



MAGYAR CEMENTIPARI SZÖVETSÉG

Aktuálisan a betonutakról

update 10/2

Környezetbefolyásolási mérleg egy autópályaszakasz építéséhez és használatához

A környezet terhelő, éghajlatkárosító emissziók nagy részét a közúti forgalom okozza. A Münchener Műszaki Egyetem Építőanyag és Vizsgáló Centruma („cmu” TU München) egy kutatási feladat keretében megvizsgálta egy autópályaszakasz építési és 30 évnyi üzemének, ill. fenntartási munkáinak ökológiai hatását négy különböző felépítményi változat esetére.

Környezetbefolyásolási mérleg, egy autópályaszakasz építéséhez és használatához

Milachowski, Charlotte okl. mérnök, Stengel, Thorsten okl. mérnök,
Prof. Dr. Gehlen, Christoph Müncheneri Műszaki Egyetem Építőanyag- és Vizsgálatai Központ (cmu)

A fenntartható fejlődés keretében többek közt Németország is kötelezte magát arra, hogy az éghajlatkárosító kibocsátott anyagtömeget (emissziót) csökkenti. A levegőt károsító anyagok igen jelentős részét a közúti közlekedés okozza [9]. Egy 1 km hosszú, négy különböző felszerkezeti autópályaszakasz építésének és üzemének (fenntartás + közlekedés) lehetséges környezeti hatásait környezetbefolyásolási mérleg segítségével hasonlították össze. A 30 éves üzemi időszak közlekedési terhelésén az üzemanyagfogyasztás hatásait vizsgálták. Meghatározták a lehetséges megtakarítási irányokat is.

A tanulmány vizsgálódási területei

Általános áttekintés

A nyilvánosság gyakran szubjektív módon tárgyalja a környezeti kérdéseket. A tárgyilagos értékelési mód érdekében fejlesztették ki a környezeti mérleg módszerét. Ezt a DIN EN ISO 14040:2009-1 és DIN EN ISO 14044:2006-10-ban szabványosították és ebben a tanulmányban is ezt alkalmazták. Így tehát egy km hosszú autópályaszakasz építésének és üzemének minden anyag-, ill. energijellegű hozzájárulását a mérlegbe vonták. Ehhez tartozik a nyersanyagkiaknázás, az energia-hálózat igénybevétele, a szükséges termékek legyártása, az infrastruktúra létrehozása, a szállítási munkák, továbbá a különféle termékek alkalmazása, ill. a hulladékok elszállítása. A hatásbecslés során a levegőbe, vízbe, talajba jutó emissziókat vették figyelembe és egyenértékű hatástényezők révén egy többdimenziós feladatmegoldó modell alapján (CML – módszer) a hatásokat az alábbi hatás csoportokba gyűjtötték össze:

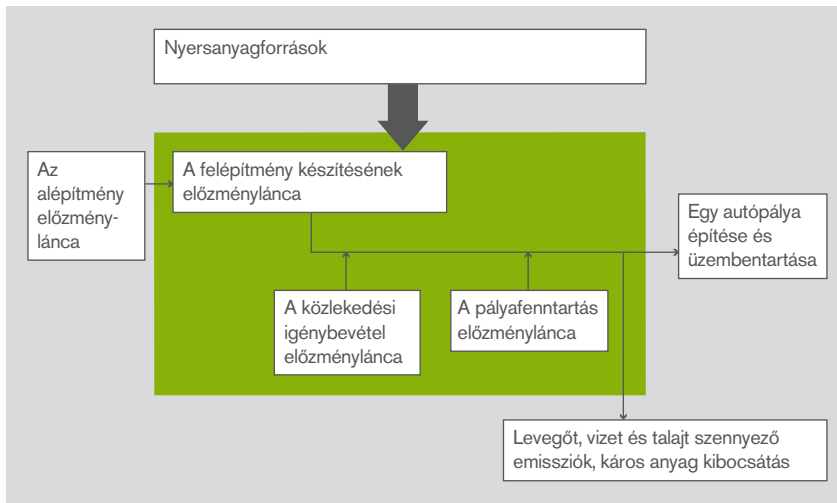
- üvegházhatás (Global Warming Potential: GWP),
- a sztratoszféra ózonrétegének leépülése, ill. ún. ózonlyukak keletkezése (Ozone Depletion Potential: ODP),
- talajmenti, talajközeli ózon, ill. nyári szmog (füstköd) keletkezése (Photochemical Ozone Creation Potential: POCP),

- a talajok elsavasodása (Acidification Potential: AP) és
- a felszíni vizek (műtrágya okozta hasonló jellegű) elszennyeződése (Eutrophication Potential: EP)

Alapadatként a svájci „ecoinvent – adatbankot” használták [3]. Az adatbankban nem található folyamatokat meglévő előfolyamatok alapján modellezték. Az adatokat egy környezeti hatásmérleg szoftver (Sima Pro) segítségével dolgozták fel és értékelték. Négy különböző felszerkezeti építési változatot vettek górcső alá azért, hogy az építéstechnikai optimalizálási teljesítőképességüket számszerűsíthessék. Ezek:

- betonfelépítmény mosottbeton pályafelülettel,
- betonfelépítmény műfüves texturaképző (mintázott) felületkezeléssel,
- aszfaltfelépítmény zajcsökkentő, – nyitott porusú záróréteg kiképzéssel, és
- aszfaltfelépítmény öntött aszfalttal

Az alapépítményi, valamint a felépítményi utómunkák, pl. burkolati jelek nem tartoztak a tanulmányhoz. A vízelvezetési rendszert (árkok, folyókák, stb.) nem vették figyelembe, mert annak hatása mindkét felépítményi rendszer esetén hasonló. A tanulmányban az RQ31 jelű német szabványkeresztmetszetet vették figyelembe, autópályákhoz 31 m koronaszélességgel, 12 m széles szilárdburkolattal, 85 cm vastagsággal [2]. A tanulmány rendszerhatárai az 1. ábrán láthatók.



1. ábra. A tanulmány rendszerhatárai; az „előzménylánc” fogalma tartalmazza az összes lényeges paramétert, amelyek a környezetet érintő hatást fejthetnek ki (nyersanyagok kinyerése és feldolgozása, az infrastruktúra létrehozása, szállítási folyamatok)

Az autópályaszakasz megépítése

Minden felépítményi rétegre az ide tartozó folyamatokat – beleértve az idevágó előzményláncokat és a megfelelő anyagokat, gépeket – bevonták a mérlegbe. Az 1. és 2. táblázatban szétbontva az aszfalt és a beton építési módra az összes lényeges építési anyag megtalálható. A felépítmény elkészítéséhez láncfalas egyengető gépeket, talajnyesőket (gréder), finisereket, tömörítő hengereket, bitumenszóró és utókezelő készülékeket, továbbá a betonpályához hézagvágókat és tömítőanyag melegítő üstökét vettek figyelembe. Az építési munkahely felszerelését lényegében az építőgépek oda- és elszállításával számolták. A megszerkesztett előzménylán-

cokat az ide felhasznált adatsorokkal és szórásaikkal a [6] alatti kutatási jelentésből vették.

A betonpályalemezhez CEM I 42,5 N kötőanyagot terveztek. Az optimalizálási teljesítőképesség számszerűsítéséhez – többalkotós cementekre is kiterjesztve – a CEM I-es változaton kívül vizsgálták a CEM III/A kohósalakcementes esetet is.

Réteg	Anyag
Fagyvédőréteg	2150 kg/m ³ közetszemcsehalmoz (70m% kavics, 30 m% homok)
Teherviselő alsó aszfaltréteg	36,7 kg/m ³ bitumen 2349 kg/m ³ közetszemcse
Aszfaltkötőréteg	0,3 kg/m ² bitumenemulzió 45,9 kg/m ³ polimerrel módosított bitumen (PmB) 2421 kg/m ³ közetszemcse
Aszfaltfedőréteg	Öntöttaszfalt: 0,3 kg/m ³ bitumenemulzió 72,5 kg/m ³ kisviszkózitású bitumen 2415 kg/m ³ közetszemcse 8,0 kg/m ² zúzalék (szóráshoz) Nyíltporúsú aszfalt: 2,5 kg/m ² PmB 8,0 kg/m ² zúzalék 66,3 kg/m ³ PmB 1950 kg/m ³ közetszemcsehalmoz

1. táblázat Az aszfalt felépítményű pályához szükséges lényeges anyagok áttekintése

Réteg	Anyag
Fagyvédőréteg	2150 kg/m ³ közetszemcse (70 m% kavics, 30 m% homok)
Hidraulikus kötésű alsó teherbíró réteg (cement stabilizáció, HTG)	90,0 kg/m ³ CEM II/B-S 32,5 R 1975 kg/m ³ közetszemcse 110 l/m ³ vezetékes víz 1,6 kg/m ³ bitumenemulzió C60 B1-N
Közbenső réteg	0,5 kg/m ² műanyagfátyol
Beton pályalemez	Műfüves mintázott felület: 7829 t/km alsó rétegbeton 3948 t/km felső rétegbeton 44,8 t/km acél teherátadó tüskék + horgonyok 9,6 t/km utókezelőszer 4,3 t/km hézagkiöntő anyag Mosottbeton felület: 7829 t/km alsó rétegbeton 3948 t/km felső rétegbeton 44,8 t/km acél teherátadó tüskék + horgonyok 6,0 t/km kombinációs szer (késleltető + utókezelőszer) 4,8 t/km utókezelő szerda 4,3 t/km hézag kezelőszer

2. táblázat A betonlemez felépítményhez szükséges lényeges anyagok áttekintése

Az autópályaszakasz közlekedési üzeme és fenntartása

Az üzembentartási 30 éves időszakra a közlekedés okozta környezetterhelést, továbbá a fenntartási- építési munkákat vették figyelembe. A közlekedési igénybevételként napi 42000 személygépkocsi és 10000 tehergépkocsi, összesen 52000 jármű/24 óra forgalomsűrűséget valószínűsítettek. A nehézgépjármű forgalomhoz átlagos 50%-os raksúly kihasználást és 0,395 kg dizelolaj/km fogyasztást feltételeztek. A személygépkocsi forgalomhoz az európai átlagnak megfelelő 0,0669 kg benzin/km és 0,0627 kg/km dizelolaj fogyasztást számítottak (80%-ban benzin, 20%-ban dízelüzemű kocsikat feltételezve) [8]. A poremissziót az abroncsok, a fékbetétek és az útpálya kopásából számították. Nem vették figyelembe a kocsik gyártásának és fenntartásának költségeit.

Az útpályák építésjellegű fenntartása sok paramétertől függ, – ezek mindegyikét nem lehet számszerűsíteni a környezetterhelési mérlegben. Az építési tapasztalatok alapján kétféle fenntartási forgatókönyvet feltételeztek: egy legszűkebbet (FA) és egy legbővebbet (FB). Minden, a környezetet érintő ténykedéshez tartozó adatot beleértve az előzményláncokat is, bevettek a rendszerbe és elemeztek. (3. tábl.).

A régi (bontott) anyagok elszállításához, ill. az újak helyszínre szállításához 50 km-es szállítási távolságot feltételeztek. Hasonlóan az építési állapothoz, a fenntartási munkánál is az építőgépek oda-, ill. visszaszállítási hatását vették figyelembe az építési munkahely berendezéséhez.

Eredmények

Az autópályaszakasz építése

Az 1 km-es építési szakasz lehetséges környezetbefolyásoló hatásairól a 4. táblázat tájékoztat.

A betonpályás építési módok (majdnem) minden hatás-csoportban kisebb lehetséges környezetbefolyásoló hatásúak, mint az aszfaltpályaépítés (3. ábra). Egyetlen kivétel van: az üvegházhatás (GWP). A mosott betonos kivitelezési mód a nagyobb cementtartalom miatt (430 kg/m³ a pályalemezben) kissé nagyobb környezetbefolyásoló hatású, mint a műfüves felületképzés (itt a cementtartalom 360 kg/m³). A felépítmény egészének építéskor legnagyobb mértékben a beton járul hozzá a környezet befolyásolásához. A beton dominanciaelemzéséből kiderült, hogy a készítési víz és légbuborékképzők hatása kicsi. A legnagyobb hatású a CEM I cement

Aszfaltpályás változat		Betonpályás változat	
	Öntött aszfalt pályalemez	Nyíltporusú aszfaltpályalemez	Műfüves felületképzés/mosott beton felület
FA	2 x fedőrétegcseré 1 x kötőrétegcseré	3 x fedőrétegcseré 1 x kötőrétegcseré	2 x teljes hézagfelújítás; 5% él- és sarok letörésének javítása 1% pályalemez emelése és rögzítése 1% teljes lemezcsere
FB	2 x fedőrétegcseré 2 x kötőrétegcseré	4,3 x fedőrétegcseré 1 x kötőrétegcseré	3 x teljes hézagfelújítás 20% él- és sarokletörések javítása 3% pályalemez emelése és rögzítése 3% teljes lemezcsere

3. táblázat Az építésjellegű fenntartási munkák változatainak áttekintése a tárgyalt autópályaszakaszon

Építési kivitelezési módok	Hatástényezők				
	GWP (Global Warming Potential) [kg CO ₂ -eq.]	ODP (Ozone Depletion Potential) [kg CFC-11-eq.]	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) [kg C ₂ H ₄ -eq.]	AP (Acidification Potential) [kg SO ₂ -eq.]	EP (Eutrophication Potential) [kg PO ₄ ³⁻ -eq.]
Öntött aszfalt	1694 573	0,39	413	8.191	1.232
Nyílt porusú aszfalt	1 730 430	0,40	431	8.516	1.264
Műfüves textúra, CEM I	2 710 311	0,13	380	6.374	1.084
Műfüves textúra, CEM III	2 153 620	0,13	344	6.343	1.079
Mosott beton, CEM I	2 821 219	0,13	389	6.478	1.100
Mosott beton, CEM III	2 227 417	0,13	350	6.447	1.094

4. táblázat: Hatástényezők 1 km-es autópályaszakasz építéséhez



2. ábra Építésjellelű fenntartási munka betonpályán: lemezcseré

maga, a pályabeton révén: ez teszi ki az EP hatás 70%-át és a GWP hatás 96%-át. A kőanyag környezetbefolyásolási hatása $\leq 10\%$. A további részlethatások az infrastruktúrális és szállítási feladatokból származnak.

Ha a CEM I-et CEM III-ra cseréljük, akkor a GWP üvegházhatásban 20% (műfüves), ill. 21% (mosott beton) megtakarítás adódik. Az összes többi hatáscsoportban a megtakarítási lehetőség ezen a réven 0,1 és 10% közé esik, tehát jóval kevesebb.

Az aszfaltos építési módok összehasonlításából az adódik, hogy a nyitott pórusú aszfaltpálya a GWP, POCP, AP hatáscsoportokban kissé nagyobb környezethatású, mint az öntött aszfalt: ez a kőzetanyag és a nagy bitumentartalom miatt van így a pályarétegben, továbbá itt még egy külön tömítő szigetelés is szükséges. Az ODP hatáscsoportban a két változat alig különbözik. A lehetséges környezetbefolyásolási hatásban itt messzemenően az aszfalt a főszereplő.

Összefoglalva megállapítható, hogy a lehetséges környezetbefolyásolási hatás az útfelépítmény készítésekor lényegében magából a nyersanyagból adódik, különösen pedig az igen energiaigényes cement és aszfaltgyártás a mértékadó, a maga 57, ill. 65%-ával az egész hatáson belül. Betonos építési mód esetén a hatás csökkenthető, ha több főalkotós cementet alkalmaznak. Mindegyik építési mód esetén van megtakarítási lehetőség, mégpedig a szállítási folyamatok terén.



3. ábra Hatásbecslési eredmények a pálya megépítésének szakaszára

Az autópályaszakasz használati (üzemi) állapota

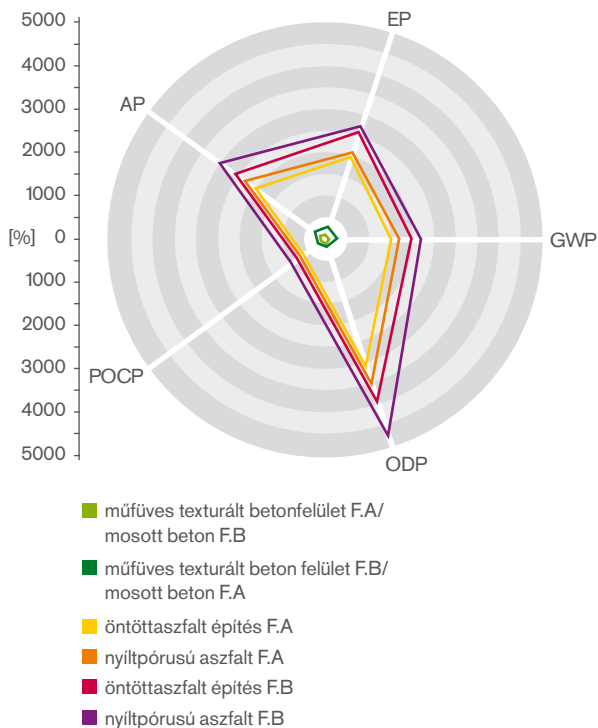
Az 5. táblázatban az összes lehetséges környezeti hatást tekintettük át 1 km-es pályaszakasz 30 évnyi használatának esetére. Eredményként az adódik, hogy a fenntartási szakaszban az aszfaltos építési mód esetén nagyobbak a környezeti hatások, mint betonpálya esetén (4. ábra). Ha egybefoglaljuk az építési és a fenntartási időszak hatásait, akkor a GWP hatáscsoport esetében nincs szignifikáns különbség a két építési mód kö-

zött, – de az ODP, POCP, AP és EP hatáscsoportokban a betonépítés környezetbepolyásolási hatása lényegesen kisebb.

A szűkebb, FA. forgatókönyv szerinti pályafenntartási mód – hatáscsoportoktól függően – 20-60%-os megtakarítási lehetőséget nyújt. Betonpályák fenntartási munkáinak optimalizálási lehetősége főleg a hézagkitöltő anyagok tartóssága révén növelhető.

A legnagyobb megtakarítási lehetőség – a forgalom okozta hatásokat is figyelembe véve – az üzemanyagfogyasztás csökkentésében rejlik. A felvett forgalmi viszonyok esetében (42000 személygépkocsi és 10000 tehergépkocsi naponta) az üzemanyagfogyasztás hatása akár ötezerszerese lehet a felépítmény fenntartás hatásának. A környezeti hatást elsősorban az üzemanyagok elégeése okozza, az üzemanyagfogyasztás maga számos tényezőtől függ. Az utóbbi években nagyon sok kutatás foglalkozott a pályafelszín tulajdonságainak (ún. gördülési ellenállás, a siktól való eltérés, merevség) az üzemanyagfogyasztásra gyakorolt hatásától. Eszerint a pályafelszín tulajdonságai: a textúra, az egyenetlenségek (makro- és megatextúra), továbbá a pálya merevsége 5-20%-os mértékben befolyásolják az üzemanyagfogyasztást. [1,4,5,7,10]. Eszerint nemcsak a gépkocsi és gumibroncsgyártókon, hanem az útpályán is múlik egy jobb optimalizálási lehetőség.

Egy „üzemanyagban takarékos” építési mód tehát lényegesen nagyobb súllyal esik latba, mint az az építési mód, amelynél a pályaépítés és a fenntartás a kisebb környezeti hatású.



4. ábra A hatástényezők becslésének eredményei 1 km-es autópályaszakasz fenntartási munkáihoz a műfüves texturált betonfelszerkezethez arányítva.

FA legszűkebb, FB legbővebb fenntartási forgatókönyv

Kivitelezési módok/közlekedési hatás	Hatástényezők				
	GWP (Global Warming Potential) [kg CO ₂ -eq.]	ODP (Ozone Depletion Potential) [kg CFC-11-eq.]	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) [kg C ₂ H ₄ -eq.]	AP (Acidification Potential) [kg SO ₂ -eq.]	EP (Eutrophication Potential) [kg PO ₄ ³⁻ -eq.]
Öntött aszfalt	944 116	0,21	272	5 249	723
Öntött aszfalt	1 230 617	0,27	352	6 808	943
Nyíltporusú aszfalt	1 048 154	0,24	316	6 028	764
Nyíltporusú aszfalt	1 363 116	0,33	423	7 986	995
Text betonfelület	60 520	0,01	46	265	36
Text betonfelület	170 920	0,01	81	742	110
Mosottbeton felület	63 971	0,01	46	270	37
Mosottbeton felület	181 274	0,01	82	756	113
Közlekedési terhelés	230 904 557	29,84	167 980	1 066 521	202 078

5. táblázat Egy km hosszúságú autópályaszakasz 30 éves használatának hatástényezői

Összefoglalás

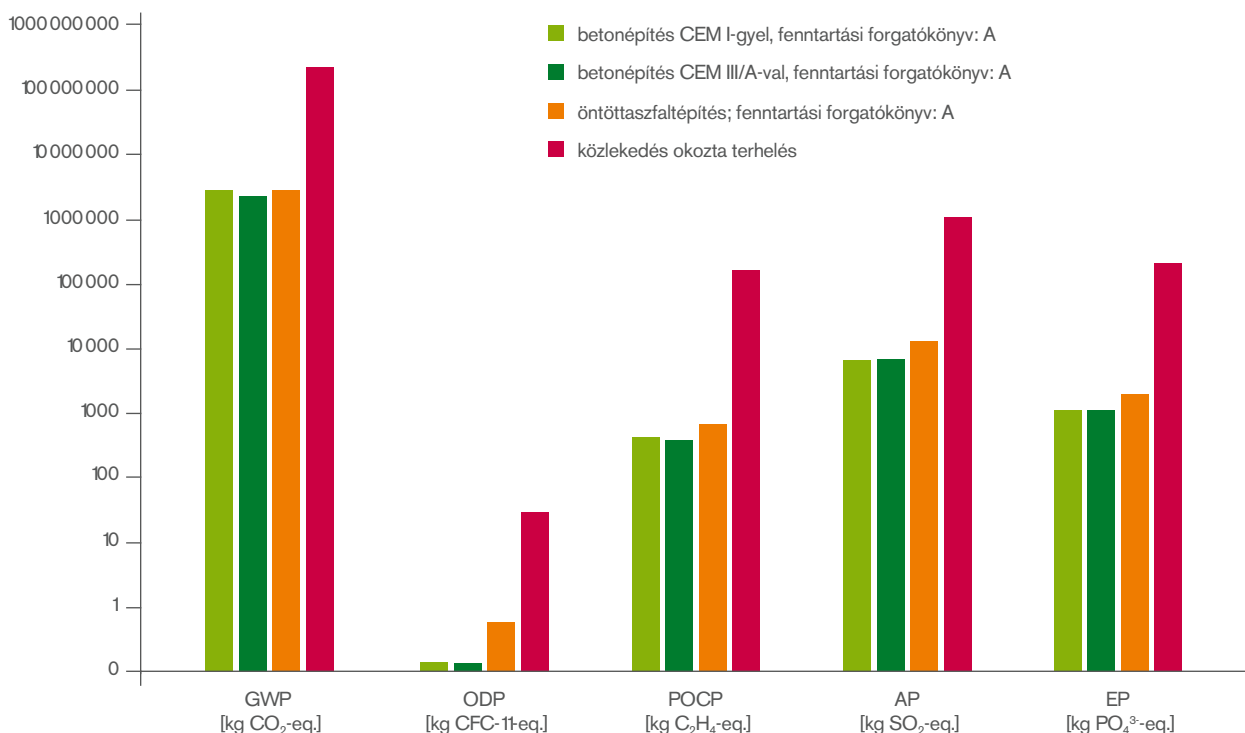
A tanulmány igazolja, hogy egy autópálya építésekor és üzemben tartásakor a környezetbefolyásolási hatások csökkenthetők. Így betonpálya építésekor, a nyersanyag kinyerésekor az optimálási teljesítőképesség különösen akkor növelhető, ha több főalkotós cementeket használnak. Az üzemi időszak értékelése azt mutatja, hogy a tartós építési módok és a kevesebb fenntartási igény előnyösebb. Minthogy a forgalom okozta környezetterhelés kb. százszorosa az építési és fenntartási hatásoknak, a nagy megtakarítási lehetőség ebben rejlik. Számos tanulmány igazolja, hogy a pályafelület tulajdonságai közvetlenül befolyásolják az üzemanyagfogyasztást. Egy átfogó kanadai kutatás szerint a nehézgépjárművek ösztömege és az éghajlati körülmények függvényében – különösen nagyobb környezeti hőmérséklet és az aszfaltburkolatoknak ezzel összefüggő képlékeny alakváltozása miatt – 7-15%-os üzemanyagmegtakarítás érhető el. Ontario államban ezért a betonpálya építési módot úgy ajánlják, mint eszközt a Kyotoi jegyzőkönyv célkitűzéseinek megvalósításához. A skandináv országok is állítják a keményburkolatú útpályákkal elérhető üzemanyagmegtakarítást (5, 11). Ezzel a további kutatások számára e téren az indíték és feltétel adva van.

- [4] Laganier, R.; Lucas, J.: The Influence of Pavement Evenness and Macrotecture on Fuel Consumption. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, Seite 454-459, Philadelphia, 1990
- [5] Lundström, K.; Finnsementti, O.: Environmental Impact of Concrete and Asphalt Pavements, 8th International Symposium on Concrete Roads, Lissabon, 1998
- [6] Milachowski, C., Stengel T., Lowke D., Gehlen C.: «Erstellung einer Ökobilanz für die Herstellung und Nutzung eines Autobahnabschnitts». Forschungsbericht 20-F-0068, TU München, München 2010
- [7] NRECSTT: Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption – Phase 2: Seasonal Test, CSTT-HWV-CTR-041, National Research Council of Canada – Centre for Surface Transportation Technology, Ottawa, 2000
- [8] Spielmann M.; Kägi T., Stadler P., Tietje O.: Life Cycle Inventory of Transport Services;ecoinvent report No. 14, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004
- [9] Umweltbundesamt, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen, Emissionsentwicklung 1990–2007 (Endstand 20.2.2009), www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm
- [10] Zaniewski, J.: Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption. SR289.01P Portland Cement Association, Skokie, 1989
- [11] Larsson, R.; Andersson, R.: Benefit of Reduced Fuel Consumption From Economic and Environmental Perspectives – A Novel Approach, 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul, 2004

Irodalomjegyzék

- [1] Descornet, G.: Road Surface Influence on Tire Rolling Resistance. Surface Characteristics of Roadways: International Research and Technologies, ASTM STP 1031, p. 401-415, Philadelphia, 1990
- [2] Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen FGSV (2009): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA); Ausgabe 2008
- [3] <http://www.ecoinvent.ch>

Gesamtvergleich



5. ábra 1 km-es autópályaszakasz építéséből és 30 évnyi fenntartási munkáiból eredő lehetséges környezeti hatások betonépítés esetén (műfüves mintázott felület), ill. aszfaltépítés (öntött aszfalt) esetén a közlekedés okozta terheléshez hasonlítva

Magyarországi cementgyártók

Duna-Dráva Cement Kft.
Beremendi Gyára
H-7827 Beremend
H-7827 Beremend, Pf: 20
Tel: + 36 72 574 500
Fax: + 36 72 574 660
E-mail: ddc-beremend@duna-drava.hu

Duna-Dráva Cement Kft.
Váci Gyára
H-2600 Vác, Kőhidpart dűlő 2.
H-2601 Vác, Pf: 198
Tel: + 36 27 511 600
Fax: + 36 27 511 760
E-mail: ddc-vac@duna-drava.hu

Duna-Dráva Cement Kft.
H-2600 Vác, Kőhidpart dűlő 2.
H-2601 Vác, Pf: 198
Tel: + 36 27 511 601
Fax: + 36 27 511 770
E-mail: ddc-vac@duna-drava.hu

Holcim Hungária Zrt.
Lábatlani Cementgyár
H-2541 Lábatlan, Rákóczi út 60.
H-2541 Lábatlan, Pf: 17
Tel: + 36 33 542 600
Fax: + 36 33 464 004

Holcim Hungária Zrt.
Hejőcsabai Cementgyár
H-3508 Miskolc, Fogarasi u. 6.
H-3501 Miskolc, Pf:21
Tel: + 36 46 561 600
Fax: + 36 46 561 601

Holcim Hungária Zrt.
Igazgatóság
H-1037 Budapest, Montevideo u. 2/C.
H-1396 Budapest, Pf: 458
Tel: + 36 1 398 60 00
Fax: + 36 1 398 60 13

E-mail: info-hun@holcim.com
www.holcim.hu
www.holcim.com

A Magyar Cementipari Szövetség kiadványa. Készült a

BETONSUISSE

BETONSUISSE Marketing AG
Marktgasse 53, CH-3011 Bern
Telefon +41 (0)31 327 97 87, Fax +41 (0)31 327 97 70
info@betonsuisse.ch, www.betonsuisse.ch

Beton

BetonMarketing Deutschland GmbH
Steinhof 39, D-40699 Erkrath
Telefon +4921128048-1, Fax +4921128048-320
bmd@betonmarketing.de, www.beton.org

beton

Gruppe Betonmarketing Österreich
Anfragen für den Bereich Betonstraßen an Zement + Beton Handels-
und Werbeges.b.H., Reiserstraße 53, A-1030 Wien
Tel. +43 (0) 1 714 66 85-0, www.zement.at

szövetségek UPDATE 2010/2 sz. kiadványának fordításával, a fenti eredeti kiadók engedélyével.