szint figyelembevételével a bécsi modell alapján becsült merevségének. Magasabb rendű úthálózatok (autópálya, gyorsforgalmi utak) útjainál mindenképpen 95%-os megbízhatósági

**7. Táblázat.** Bécsi modell a, b, c és d paraméterei az útéptési és polimerrel modifikált bitumen megbízhatósági szintjei függvényében

Modellparaméter	a	b	c	d
Megbízhatósági szint	EN 12591 szerinti útéptési bitumen			
85%	5 041 315,00	310,19	0,92	41 376,03
90%	4 025 792,00	747,43	1,07	151 858,30
95%	3 918 366,00	687,25	1,05	135 252,80
Megbízhatósági szint	EN 14023 szerinti polimerrel modifikált bitumen			
85%	7 079 529,00	12 131,20	1,12	838 934,40
90%	7 194 946,00	12 207,70	1,12	852 557,90
95%	8 289 791,00	9 997,08	1,01	309 265,80

szintet kell választani. A kötőanyag és hőmérsékletfüggő rétegmerevségeket, illetve a megbízhatósági szintet a 8. táblázat tartalmazza. Az  $S_{min}$  hőmérsékletfüggő rétegmerevséget ezután a bécsi modell alapján, az  $a$ ,  $b$ ,  $c$  és  $d$  paraméterek alkalmazásával és a KFS korrekciós tényezővel történő szorzással határozhatjuk meg.

#### 2.4.4 Az aszfalt fáradásának figyelembevétele

A fáradás leírására egy

$$N = \frac{k_1(T)}{F(\varepsilon_6)} \cdot \left( \frac{|E^*(T, f)|}{\sigma_v} \right)^{k_2(T)} \quad (11)$$

formájú, átdolgozott fáradási kritériumot alkalmaz a méretezési eljárás (Blab et al., 2014). Ezen összefüggés segítségével meghatározható a szerkezet fáradásáig elviselhető terhelési ciklusok száma, amely a  $\sigma_v$  összehasonlítási feszültségből, az  $|E^*|$  merevségből (2.4.3 fejezet), valamint a

$$k_1(T) = 10^{-(0,0077 \cdot T^2 - 0,4859 \cdot T + 17,602)} \quad (12)$$

és

$$k_2(T) = 0,0015 \cdot T^2 - 0,0875 \cdot T + 6,1803 \quad (13)$$

fáradási paraméterekből adódik. A (11)-es egyenletben szereplő  $F(\varepsilon_6)$  tényező függ a fáradást leíró  $\varepsilon_6$  ( $\mu\text{m}/\text{m}$ ) GVO-paramétértől, amelyet az ÖNORM EN 12679-24 (ONI 2012) szerinti, négyponos hajlított gerendán vég-

**8. Táblázat.** A merevséget a megbízhatósági szint függvényében leíró  $m$ ,  $n$ ,  $x_0$  és  $y_0$  paraméterek útéptési és polimerrel modifikált módosított (modell-) bitumenhez ( $f = 8 \text{ Hz}$ )

Modellparaméter	m	n	$x_0$	$y_0$
Megbízhatósági szint	EN 12591 szerinti útéptési bitumen			
85%	21,42	11,00	320,91	0,00
90%	20,42	14,00	314,86	0,51
95%	19,80	14,00	313,37	1,14
Megbízhatósági szint	EN 14023 szerinti polimerrel modifikált bitumen			
85%	17,86	9,00	324,04	2,81
90%	16,02	10,00	321,09	4,11
95%	15,64	10,00	322,12	4,31

zett fáradási vizsgálatokkal lehet  $20^\circ\text{C}$ -os hőmérsékleten és 30 Hz-es frekvencián meghatározni. Az  $F$  tényező az

$$F(\varepsilon_6) = 1,6833 - 0,5256 \cdot \left( \frac{\varepsilon_6}{100} \right) \quad (14)$$

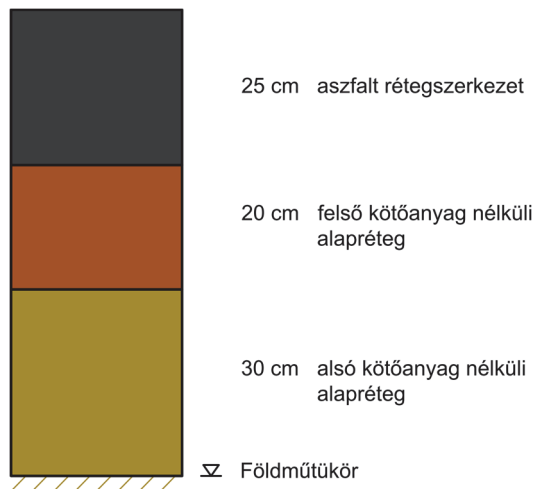
összefüggésből számítható.

### 3. Méretezési példa

Ennek a módszernek az előnye abban rejlik, hogy segítségével a túlméretezés jelentősen csökkenthető, amennyiben a bemeneti paraméterekről részletesebb leírás áll rendelkezésre, és ezáltal növelhető a számított élettartam, amelyet a gazdaságossági értékelés keretében lehet figyelembe venni. Ezt a következő példák hivatottak bemutatni. Egy, a salzburgi repülőtér közelében elhelyezkedő ( $T_{max,95\%} = 32,3^\circ\text{C}$ ,  $T_{min,95\%} = -9,8^\circ\text{C}$ ) útszakaszt vizsgálunk, amelynek forgalma  $2200 \text{ tkg}/24 \text{ h}$ . Az aszfalt alapréteget AC22 típusú aszfaltból (VMA = 20,9%, VFB = 83,7%) kívánjuk készíteni PmB45/80-65 polimerrel modifikált kötőanyaggal. A merevség és a fáradás leírására szolgáló, ÖNORM EN 12697-26 (ONI 2004) és ÖNORM EN 12697-24 (ONI 2012) szerinti négyponos hajlítás vizsgálatokból az  $S_{min} = 4500 \text{ N}/\text{mm}^2$  és  $\varepsilon_6 = 260 \mu\text{m}/\text{m}$  GVO-paraméterek adódtak. 20 éves tervezési élettartamot és évenkénti 3%-os forgalomnövekedést figyelembe véve az osztrák RVS

9. Táblázat. Vizsgált méretezési változatok

Változat	Méretezési eljárás	Forgalom	Anyag merevsége	Anyag fáradása
1	RVS 03.08.63 méretezési katalógus	JDTLV=2200 tkg/24 h	-	-
2	RVS 03.08.68 számításos méretezés	1. Méretezési szint (JDTLV=2200 tkg/24 h)	1. Méretezési szint (PmB, VMA, VFB)	$\varepsilon_6 \geq 190$ $\mu\text{m/m}$
3		1. Méretezési szint (JDTLV=2200 tkg/24 h)	3. Méretezési szint ( $S_{\min}=4500 \text{ N/mm}^2$ )	$\varepsilon_6 \geq 190$ $\mu\text{m/m}$
4		1. Méretezési szint (JDTLV=2200 tkg/24 h)	1. Méretezési szint (PmB, VMA, VFB)	$\varepsilon_6 \geq 260$ $\mu\text{m/m}$



4. Ábra. Vizsgált pályaszerkezet

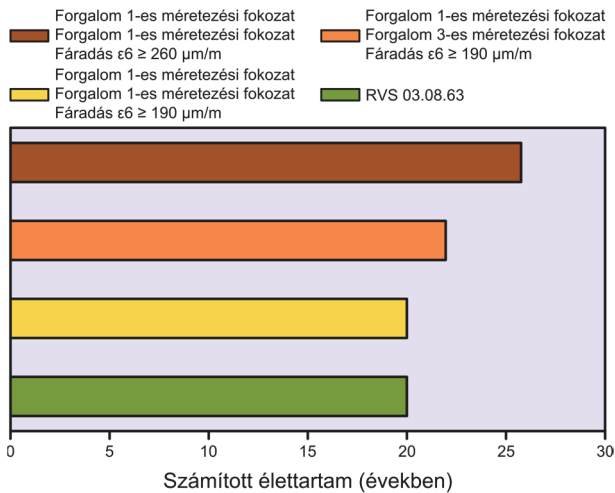
03.08.63 (FSV 2016a) méretezési katalógus szerinti méretezés LK25-ös terhelési osztály szerinti szerkezetet eredményez.

Az AS1 típus-pályaszerkezet esetén például 30 cm vastag kötőanyag nélküli alsó alaprétegből, 20 cm vastag kötőanyag nélküli felső alaprétegből és 25 cm vastag aszfaltréteg-szerkezetből felépülő burkolat adódik. Ez az eredmény nem függ a kiválasztott aszfaltkeverék keverék tulajdonságaitól (4. ábra). Ezt a kialakítást megvizsgáltuk a bemutatott számításos méretezési eljárással, és meghatároztuk a számított élettartamot. A forgalomhoz használhatjuk az 1. méretezési szintet, ahol az egyes járműtípusok, illetve azok összsúly- és tengelyterhelés-eloszlásának előfordulási valószínűségére statisztikailag biztosított, reprezentatív eloszlásokat alkalmazunk. Mivel a keverék térfogati összetétele ismert, és polimerrel modifikált kötőanyagot használunk, alkalmazhatjuk az 1-es méretezési szintet a merevségre is. A

modellbitumen mechanikai viselkedését figyelembe véve a (7)-es egyenlet alkalmazásával megbecsülhető a merevség hőmérsékletfüggése. A 4. és 6. táblázatból olvashatók az RVS 08.97.06 (FSV 2013b) szerinti R2, V2, és E1 GVO-követelmények. A fáradás tekintetében ez azt jelenti, hogy teljesülnie kell az  $\varepsilon_6 \geq 190 \mu\text{m/m}$  feltételnek. Ezekből a feltételezésekből 20 éves számított élettartam adódik a 4. ábrán látható felépítésre.

Mivel az  $S_{\min}$  GVO-paraméter négyponthas hajlítási vizsgálatból határozták meg 20°C-on, a felhasznált keverék merevségére alkalmazható a 3. méretezési szint, a merevség hőmérsékletfüggése pedig a KFS segítségével a (10)-es egyenlettel illeszthető. A forgalomhoz az 1. méretezési szintet és az  $\varepsilon_6 \geq 190 \mu\text{m/m}$  feltételt figyelembe véve 22 éves számított élettartam adódik.

A fáradással szembeni ellenállást leíró  $\varepsilon_6$  GVO-paraméternek a négyponthas hajlítási vizsgálatból történő meghatározása lehetővé teszi az alkalmazott keverék fáradási viselkedésének figyelembe vételét. Amennyiben a gyártó az AC-alap aszfalt alaprétegre  $\varepsilon_6 \geq 260 \mu\text{m/m}$  fáradással szembeni ellenállást ad meg és garantál, az  $F(\varepsilon_6)$  meghatározható a (14)-es egyenletből. Mind a forgalomra, mind a merevségre az 1. méretezési szintet alkalmazva már 27 éves számított élettartam adódik a vizsgált burkolatra. Az előre jelzett műszaki élettartamot az 4. ábra hasonlítja össze. A számításos méretezési módszer alkalmazásával a hagyományos méretezési megközelítéshez képest akár 30%-kal is nőhet a becsült használati időtartam. Az anyagtulajdonságok részletesebb leírása tehát hatékonyabb méretezést és gazdaságosabb építési típusokat tesz lehetővé.



4. Ábra. Vizsgált élettartamok összehasonlítása

#### 4. Összefoglalás

Az aszfaltburkolatú utak Ausztriában jelenleg alkalmazott méretezésénél szemiempirikus méretezési modelleket használnak, amelyek ugyan könnyen alkalmazhatók, azonban nem biztosítanak elegendő mozgásteret ahhoz, hogy a tényleges jellemzőket (forgalom, a használt aszfalt anyagtulajdonságai stb.) lehessen figyelembe venni az egyes méretezendő útszakaszokhoz. Különösen kritikusnak tekintendő azon lehetőség hiánya, hogy a nagyobb teljesítményű aszfaltok használata kihatással legyen a méretezés eredményére, ami visszafogja az anyagok fejlesztését célzó innovációt. Ezért az osztrák aszfaltburkolatú utak számára számításos méretezési eljárást dolgoztunk ki, amely a meglévő eljárás továbbfejlesztésének és optimalizálásának tekinthető. Az eljárásban többszintű méretezési felépítést alkalmaztunk, amelyek lehetővé teszik a méretezendő szakasz aktuálisan rendelkezésre álló adatainak (forgalmi adatok, anyagvizsgálatok eredményei stb.) figyelembe vételét. A bemeneti paraméterek nagyobb pontossága ugyan átfogóbb vizsgálatokat igényel, azonban ezzel minimalizálhatók a méretezési tartalékok, és gazdaságosabb burkolatok készíthetők. A bemutatott eljárás tehát modern, figyelembe veszi a használati szokásokat, továbbá gazdaságos méretezést tesz lehetővé az aszfaltburkolatú utaknál. Előreláthatólag az új RVS 03.08.68 (FSV 2016b) osztrák irányelvként fog megjelenni.

#### 5. Irodalmi hivatkozások

Altenbach, H. (1993): Einführung in die Werkstoffmechanik, Leipzig–Stuttgart, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie.

Anderson, D. A.; Christensen, D.W. (1991): Rheological evidence concerning the molecular architecture of asphalt cements. Proceedings of Chemistry of Bitumen 2, 1991 Rome.

Blab, R.; Eberhardsteiner, L.; Haselbauer, K.; Marchart, B.; Hessmann, T. (2014): OBESTO – Implementierung des GVO- und LCCA-Ansatzes in die österreichische Bemessungsmethode für Straßenbauten. Wien.

Blab R., Litzka, J.; Molzer, C. (1998): The new Austrian standard for pavement design. Proceedings of the Fifth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields. Trondheim, 6–8 Juli 1998, 1, 619–628.

Burmister, D. M. (1945): The general theory of stresses and displacements in layered systems. Journal of Applied Physics, 16.

CEN 2012. EN 14770: Bitumen és bitumenes kötőanyagok. A komplex nyírási modulus és a fázisszög meghatározása. Dinamikus nyíróreométer (DSR) Brüsszel.

FSV 2013a. RVS 08.16.06 – Anforderungen an Asphaltmischgut – Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz. Wien.

FSV 2013b. RVS 08.97.06 – Anforderungen an Asphaltmischgut – Gebrauchsverhaltensorientierter Ansatz. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr.

FSV 2016a. RVS 03.08.63 – Oberbaubemessung. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr.

FSV 2016b. RVS 03.08.68 – Rechnerische Dimensionierung von Asphaltstraßen. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr.

**Hagemann, R.** (1980): Ein Verfahren zur Beurteilung flexibler Fahrbahnbefestigungen unter Berücksichtigung von Festigkeitshypothesen für Asphalt.

**Leon, A.** (1934): Über die Rolle des Trennbruchs im Rahmen der Mohrschen Anstrengungshypothese. Der Bauingenieur, 15.

**Litzka, J.; Molzer, C.; Blab, R.** (1996): Modifikation der Österreichischen Bemessungsmethode zur Dimensionierung des Straßenoberbaus, Wien, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten.

**Mais, R.** (1973): Zur Beanspruchung von bituminösen Fahrbahnbefestigungen. Ein Beitrag zur Ermittlung standardisierter Fahrbahnbefestigungen mit Hilfe der Mehrschichtentheorie, Bonn.

**Molzer, C.; Fußeis, W., Litzka, J.; Steierwald, G.** (1996): Auswirkungen von Achslastenerhöhung auf

das Bundesstraßennetz, Wien, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten.

**ONI 2004. ÖNORM EN 12697-26:** Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei. 26. rész: Merevség.

**ONI 2012. ÖNORM EN 12697-24:** Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverék vizsgálati módszerei. 24. rész: Fáradási ellenállás.

**Wistuba, M.** (2003): Klimaeinflüsse aus Asphaltstraßen – Maßgebende Temperatur für die analytische Oberbaubemessung in Österreich, Wien, Technische Universität Wien.

**Wistuba, M.; Litzka, J.; Blab, R.** (2001): Klimakenngrößen für den Straßenoberbau in Österreich, Wien, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten.

---

## Berücksichtigung von Performance-Anforderungen bei der Rechnerischen Dimensionierung von Asphaltstraßen

**Abstract:** Pavement design in Austria is currently based on a design catalogue consisting of standard constructions distinguishing ten load classes and five asphalt pavement types. Thereby, traffic-related parameters like the average annual truck traffic (AATT) determine the load class. However, this approach neither allows the consideration of essential performance-based material properties, nor detailed information regarding the traffic load (e. g. axle load or vehicle gross weight). To eliminate these limitations, a mechanistic design method for bituminous pavements was developed, which introduces design levels for the important input parameters traffic load as well as the stiffness and fatigue behavior of the applied asphalt type taking the level of detail of these variables into account. This approach ensures that necessary design reserves decrease with increasing experimental effort for parameter identification. Thus, this method allows for a modern, performance-related and, hence, economic design of bituminous pavements.

**Keywords:** Mechanistic pavement design, Hot mix asphalt, Performance-based characteristics

**Prof. dr. R. Blab, egyetemi tanár**

e-mail: ronald.blab@tuwien.ac.at

**Dr. L. Eberhardsteiner**

e-mail: lukas.eberhardsteiner@tuwien.ac.at

Közlekedéstudományi Intézet – Útügyi Kutatási Részleg  
Bécsi Műszaki Egyetem, Gußhausstraße 28/230/3, A-1040 Wien





# Esettanulmány nagy nehézforgalmú utak „optimális” aszfaltkopóréteg-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 aszfaltkopóréteg-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 sávban való változtathatóságát teszik lehetővé anélkül, hogy a rendszer normális működését megzavarnák.

**Kulcsszavak:** aszfaltkopóréteg-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 aszfaltkopó-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 <sub>2</sub> -emisszió
NYUGAT	3a	Rövid távú klímaváltozás	↑ Technológia ↑↑ Forgalmobiztonság
	3b	Hosszú távú klímaváltozás	↑ Technológia ↑↑ Forgalmobiztonság ↑ CO <sub>2</sub> -emisszió
KÖZÉP	4a	Rövid távú klímaváltozás	↑ Alakváltozási ellenállás ↑↑ Bomlási ellenállás ↑ Forgalmobiztonság
	4b	Hosszú távú klímaváltozás	↑ Alakváltozási ellenállás ↑↑ Bomlási ellenállás ↑ Forgalmobiztonság ↑ CO <sub>2</sub> -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 <sub>1</sub>	Költségek, C <sub>1.1</sub>	Kezdeti beruházás, I <sub>1.1.1</sub> Élettartamköltség, I <sub>1.1.2</sub>
Környezeti, R <sub>2</sub>	Erőforrás-hatékonyság, C <sub>2.1</sub>	Adalékanyag-igény, I <sub>2.1.1</sub> Bitumenigény, I <sub>2.1.2</sub>
	Fogyasztások, C <sub>2.2</sub> Károsanyag-kibocsátás, C <sub>2.3</sub>	Energiafogyasztás, I <sub>2.2.1</sub> CO <sub>2</sub> -kibocsátás, I <sub>2.3.1</sub>
Társadalmi, R <sub>3</sub>	Kényelem, C <sub>3.1</sub>	Utazáskényelem, I <sub>3.1.1</sub> Zaj, I <sub>3.1.2</sub>
	Biztonság, C <sub>3.2</sub>	Csúszásellenállás, I <sub>3.2.1</sub> Vízköd, vízen csúszás I <sub>3.2.2</sub>
Műszaki (funkcionális), C <sub>4.1</sub>	Mechanikai ellenállás, C <sub>4.1</sub>	Bomlási ellenállás, I <sub>4.1.1</sub> Deformációs ellenállás, I <sub>4.1.2</sub>

- a csapadékintenzitás 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 <sub>1</sub> vs. R <sub>2</sub>	0,709	0,002
	R <sub>1</sub> vs. R <sub>3</sub>	0,876	
	R <sub>1</sub> vs. R <sub>4</sub>	0,484	
	R <sub>2</sub> vs. R <sub>3</sub>	1,249	
	R <sub>2</sub> vs. R <sub>4</sub>	0,603	
	R <sub>3</sub> vs. R <sub>4</sub>	0,619	
Kritériumok	C <sub>2.1</sub> vs. C <sub>2.2</sub>	1,643	0,000
	C <sub>2.1</sub> vs. C <sub>2.3</sub>	1,530	
	C <sub>2.2</sub> vs. C <sub>2.3</sub>	0,902	
	C <sub>3.1</sub> vs. C <sub>3.2</sub>	0,221	0,000
Mérőszámok	I <sub>1.1</sub> vs. I <sub>1.1.2</sub>	0,477	0,000
	I <sub>2.1</sub> vs. I <sub>2.1.2</sub>	0,450	0,000
	I <sub>3.1</sub> vs. I <sub>3.1.2</sub>	1,812	0,000
	I <sub>3.2</sub> vs. I <sub>3.2.2</sub>	2,458	0,000
	I <sub>4.1</sub> vs. I <sub>4.1.2</sub>	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 <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
R <sub>1</sub>				1/3
R <sub>2</sub>	1/7			1/5
R <sub>3</sub>	1/5	1/5		1/5
R <sub>4</sub>				

(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 <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
R <sub>1</sub>			5,446	0,416
R <sub>2</sub>	0,194			0,205
R <sub>3</sub>	0,184	0,277		
R <sub>4</sub>	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 <sub>1</sub>		R <sub>2</sub>				R <sub>3</sub>				R <sub>4</sub>	
0,178		0,244				0,209				0,369	
C <sub>1.1</sub>		C <sub>2.1</sub>	C <sub>2.2</sub>	C <sub>2.3</sub>	C <sub>3.1</sub>	C <sub>3.2</sub>			C <sub>4.1</sub>		
1,000		0,442		0,266	0,292	0,181		0,819		1,000	
h <sub>1.1</sub>	h <sub>1.2</sub>	l <sub>2.1</sub>	l <sub>2.2</sub>	l <sub>2.3</sub>	l <sub>3.1</sub>	l <sub>3.2</sub>	l <sub>3.2.1</sub>	l <sub>3.2.2</sub>	l <sub>4.1</sub>	l <sub>4.2</sub>	
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:

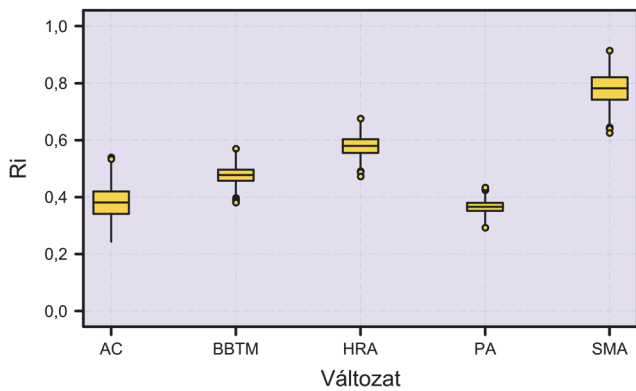
**6. Táblázat.** Mérőszámok sztochasztikus és kanonikus alakú értékelése

Mérőszám	Érték	AC	BBTM	HRA	PA
I <sub>1.1.1</sub>	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 <sub>1.1.2</sub>	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 <sub>2.1.1</sub>	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 <sub>2.1.2</sub>	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 <sub>2.2.1</sub>	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 <sub>2.3.1</sub>	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 <sub>3.1.1</sub>	KAN	6,96	6,77	6,70	7,79
I <sub>3.1.2</sub>	KAN	5,19	6,73	2,99	8,30
I <sub>3.2.1</sub>	KAN	5,35	6,77	6,87	8,28
I <sub>3.2.2</sub>	KAN	3,15	6,52	3,31	8,67
I <sub>4.1.1</sub>	KAN	4,91	3,83	6,94	3,03
I <sub>4.1.2</sub>	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 érzékeltetésére – 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 –

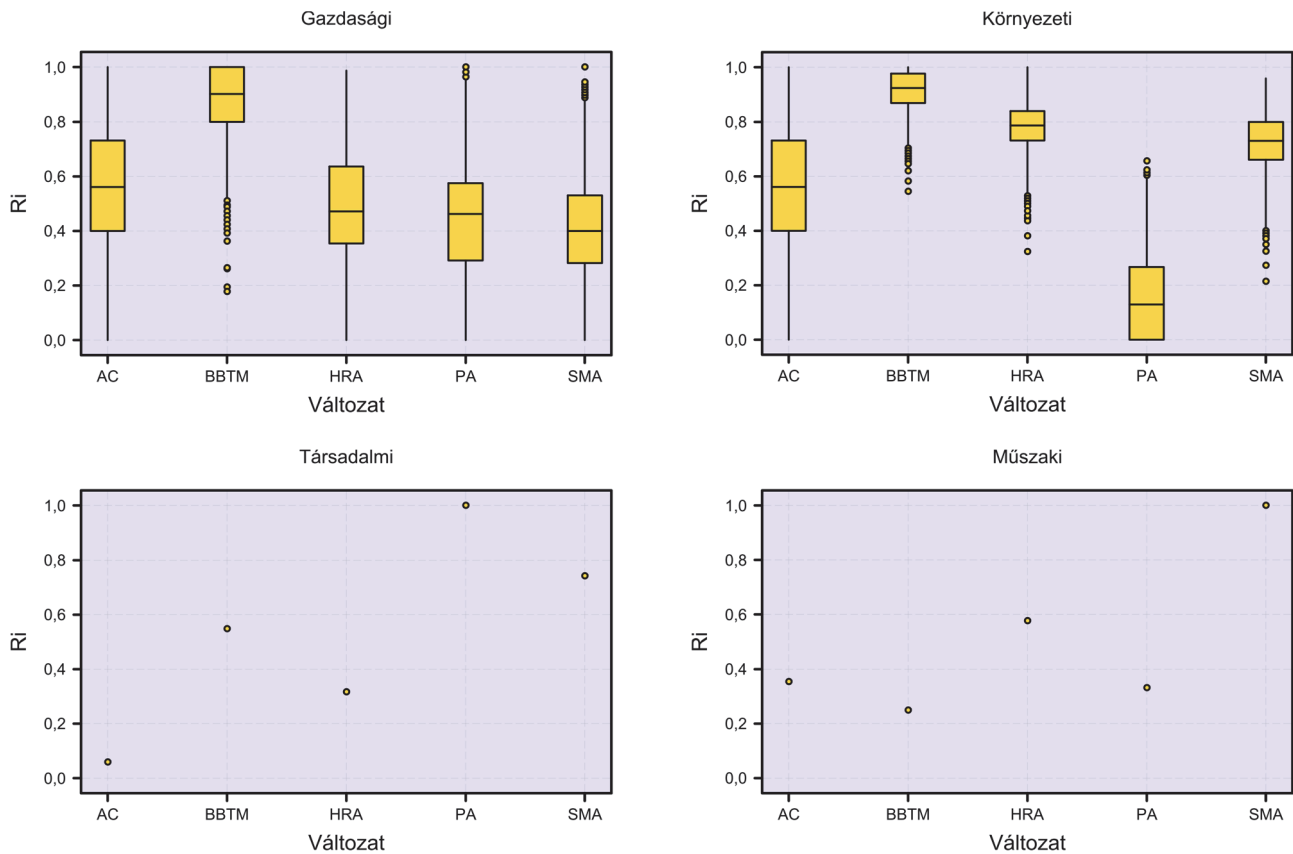
bomlással szembeni alacsony és alakváltozással szembeni nagyon mérsékelt ellenállása rendkívül hátrányosan befolyásolta.

### 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)-algoritmusokkal [13] és a távolságalapú aggregációval.



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

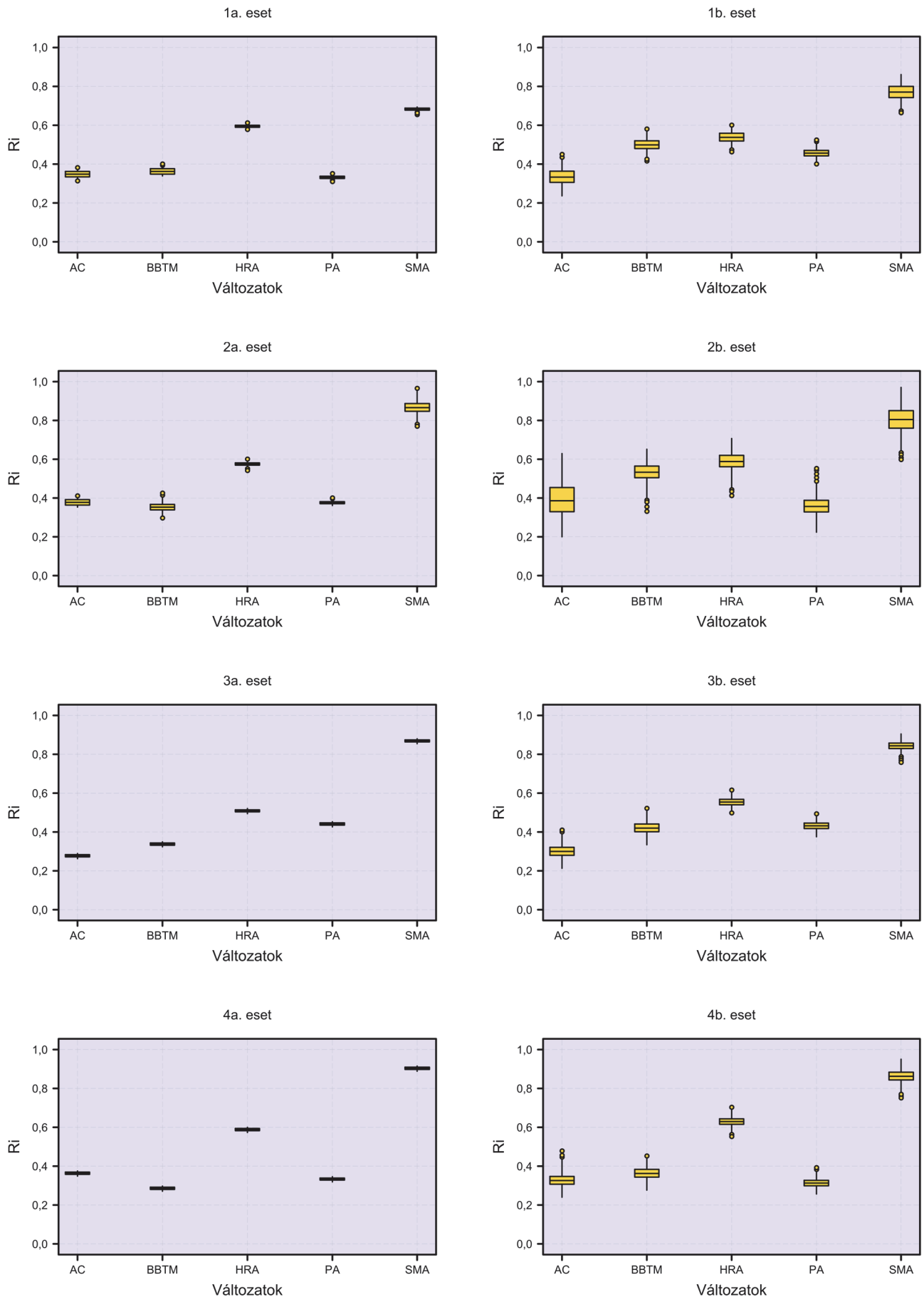
Ezeknek az eszközöknek a szinergikus kombinálásával olyan komplex és jól működő módszertant sikerült kifejleszteni, amely az összetett problémákra vonatkozó szakértői véleményekben általánosan meglévő határozatlanságokat, bizonytalanságokat és ellentmondásokat hatékonyan tudja kezelni.

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

- 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.
- 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.
- 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.
- Gáspár L., Bencze Zs.** (2016): Döntéstámogató modell nagy nehézforgalmú utak aszfalt kopóréteg-típusának kiválasztásához. *Útügyi Lapok* 7. szám. 2016. március 18 p.
- 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”.
- Gáspár, L.** (2008): Lifetime engineering in road asset management. CD-ROM Proceedings of 3<sup>rd</sup> European Pavement and Asset Management Conference, Coimbra (Portugal), 10 p.
- 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).
- 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.
- OECD** (2005): Economic Evaluation of Long-Life Pavements. Programme of Research on Road Transport and Intermodal Linkages (RTR), 1, 3-114
- MathWorks. MATLAB R2014b.** Natick, Massachusetts (U.S.), 2014.
- 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.
- Lin, H.** (2010): An application of fuzzy AHP for evaluating course website quality. *Computers and Education*, 54(4), pp. 877-888.
- 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.
- Chou, C.** (2003): The canonical representation of multiplication operation on triangular fuzzy numbers. *Computers and Mathematics with Applications*, 45(10-11), pp. 1601-1610.
- Saaty, T. L.** (1980): The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resource allocation. New York (U.S.), McGraw-Hill.
- Hwang, C. L., Yoon, K.** (1981): Multiple attribute decision making: Methods and applications. New York (U.S.): Springer. 225 p.
- 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).